Камчатский государственный технический университет

А. Исаков

Основы современного естествознания

Часть 2

Классический период естествознания

Петропавловск-Камчатский
2012

УДК 50(075.8)
ББК 20я73
И85

Рецензент
доктор физико-математических наук,
профессор Дальневосточного Федерального университета
Стоценко Л.Г.

Исаков Александр Яковлевич

И85 Основы современного естествознания. Часть 2. **Классический период естествознания**. Лекции для студентов экономических направлений: Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. – 274 с.

В книге приведен исторический обзор основных этапов развития естественнонаучных представлений об окружающем нас Мире в период, так назывемого, классического периода естествознания. Учебное пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм образования, изучающих дисциплину «Концепции современного естествознания». Содержание книги составлено на основе многолетнего опыта автора преподавания дисциплины на различных специальностях Камчатского государственного технического университета.

Цель обзора – облегчить адаптацию студентов экономического и гуманитарного направлений образования в среде естественнонаучных дисциплин и помочь в выполнение индивидуальных заданий и контрольных работ.

Обзор построен в форме хронологического рассмотрения отдельных этапов развития естественнонаучных знаний и этюдов о выдающихся учёных, заложивших основу современного комплекса знаний и технологий в области математики, физики, астрономии, химии, биологии, географии, техники и т.д.

Оглавление

1. Механические принципы устройства Мира
1.1. Открытие основных закономерностей ……..……. 4
1.2. Кинематические характеристики движения ……..…… 9
1.3. Основные типы движений …….…… 24
1.4. Возникновение и развитие динамики …….…….. 33
1.5. Механика Леонардо да Винчи ……...…… 39
1.6. Небесная механика ……. 45
1.7. Галилео Галилей ……. 54
1.8. Исаак Ньютон …….……. 58
1.9. Законы Ньютона …….. 63
1.10. Закон сохранения энергии ……...…… 68
1.11. По здравому смыслу и вопреки ему ……..…….. 82

2. Структура вещества
2.1. Творцы новых теорий ……..……. 113
2.2. Состояния и параметры вещества …….…….. 123
2.3. Атомы и молекулы …….……... 129
2.4. Температура ……..…… 135
2.5. Элементы молекулярно-кинетической теории …….……. 144

3. Новые энергетические горизонты
3.1. Термодинамические начала ……. 150
3.2. Энтропия …… 163
3.3. Первые тепловые машины ……... 168
3.4. Самодвижущиеся экипажи …….. 180
3.5. Паровозы …… 188
3.6. Паровые суда ……. 200
3.7. Турбины ……. 219
3.8. Двигатели внутреннего сгорания …… 233
3.9. Двигатель Рудольфа Дизеля …… 249
3.10. Роторный двигатель Феликса Ванкеля …….…… 255
3.11. Ракетные двигатели …… 259

1. Механические принципы устройства Мира

1.1. Открытие основных закономерностей

Грандиозные события, как правило, происходят на стыке различных эпох, когда рождаются неординарные личности, такие как Иоган Кеплер (1571 – 1630), Галилео Галилей (1564 – 1642), Исаак Ньютон (1642 – 1727). В этот период научные представления об окружающем человека мире претерпели принципиальные изменения. Это, прежде всего, касалось математизации физики и приоритетности экспериментальных исследований с последующей их теоретической интерпретации.

Галилей одним из первых отошёл от античного метода мучительного угадывания таинственных сил обожествлённой множественно природы и стал использовать остроумные эксперименты, совершенно новые оценочные методики и строгие математические формулировки. Пифагорейская идея о Мире как гармонии чисел стала возрождаться Галилеем на новом витке эволюционной спирали естествознания.

Пожалуй, впервые так плодотворно в науке была реализована Галилеем идея формулировки общих законов природы на основании наблюдения отдельных их частных проявлений и наоборот. С одной стороны, исследования простых механизмов были интегрированы в общие механические законы, с другой – астрономические наблюдения дали возможность исследовать свойства не только отдельных небесных тел, но и трансформировать их на вполне земные явления.

Масштабы наблюдаемого мира существенно расширились после реконструкции Галилеем микроскопа голландского механика Захария Янсена в телескоп. Открытие Галилеем спутников Юпитера сделало очередную брешь в, казалось бы, непотопляемом конгломерате аристотелевского представления об исключительности Земли. Оказалось, что привилегией иметь собственные спутники обладает не только третья планета Солнечной Системы.

Наблюдения неба в телескоп, позволившие обнаружить скопление звёзд в туманности Андромеды, заставило вспомнить гипотезу Демокрита о том что Млечный путь, т.е. Галактика в которой расположена и наша Солнечная Система, состоит из множества звёзд.

Вопрос о сущности движения был одним из основных в древнегреческой натурфилософии. Движением стали интересоваться не только с целью его практического использования, но и с позиций установления неких общих закономерностей.

Стали разбираться, так сказать, в философской стороне многообразия двигательных процессов. В трудах древнегреческих натурфилософов можно обнаружить первые попытки классификации движений, по крайней мере, исходя из принципов рассмотрения.

В явном виде обрисовались контуры интересов статики, как науки о состоянии покоя с описанием условий равновесия. Этот частный случай движения особо был востребован: статическими методами стали возможными предсказания выигрышей в силе при использовании простейших механических приспособлений, а так же

аналитические методы анализа необходимых и достаточных условий равновесия. Развитие статики стало возможным при использовании математических методов, геометрических, тригонометрических и алгебраических.

В описании движения наметились два принципиально различных подхода, кинетический и динамический. Древние греки считали, что природе абсолютно чужды самодвижения – сами по себе объекты природы могут пребывать исключительно в состоянии относительного покоя.

Движение возникает только при проявлениях внешних активных начал, под которыми подразумевались, по всей вероятности, современные понятия сил. В частности Эмпедокл из Акраганта (ок. 490 – 430 гг. до н.э.) полагал, что движение возникает при противоборстве двух мировых сил, любви и вражды. Это были явно динамические подходы, несмотря на несколько экзотическую классификацию обстоятельств, сопутствующих движению.

Представители кинетической школы, наоборот, полагали природу склонной к самодвижению и отвергали влияние каких-либо особых внешних причин. Яркими приверженцами кинетической концепции были древнегреческие атомисты – Левкипп из Милета (V в. до н.э.), Демокрит Фракийский (ок. 560 – 470 гг. до н.э.), Эпикур Афинский (341 – 270 гг. до н.э.) и Лукреций (I в. до н.э.).

Высказав идею структурного строения материи, т.е. введя в обиход понятие атомов, как неделимых вечных частиц, атомисты полагали, что природа состоит из материи, движущейся в пустом пространстве.

Гераклит Эфесский (ок. 530 – 470 гг. до н.э.) писал, что всё существующее в природе возникает из огня, находящегося в состоянии вечного движения. Огонь Гераклитом представлялся не в виде обыкновенного пламени, а как некая огненная первооснова всех вещей.

Окружающий мир по Гераклиту не сотворён богами или человеком, он был, есть и будет вечно, движимый огнём, закономерно возникающим и не менее закономерно угасающим.

Не все натурфилософы разделяли такие подходы. Так, например, Парменид из Элеи (ок. 515 – 445 гг. до н.э.) считал, что концепция вечности движения делает принципиально невозможным процесс его познания. О том, что постоянно меняется, нельзя определённо сказать ничего.

Самым знаменитым древнегреческим исследователем движения стал Аристотель из Стагиры (384 – 322 гг. до н.э.), который на основе анализа движения предложил одну из самых долгоживших теорий мироздания – геоцентрическую.

Судя по записям знаменитого Диогена Лоэртского (III в. до н.э.), биографические труды которого о Пифагоре, Аристотеле, Платоне, Эмпедокле и др. дошли до нашего времени в оригинале, Аристотель шепелявил, имел тощие ноги, маленькие глазки и выделялся своими нарядами, кольцами и причёской.

Космологическая платформа Аристотеля базировалась на ранее разработанных греческими учёными теориях. Он был великим логиком и прекрасным систематизатором.

Поскольку Земля была объявлена центром Мира, то это подтверждало предположение пифагорейцев о сферичности человеческой обители. Все тяжёлые предметы стремились к центру Мира, а лёгкие, такие как огонь и воздух, наоборот – от центра мира, но не уходили за границы «подлунной сферы».

За границами «подлунной сферы» начиналось царство небесных тел, построенное целиком из особого эфира – «квинтэссенции». Движения в направлении центра и от него Аристотель считал «естественными», чем и объяснялось свойство предметов падать на землю, а горячему воздуху подниматься вверх.

Основные свои представления о небесной механике Архимед изложил в книге «О небе», написанной около 340 г. до н.э. Он писал там: «Что Земля по необходимости должна находиться в центре и быть неподвижной, видно потому, что тела, с силой бросаемые вверх, падают снова на то же место, даже если сила забросит их на бесконечно большое расстояние. Из этого ясно, что Земля не движется и не находится вне центра Вселенной».

Форма Земли должна быть шарообразной, ибо каждая из её частей имеет вес и стремится вниз до тех пор, пока не достигнет центра. Части Земли подвергаются взаимному давлению и уступают одна другой до тех пор, пока не будет достигнуто ближайшее положение к центру».

Особый интерес представляют теоретические суждения Аристотеля о движении, т.к. он стал первым естествоиспытателем, который, наряду с общими вопросами мироздания удосужился начать объяснение некоторых частных вопросов.

Аристотель движению придавал более широкий смысл, чем простое изменение относительного положения предметов друг относительно друга. Движение рассматривалось им как всякое изменение, происходящее в природе. Механическое же движение он считал локальным.

Сочинения Аристотеля «Физика», «О небе», «О возникновении и уничтожении», «О методах», «Метафизика» содержали самые полные на то время сведения о движении. Движение понимается Аристотелем в широком его смысле, как всякие изменения вообще, механические, психологические и социальные.

Смысл движения Аристотель видит в переходе материи из одного состояния в другое, например бытия в небытие. Механическое движение рассматривается, таким образом, как некая частность.

Аристотель выделяет четыре причины, по которым может происходить движение: материальную, действующую, формальную и финальную. Эти идеи о причинности движения впоследствии были взяты на вооружение средневековыми схоластами. Такое понимание движения автоматически ставило вопрос об источнике движения.

Механические движения Аристотель классифицирует, как прямолинейные – ограниченные и круговые – неограниченные. Круговое движение Аристотель считает более совершенным, потому что оно свойственно небесным телам.

По мнению Аристотеля, все движения можно поделить на «естественные» и «насильственные». «Естественные» движения совершаются сами по себе, без вмешательства со стороны. «Насильственные» же, наоборот, возникают и продолжаются только при внешнем вмешательстве.

Причинами, приводящими к возникновению движения, Аристотель считал силы, причём движение продолжалось только во время действия силы. Исчезновение силы, должно было прекращать движение.

Эти Аристотелевы заблуждения, как и многие его не корректные выводы долгое время не подвергались экспериментальной экспертизе. В частности, в средние века, военные инженеры, следуя идеям Аристотеля, полагали, что ядра, выстреливаемые пушками под углом к горизонту, движутся по прямолинейной траектории до тех пор, пока на них действует сила, затем падают отвесно вниз.

На рис. 1.1 приведена схема полёта ядра из средневекового наставления для артиллеристов. Движение в верхнюю точку траектории K является насильственным, а падение – естественным. Всё по Аристотелю.

Встаёт очевидный вопрос о точности попадания в цель с такими понятиями о траектории. Следует иметь в виду, что в средние века на заре артиллерийских методов ведения боевых действий «богу войны» отводилась особая роль. Пушки ли-

бо стреляли по крепостям, либо по скоплению живой силы противника.

Поскольку сооружение крепостей проходило под девизом: «В меньший периметр – больше построек», то всякое ядро, переметнувшееся через крепостную стену, непременно куда-нибудь да попадало. Это как в случае современного боевого самолёта.

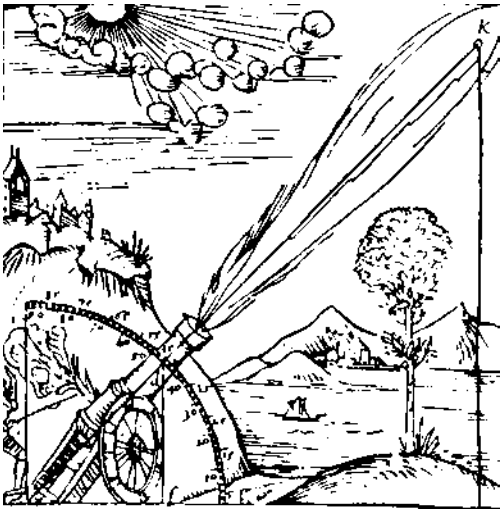


Рис. 1.1. Траектория движения пушечного ядра по Аристотелю

Пуля, попавшая в любую точку планера, нарушает не менее полусотни жизненно важных коммуникаций электрического, механического или гидравлического свойства. Касаемо живой силы, которая имела обыкновение наступать стройными плотными рядами, плечом к плечу, так сказать, тоже попасть было несложно, главное задать правильное направление.

Аристотель свято верил в существование перводвигателя, под которым средневековые и последующие теологи разумели Бога. Причём первичный двигатель предполагался неподвижным.

В его функцию входило порождать простые, однородные, непрерывные и бесконечные движения. Бесконечное и непрерывное вращение небесных сфер, по мнению Аристотеля, было несомненным доказательством существования таких вечных первичных двигателей.

Таким образом, только движение небесных сфер является вечным. Движения же, возникающие на неподвижной Земле имели местные масштабы, возникали под действием причины (силы) и по исчезновению последней, тоже прекращались: «С прекращением причины прекращается её следствие».

Между движением небесных и земных тел, а так же состоянием покоя и движения проводилось жёсткое разграничение, что следовало из «житейского опыта и наблюдений и что доставляло особое идеологическое удовольствие средневековым толкователям Библии.

Аристотель пытался дать количественную характеристику силам. В соответствии с его рассуждениями, в современных терминах, силу F можно представить следующим образом

$$F = \zeta v = \zeta \frac{s}{t},$$

где ζ – сопротивление движению тела (вес), v – скорость, s – пройденное расстояние, t – время. Следует отметить, однако, что понятия скорости во времена Аристотеля не существовало, быстроту изменения положения тел сравнивали по отрезкам пути, пройденного за одинаковые промежутки времени.

У Аристотеля было понятие «равноскорого» движения. Рассуждал Аристотель в своих трактатах и о сопротивлении движению со стороны среды и со стороны тела: «Чем бестелеснее среда, через которую происходит движение, чем меньшее она показывает сопротивление и чем легче разделима, тем быстрее перемещение». Условием начала движения является превышение силы F над сопротивлением ζ.

Аристотель начисто отвергал пустоту. Его рассуждения были таковы. В пустоте не могут проявляться силы сопротивления, поэтому всякое движение будет мгновенным и незаметным. Наблюдаемые движения возможны только в наполненных пространствах.

Обращаясь к повседневному опыту, Аристотель обращает внимание, что падение тел представляется естественным, т.к. тела стремятся занять свои естественные места. Естественность разделялась на землю, воду и воздух, которые в пространстве располагались концентрически.

Всё, кроме огня должно иметь «тяжесть», находясь в своём естественном месте. Такими рассуждениями древний натурфилософ объяснял тот факт, что дерево, падая в воздухе, способно плавать в воде. Скорость падения тел, таким образом, получалась пропорциональной их «тяжести». Два тела одинакового объёма и формы падает в воздухе быстрее то, которое обладает большей «тяжестью».

Рассуждал Аристотель о пространстве и времени. Пространство представлялось им как совокупность мест, которые занимают тела, т.е. Физическое пространство является свойством и сущностью бытия материи.

Объём занимаемый телами является понятием абсолютным, независящим от самих тел, объём определяет границы соприкосновения данного тела с объемлющим телом.

По поводу времени Аристотель придерживался мнения, что вращение небесных сфер служит средством для измерения времени: «Время не есть движение, но и не существует без движения». Из этого вытекало, что время не есть движение, но и не существует без движения. В своём знаменитом трактате «Физика» Аристотель записал: «Время отлично от движения, так как движения могут иметь различную скорость и, следовательно, они должны измеряться временем. Время же есть число движений или мера движения».

Вопросами прикладной механики в Древней Греции наиболее успешно занимался Архимед из Сиракуз (ок. 287 – 212 гг. до н.э.). Не возможно указать ту область естествознания в Древней Греции, который бы заинтересовался Архимед и не достиг выдающихся успехов.

Он был великим исследователем и гениальным инженером. Он один из немногих греческих философов, научные идеи которого были воплощены «в металл». На Сицилии Фидий, отец Архимеда, был астрономом при дворе правителя Сиракуз, с которым был в дальних родственных отношениях.

Эрастофен, занимаясь географией, теоретически показал возможность кругосветных путешествий и вычислил протяжённость александрийского меридиана 6311 км, что не очень сильно разнится с точными данными. Эти два учёных сыграли исключительно важную роль в формировании научных взглядов Архимеда.

Подводя итоги античным представлениям о движении, можно сказать следующее. Во-первых, античные естествоиспытатели поставили многие фундаментальные проблемы движения, которые на долгое время обеспечили последующие поколения исследователей пищей для размышлений и деяний.

Во-вторых, разработанные античными учёными конкретные вопросы движения легли в основу последующих теорий, в частности, в эпоху Возрождения. Например, довлеющее влияние идей Аристотеля на развитие представлений о движении продолжалось до середины XVII в.

К настоящему времени, среди специалистов, устоялось мнение о том, что последовательная переработка идей античного периода составляет значительную часть содержания современной физики, астрономии и теоретической механики.

Экспериментальные исследования выполненные в те далёкие времена по сути своей и используемым методикам не уступают лучшим опытным исследованиям Гильберта, Галилея, Бойля и других учёных, создавших фундамент современных знаний о движении.

Сложилось так, что исследование простых движений стало первым опытом

применения научного метода к реалиям окружающего человека физического мира. Можно с уверенностью сказать, что тема движения открыла широкие возможности науки, продемонстрировав всю практическую значимость фундаментальных знаний.

Сведения, методы и средства, накопленные в процессе изучения движения, успешно использовались в смежных областях, таких как молекулярная физика, термодинамика, атомная и ядерная физика.

Окружающий нас материальный мир имеет трудно представимый с позиций обыденности диапазон размеров. Так, например, протон имеет диаметр порядка $8 \cdot 10^{-16}$ м, а видимые размеры Вселенной составляют $\cong 1 \cdot 10^{27}$ м.

Другими словами, динамический диапазон доступных человеку размеров простирается на 43 порядка, которые принято делить на микромир, макромир и мегамир.

Наука о движении началась в области макромира, соизмеримого с размерами планеты Земля. Это естественно, потому что в описанных выше временах, судя по оставшимся сведениям, инструментов, простирающих возможности природных человеческих органов чувств, практически не было.

Люди были принуждены обстоятельствами наблюдать только те явления, которые были доступны непосредственным ощущениям. С изобретением телескопа и микроскопа диапазон размеров, доступных исследователям, расширился.

Законы движения, сформулированные для масштабов макромира, стали распространяться на мегамир и микромир. Процесс этот продолжается и поныне. Новые открытия порождают новые вопросы. Вопросы, касающиеся исследования движения были, есть и будут актуальны и практически значимы, хотя бы потому, что в Мире нет абсолютного покоя. Всё в этом Мире движется!

В принципе весь комплекс естественнонаучных дисциплин в той или иной степени представляет собой теории разнообразных движений. Самым простым видом движения является механическое движение, т.е. изменение взаимного положения разнообразных объектов в пространстве и времени. Этот тип движения начали изучать первым, что и определило заметные успехи.

Исследование особенностей механического движения привело к необходимости разработки новых отраслей знаний в рамках уже существующих дисциплин. Так например для описания механических процессов движения Ньютону потребовалось разработать методы исчисления бесконечно малых величин, т.е. разработать основы математического анализа.

По мере открытия законов движения возникали самостоятельные разделы физики, такие как: теоретическая механика, сопротивление материалов, механика сплошных сред, аэро и гидромеханика и т.д.

Сформулированные законы механического движения исследователи пытались использовать в смежных областях знаний, распространяя уравнения в области микромира и мегамира. В ряде случаев такие попытки стали плодотворными.

1.2. Кинематические характеристики движения

В кинематике изучают движение без учёта причин его вызывающих, т.е. силы, приводящие те или иные объекты в состояние взаимного перемещения, не рассматриваются.

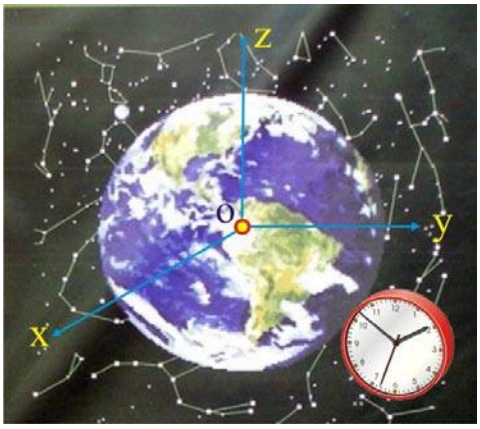


Рис. 1.2. Система отсчёта

Как будет показано ниже, говорить о движении, как таковом имеет смысл только при выборе соответствующей системе отсчёта. Под системой отсчёта понимается привязка движения в пространстве и во времени. Практически, для исследования движения необходима система координат и измеритель времени (рис. 1.2).

В кинематике такой выбор диктуется исключительно удобством пользования. При рассмотрении движения объектов вблизи земной поверхности, естественно выбрать систему отсчёта связанную с Землёй, считая её условно неподвижной, почти по Аристотелю. Если анализировать Землю, как движущийся объект, то систему отсчёта целесообразно связать с Солнцем, т.е. по Копернику. Все системы отсчёта в кинематике, в отличие от динамики, эквивалентны.

Самым простым движущимся объектом является материальная точка. Строго говоря, это некий абстрактный элемент, своеобразная физическая или геометрическая модель.

Материальная точка это некое тело, геометрическими размерами которого в условиях данного движения без ущерба для анализа можно пренебречь. Формально представить себе объект, не имеющий геометрических размеров, но обладающий массой довольно сложно.

Всякая масса ассоциируется с занимаемым ей объёмом. На самом деле существует целый набор кинематических и динамических задач, в которых макроскопическое тело можно полагать геометрической точкой, в которой сосредоточена вся наличная масса.

При решении вопроса о том, можно ли данное тело считать точкой, физические и иные свойства самого тела не имеют никакого значения, важны только параметры движения.

Так, в ряде частных случаев, например, при рассмотрении прямолинейного движения по океанским просторам, огромное морское судно можно принять за точку, на основании того, что его размеры гораздо меньше размеров Земли ($R_З \cong$ 6400 км). С другой стороны «закрученный» футбольный мяч, обладающий собственным вращением, точкой считать нельзя.

Введение понятия материальной точки, т.е. идеализация задачи движения, существенно упрощает процесс анализа, позволяя получать законы классической механики в наиболее простом виде.

Классическая механика рассматривает движения макроскопических тел, происходящие со скоростями гораздо меньшими скорости света ($c \cong 3 \cdot 10^8$ м/с).

Даже повседневная жизнь, не говоря уже о профессиональных и образовательных занятиях, требует постоянного оперирования всякого рода числами. Практически на подсознательном уровне, числа представляются нам килограммами, секундами, миллиметрами ртутного столба, литрами, денежными единицами, оборотами в минуту и. т.д.

Без этого, обсуждая прошедшие, настоящие или предстоящие события никак не обойтись. Без количественных оценок в соответствующих единицах измерения события теряют всякий смысл.

Движение не является исключением. Для исследования его закономерностей требуются специальные единицы измерения, которые, кстати, в общих чертах, всем хорошо известны.

Ни для кого не секрет, например, что вся наша жизнь протекает в пространстве и времени. Эти физические, а во многом и философские понятия, несмотря на общеизвестность, не так просты, как кажутся на первый не просвещенный взгляд.

Учёные выяснили, что пространственно временные физические категории весьма далеки от полного их осознания. Так, например, до настоящего времени не утихают дискуссии о трёх мерности нашего пространства и возможности изменения направления течения времени. Но в простейших случаях анализа механических движений нам будет вполне достаточно установить ограниченное количество характеристик пространства и времени.

Приведём далее сведения, касающиеся единиц измерения физических величин, встречающмхся при рассмотрении механического движения наиболее часто.

Длина. Это понятие можно истолковать чисто геометрически, представив, как расстояние между двумя выбранными точками. В прошлые времена длины измеряли шагами, в локтях, в пядях, в ярдах, мерными шестами и прочими экзотическими с позиций теперешнего времени единицами и инструментами.

Сейчас большинство представителей просвещенного человечества предпочитают метрическую систему мер, которая была внедрена во Франции в 1801 г., в частности и стараниями Наполеона, который, со свойственной ему настойчивостью, распространял её на все завоёванные территории.

А поскольку, за малым исключением, все европейские государства были «осчастливлены» присутствием французов, то метрическая система мер быстро получила распространение и признательность. Единица длины была определена, как десятимиллионная часть длины меридиана, проходящего, естественно, через Париж, от экватора до Северного полюса.

Эталон был грандиозен, но крайне непрактичен, можно сказать – эфемерен. В 1889 г. эталон «приземлили». На платиноиридиевом бруске, находящимся при нормальных условиях (температура $0\ ^0$С, давление 750 мм ртутного столба) нанесли две параллельные метки, расстояние между которыми соответствовало меридиональным вычислениям. Это стал эталон метра.

Каждая уважающая себя держава имеет сейчас номерные вторичные эталоны длины, которые вправе использовать при организации своих метрологических систем, например, для того чтобы выпускать «правдивые» рулетки и линейки.

Современными измерительными средствами, с использованием прецизионного микроскопа, сравнение длин можно произвести с точностью порядка $(2 - 5)\cdot 10^{-7}$ м. Для некоторых научных и астронавигационных целей такой точности оказалось недостаточно, поэтому в качестве эталона стали использовать не металлический брусок, а длину волны, которую излучает 86 изотоп криптона.

Оказалось, что 1 650 7634, 75 длины отражённой волны с высокой степенью точности соответствует 1 м, что на два порядка точнее прежнего.

На практике, исключительно для удобства и нежелания рисовать много нулей перед или после значащей величины, часто используются производные единицы длины, сведения о которых приведены в табл. 1.1

Таблица 1.1

Единица	м	см	мм	мкм	нм	А
Метр	1	100	10^3	10^6	10^9	10^{10}
Сантиметр	10^{-2}	1	10	10^4	10^7	10^8
Миллиметр	10^{-4}	0,1	1	10^3	10^6	10^7
Микрометр	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}	1	10^3	10^4
Нанометр	10^{-9}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-3}	1	10
Ангстрем	10^{-10}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-4}	0,1	1

Из соотношения единиц длины автоматически следуют соотношения между единицами площади, которые представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Единица	$м^2$	$см^2$	$мм^2$	га
Квадратный метр	1	10^4	10^6	10^{-4}
Квадратный сантиметр	10^{-4}	1	10^2	10^{-8}
Квадратный миллиметр	10^{-6}	10^{-2}	1	10^{-10}
Гектар	10^4	10^8	10^{10}	1

Соотношения между единицами объёма приведены в табл. 1.3

Таблица 1.3

Единица	$м^3$	$дм^3$ (литр)	$см^3$	$мм^3$
Кубический метр	1	10^3	10^6	10^9
Кубический дециметр	10^{-3}	1	10^3	10^6
Кубический сантиметр	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3
Кубический миллиметр	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

Время. Понятие времени не в пример сложнее длины. Если понятие длины утвердилось с самых древних времён, то трактовка времени постоянно трансформировалась с всё новыми его свойствами.

Аристотель считал время «числом движения», а Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646 – 1716) физик, философ-идеалист, математик, изобретатель, юрист, историк и филолог полагал, что время есть абстракция соотношений всех последовательностей. «Нельзя в одну и ту же реку войти дважды» несомненно, можно отнести и к понятию времени.

Дело в том, что эталоном длины можно пользоваться многократно, на своё усмотрение, прикладывая линейку к измеряемому объекту требуемое число раз. Эталон времени может быть использован только однократно, что требует для использования только повторяющихся, периодических процессов.

Первые попытки введения эталона времени были связаны с очевидными периодическими процессами. Древние Славяне, жрецы Древнего Китая и Месопота-

мии практически одновременно, в историческом масштабе времени, разумеется, обратили внимание на то, что Луна являет свой лик через определённые промежутки времени. Возникли лунные календари.

Оказалось, что фазы Луны не совпадают с продолжительностью года, приходилось в конце года добавлять дни. На смену лунным календарям пришли солнечные, ввели понятие среднесуточного солнечного времени. За эталон времени была принята 1/86400 часть средних солнечных суток.

Время, исчисляемое таким способом, называется всемирным временем. Всё бы ничего, но обнаружилось, что Земля, строго говоря, вращается вокруг собственной оси не совсем равномерно, отсюда обеспечить точность более 10^{-8} оказалось невозможным.

Во многих научных, технологических и транспортных процессах требовалась более жёсткая синхронизация. По аналогии с длиной для увеличения точности измерения времени воспользовались свойством периодичности процессов на атомном уровне.

В качестве одного из наиболее точных эталонов времени стали использовать длительность 9 192 631 770 периодов атомных колебаний 133 изотопа цезия. Использование атомного эталона времени позволило сравнивать длительность отдельных событий с точностью до 10^{-12}.

Атомные часы «ошибаются» на 1с за 30 тыс. лет. Пошли ещё дальше, обнаружив, что излучение водородных лазеров ещё более стабильно, что позволяет повысить точность в сравнении с атомным эталоном ещё на два порядка. В табл. 1.4 приведены данные об относительной точности часов, использующих в качестве эталона различные периодические процессы

Таблица 1.4

Тип часов	Максимальная ошибка в 1 с за время	Относительная точность
Песочные часы	1,5 минуты	10^{-2}
Маятниковые механические часы	3 часа	10^{-4}
Камертон	1 сутки	10^{-5}
Кварцевый резонатор	3 года	10^{-8}
Квантовый генератор на аммиаке	30 лет	10^{-9}
Квантовый генератор на цезии	$3 \cdot 10^4$ лет	10^{-12}
Квантовый генератор на водороде	$3 \cdot 10^6$ лет	10^{-14}

В настоящее время в разных областях человеческих знаний используется несколько временных шкал, которые наилучшим образом приспособлены для исчисления конкретных процессов.

Эфемерное время. Используется в качестве независимой переменной при описании движения тел космического происхождения.

Звёздное время. Используется в астрономии и астрофизике. В качестве характерного периода принято время одного полного оборота Земли вокруг своей оси, относительно системы неподвижных звёзд.

Солнечное время. За характерную величину принято изменение часового угла Солнца. Существует истинное и среднее солнечное время, в зависимости от выбранного способа отсчёта, по истинному или среднему положению светила.

Всемирное время. Среднее солнечное время начального меридиана, за который условно принят меридиан обсерватории в Гринвиче.

Местное время. Определяется в соответствии с географической долготой местности и одинаково для всех точек на одном меридиане.

Поясное время. Среднее солнечное время, определённое для 24 основных географических меридианов, отстоящих друг от друга на угловом расстоянии 15^0 по долготе. Поверхность нашей планеты разделена на 24 часовых пояса, в пределах каждого из которых поясное время совпадает со временем, проходящего через них основного меридиана.

Декретное время. Вводится правительственными постановлениями. Декретное время исчисляется путём прибавления одного часа в летнее время и вычитания часа в зимнее время. Перевод стрелок часов на 1 час производится в ночь с последней субботы на воскресенье в марте и сентябре. Такое изменение времени позволяет оптимизировать хозяйственную деятельность применительно к светлому времени суток.

Всем известно, что год представляется в виде промежутка времени, равного в первом приближении периоду обращения Земли вокруг Солнца. Поскольку в качестве эталона используются разные элементарные периоды времени, то и существуют различные определения продолжительности года.

Звёздный (сидерический) год. Этот промежуток времени соответствует одному видимому обороту Солнца по небесной сфере относительно неподвижных звёзд. Продолжительность такого года составляет 365,2564 средних солнечных суток.

Тропический год. Промежуток времени между двумя последовательными прохождениями центра истинного Солнца через точку весеннего равноденствия. Тропический год имеет продолжительность в 365,2422 средних солнечных суток.

Аномалистический год. Продолжительность такого года равна времени между двумя последовательными прохождения центра Солнца через перигей его видимой геоцентрической орбиты. Аномалистический год состоит из 365,2596 средних солнечных суток.

Драконический год. Промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через один и тот же узел орбиты Луны на эклиптике. Драконический год состоит из 346,62 средних солнечных суток.

Лунный год. Двенадцать синодических месяцев включают 354,3671 средних солнечных суток.

Календарный юлианский год (старый стиль). Состоит из 365,25 средних солнечных суток.

Календарный григорианский год (новый стиль). Включает в себя 365,2425 средних солнечных суток.

В качестве продолжительности месяца, формально составляющего 1/12 часть продолжительности года, принят промежуток времени, близкий к периоду обращения Луны вокруг Земли. Принято месяцы классифицировать следующим образом.

Синодический месяц. Исчисляется, как промежуток времени, соответствующий периоду смены фаз Луны. Соответствует 29,5306 средних солнечных суток.

Звёздный месяц (сидерический). Время полного оборота Луны вокруг Земли относительно звёзд, что составляет 27,5306 средних солнечных суток.

Календарный месяц. От фаз Луны не зависит и включает в себя от 28 до 31 суток.

В качестве суток чаще всего, используется понятие эфемерных, солнечных и звёздных суток.

Эфемерные сутки, состоят из 24 часов, что равно 1440 минут или 86400 секунд.

Солнечные сутки. Равны периоду обращения Земли относительно Солнца. Продолжительность солнечных суток равна от 24 ч 0,3 мин 36 с до 24 ч 04 мин 27 с звёздного времени.

Звёздные сутки (сидерические). В качестве эталона принят период вращения Земли вокруг своей оси относительно звёзд. Звёздные сутки состоят из 23 ч 56 мин 040905 с среднего солнечного времени.

Часы, минуты и секунды получаются арифметически при простом делении продолжительности суток. Час равен промежутку времени, соответствующему 1/24 суток. В качестве минуты, состоящей из 60 с принята шестидесятая часть часа. Однако напомним, что отсчёт начинается с первоначального эталона – секунды, равной 9 192 631 770 периодов излучения цезия-133, соответствующего переходу атома между двумя сверхтонкими энергетическими уровнями.

Изучение любого движения, вне зависимости от его сложности и происхождения начинается с довольно простых вопросов: «Где и когда?». В повседневной жизни на такие вопросы мы отвечаем на уровне подсознания, не заостряя внимания на конкретике.

Назначая кому-либо рандеву, «забивая стрелку», вы непременно обозначаете место встречи, привязывая точку встречи к известному объекту, магазину, архитектурному памятнику и т.п. и устанавливаете время свидания в часах и минутах. Другими словами, вы задаёте систему пространственного отсчёта и включаете в ней отметчик времени, секундомер, хронометр или тривиальные часы.

То же, в принципе, приходится делать и при описании движения в физике. В отличие от повседневности, при физическом описании движения необходимо процесс организовать так, чтобы можно было движение в целом, или отдельные его фазы описать математически. Получить некие уравнения, используя которые можно было бы прогнозировать результаты. Говорить о движении, не задав систему отсчёта и не включив в этой системе секундомер, занятие, по меньшей мере, бесполезное.

После того как Рене Декарт (1596 – 1650) в 1637 г. опубликовал свою работу «Рассуждение о методе», в которой, в частности, привёл первое систематизированное изложение аналитической геометрии, сопоставив геометрическим образам алгебраические уравнения, выбор системы отсчёта стал более очевидным.

Декартова система координат, хорошо известная каждому, даже очень посредственному школьнику, стала одним из основных и удобных средств исследования движений.

Положение математической точки (ещё будет и материальная точка) в декартовой системе задаётся тремя числами (рис. 1.3), обозначающими длины отрезков (M_x, M_y, M_z), отсекаемых перпендикулярами, опущенными из точки на соответствующие оси {Ox, Oy, O}.

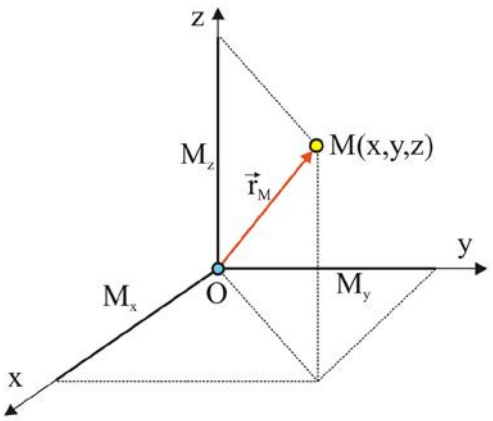


Рис. 1.3. Декартова система координат

Для того чтобы задать пространст-

венное движение в координатной форме, необходимо указать, каким образом координаты исследуемой точки изменяются во времени, т.е. требуется записать систему трёх алгебраических уравнений

$$\begin{cases} x = f_1(t); \\ y = f_2(t); \\ z = f_3(t). \end{cases}$$

Координаты точки М измеряются в метрах, а время, чаще всего в секундах. Если движение протекает в плоскости, например, в {Oxy}, то для описания такого движения требуется всего два уравнения

$$\begin{cases} x = f_1(t); \\ y = f_2(t). \end{cases}$$

Самым простым случаем, в этом плане, является движение вдоль прямой, для его исчерпывающего описания требуется всего одно уравнения

$$x = f(t).$$

Приведенные выше соотношения между координатами и временем называются уравнениями движения. Используя эти уравнения можно определить все кинематические характеристики движения: скорость, ускорение, путь, траекторию и перемещение.

Если начало системы отсчёта, точку О соединить направленным отрезком с исследуемой точкой М, то получится, так называемый радиус-вектор $\vec{r}_N$, при этом отрезки (M_x, M_y, M_z) будут являться проекциями этого радиус-вектора на оси декартовой системы координат.

Прежде чем следовать далее, необходимо несколько слов сказать о векторах. Дело в том, что в физике полезно наряду с прочими способами, провести классификацию величин по признаку их направленности.

Так, например, количество автомобилей, стоящих под окнами дома, температура, давление, количество денег в вашем кармане однозначно определяются одним числом.

Перемещение, скорость, силу и некоторые другие величины, о которых будет сказано далее, одним числом охарактеризовать невозможно. На вопрос: «На стоянке стояли три автомобиля, сколько автомобилей будет стоять, если приедут ещё четыре транспортных средства?». Вы ответите: «Семь». И будете абсолютно правы. Если же с этими числами составить вопрос для сложения скоростей: «Чему будет равна сумма скоростей v_1 = 4 м/с и v_2 = 3 м/с?». Вопрос без задания направления скоростей, мягко говоря, некорректен.

Векторы складываются геометрически, по правилу параллелограмма (рис. 1.4). Уравнение, по которому определяется результирующий вектор следует из тригонометрической теоремы косинусов

$$\left|\vec{v}_1 + \vec{v}_2\right| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2\cos\alpha}.$$

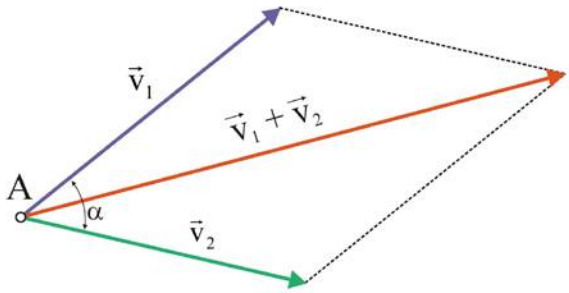


Рис. 1. 4. Сложение векторных величин

Геометрическое правило сложения векторов представляет собой достаточно простую операцию. Чтобы сложить два вектора, необходимо в соответствующем масштабе построить их из одной точки, например А, и образовать параллелограмм. В этом случае сумма векто-

ров геометрически представится в виде диагонали параллелограмма, соединяющей начальную точку с противоположной вершиной.

Кстати, разность этих векторов тоже будет являться векторной величиной (рис. 1.5) и геометрически представиться как вторая диагональ всё того же параллелограмма, соединяющая концы исходных векторов.

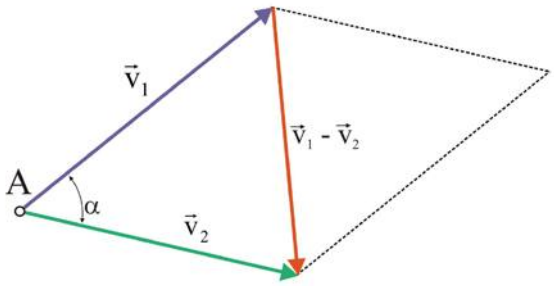


Рис. 1.5. Вычитание векторов

Из уравнения геометрической суммы векторов можно получить несколько частных случаев, которые сделают вычисления более эффективными.

Результат сложения при неизменных величинах суммируемых векторов будет определяться величиной угла α, поскольку cosα может менять своё значение от – 1 до + 1, с переходом через нулевое значение.

Предположим далее, что векторы скоростей направлены в одну сторону, в этом случае α = 0, следовательно, cosα = 1. Уравнение модуля суммы перепишется следующим образом

$$\left|\vec{v}_1+\vec{v}_2\right| = \sqrt{v_1^2+v_2^2+2v_1v_2} = \sqrt{\left(v_1+v_2\right)^2} = v_1+v_2 \quad .$$

Суммарная скорость в этом случае будет равна алгебраической сумме (4 + 3) = 7. Если скорости направить в противоположные стороны, то $\alpha = 180^0$, cosα = – 1

$$\left|\vec{v}_1+\vec{v}_2\right| = \sqrt{v_1^2+v_2^2-2v_1v_2} = \sqrt{\left(v_1-v_2\right)^2} = v_1-v_2 \quad .$$

В этом случае суммарная скорость составит 1 м/с. Таким образом, при сложении заданных скоростей величина результирующего вектора может изменяться от 1 м/с до 7 м/с, в зависимости от величины угла между слагаемыми векторами.

Ещё один часто встречающийся случай, $\alpha = 90^0$,при этом cosα = 0, обсуждаемое уравнение при таком условии трансформируется в теорему Пифагора

$$\left|\vec{v}_1+\vec{v}_2\right| = \sqrt{v_1^2+v_2^2} = \sqrt{4^2+3^2} = 5\frac{м}{с} \quad ,$$

Векторное представление движения позволяет уравнения движения записывать более рационально. Возвращаясь к рис. 1.3, отметим, что радиус-вектор на самом деле характеризуется тремя числами, т.е. координатами его конца.

Если задать во времени изменение этого вектора, то получится уравнение движение в векторной форме

$$\vec{r} = f(t).$$

Таким образом, одно и то же пространственное движение может задаваться в виде трёх алгебраических уравнений типа (2.1) или одним векторным уравнением.

Векторный способ задания движения удобен для исследовательских целей. Меньше писанины, одно уравнение не три. Векторы выдумали, для того чтобы, используя правила векторной алгебры, складывать, вычитать и умножать векторные величины, получая результат наиболее коротким путём.

Для решения же практических задач предпочтительнее координатный способ, он более просто воспринимается, потому, что все привыкли к тому, что все материальные предметы характеризуются длиной, высотой и шириной.

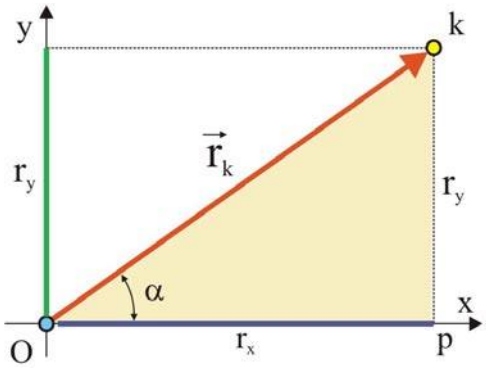


Рис. 1.6. Взаимосвязь радиус-вектора и его координат

Между координатным и векторным способами задания движения существует очевидная взаимосвязь, которую для простоты выводов рассмотрим для плоского случая, т.е. в координатах {O,x,y}.

Изобразим на плоскости точку, например k (рис. 1.6) и проведём соответствующий ей радиус-вектор $\vec{r}_k$. Треугольник Okp является прямоугольным с гипотенузой r_k и катетами r_x и r_y, что даёт возможность, используя теорему небезызвестного Пифагора записать очевидное уравнение

$$\left|\vec{r}_k\right| = \sqrt{r_x^2 + r_y^2}\,.$$

Чтобы найти модуль радиус-вектора, необходимо его проекции на оси координат возвести в квадрат, сложить и из результата извлечь корень квадратный, т.е. квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов.

С другой стороны, зная модуль радиус-вектора и его направление (угол α) можно определить проекции этого радиус-вектора на оси координат, используя определения косинуса и синуса

$$\cos\alpha = \frac{r_x}{\left|\vec{r}_k\right|} \Rightarrow r_x = \left|\vec{r}_k\right|\cos\alpha; \quad \sin\alpha = \frac{r_y}{\left|\vec{r}_k\right|} \Rightarrow r_y = \left|\vec{r}_k\right|\sin\alpha \qquad .$$

Уравнения позволяют осуществлять переход от координатной формы задания движения к векторной и наоборот. Проекция (компонента) вектора на ось равна произведению модуля вектора и косинуса угла, образованного вектором и положительным направлением оси.

В зависимости от величины угла, образованного положительным направлением оси и вектором, проекция вектора на ось может, при прочих равных условиях, быть положительной, отрицательной или равной нулю (рис. 1.7)

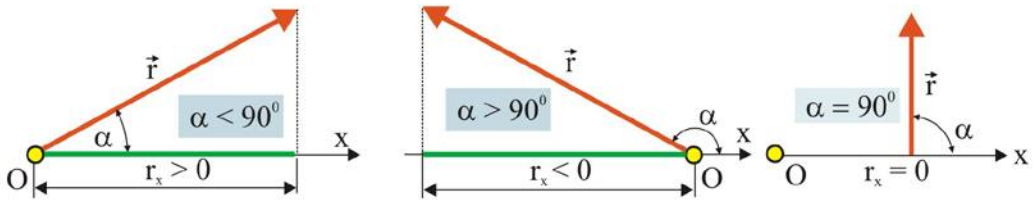


Рис. 1.7. Проекции вектора на ось

Векторы можно умножать на положительные и отрицательные числа (умножать вектор на скаляр). Если некий вектор $\vec{r}$ умножить на положительное число k, то получится новый вектор, имеющий направление исходного вектора, но его модуль будет в k раз больше

$$\vec{R} = k\vec{r}\,.$$

Если число k будет отрицательным, то модуль результирующего вектора $\vec{R}$ так же увеличится в k раз, но его направление изменится на противоположное.

Введём сразу три величины, характеризующие движение – **траекторию, путь и перемещение.** Траекторией называется линия, вдоль которой происходит движение. Траекторию можно рассматривать как геометрическое место точек, в котором последовательно в процессе движения побывал исследуемый объект.

Путь – это часть траектории, проходимая движущимся объектом за данный промежуток времени.

Рассмотрим схему движения Земли вокруг Солнца. Светило (рис. 1.8), как известно, расположено в одном из фокусов эллипса, который является траекторией годового путешествия нашей планеты. Если выделить два произвольных положения Земли на траектории, например 1 и 2, то путь представится частью траектории. Он выделен более жирной линией зелёного цвета.

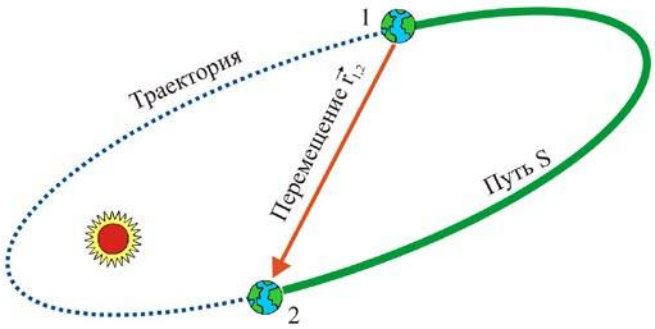


Рис. 1.8. Траектория, путь и перемещение

В зависимости от геометрического вида траектории происходящие движения могут быть прямолинейными, криволинейными, в частности, круговыми. Если начальную и конечную точки пути соединить направленным отрезком (вектором) $\vec{\mathbf{r}}_{1,2}$, то получим перемещение.

Уравнения движения, в частности, позволяют установить вид траектории и определить величину пути за заданный промежуток времени. Покажем такую возможность на примере.

Пусть некая точка движется в плоскости в соответствие с уравнениями:

$$\begin{cases} x = A\sin\omega t, \\ y = A\cos\omega t, \end{cases}$$

где A = 2 м, ω = π/4 рад/с – постоянные для данного движения величины. Установить вид траектории непосредственно по виду уравнений движения затруднительно. Как следует из определения, уравнение траектории представляет собой соотношение, связывающее координаты, а уравнения движения связывают эти координаты со временем.

Чтобы получить из уравнений движения вид траектории, необходимо исключить из них время. В данном случае выражать время из одного уравнения и подставлять во второе, занятие малоперспективное для начинающих.

Лучше использовать более изящный приёмчик. Люди обременённые элементарными знаниями основ тригонометрии, осведомлены о том, что $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$. В данном случае, чтобы воспользоваться этим обстоятельством достаточно заданные уравнения движения возвести в квадрат и почленно сложить, правила алгебраических преобразований уравнений это допускают.

$$\begin{cases} x^2 = A^2\sin^2\omega t, \\ y^2 = A^2\cos^2\omega t. \end{cases} \Rightarrow \quad x^2 + y^2 = A^2 \quad .$$

Как видно из последнего уравнения рассматриваемая точка движется по круговой траектории радиуса A (рис. 1.9).

Предположим, что в начальный момент времени (t =0) исследуемая точка находилась в положении 1 и имела следующие координаты $x_1 = 0$, $y_1 = A$, далее за промежуток времени τ = 1 с точка переместилась в положение 2. Для определения

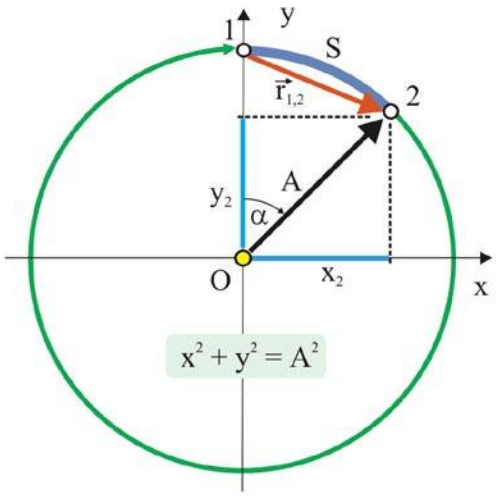


Рис. 1.9. Графическая реализация уравнений

координат точки 2 необходимо значения τ, A и ω подставить в уравнение движения

$$x_2 = 2\sin\left(\frac{\pi}{4}\cdot 1\right) = 2\cdot 0{,}707 = 1{,}41\,\text{м} \quad ,$$

$$y_2 = 2\cos\left(\frac{\pi}{4}\cdot 1\right) = 2\cdot 0{,}707 = 1{,}41\,\text{м} \quad .$$

За указанное время точка повернётся на угол $\alpha = \pi/4$ рад, пройдя путь $S = \alpha A \cong 1{,}57$ м. Модуль перемещения точки определится как длина хорды

$$\left|\vec{r}_{1,2}\right| = 2A\sin\frac{\alpha}{2} = 2A\sin\frac{\pi}{8} \cong 1{,}53\,\text{м} \quad .$$

Скорость точки. Проще всего определить скорость, имеющую по обыкновению смысл направления и величины, когда точка движется прямолинейно и равномерно, не суетясь и не рыская, так сказать. В этом простейшем случае нужно величину пути поделить на время этого путешествия и получить значение скорости

$$v = \frac{S}{\tau}, \left[\frac{\text{м}}{\text{с}}\right].$$

Вопрос с направлением вектора скорости тоже решается запросто, потому что вариантов нет. Вектор скорости будет направлен в сторону движения. Если точка движется по криволинейной траектории, то скорость нельзя считать постоянной, потому что, даже, если модуль скорости сохраняет своё значение за всё время движения, то направление вектора скорости изменяется (рис. 1.10).

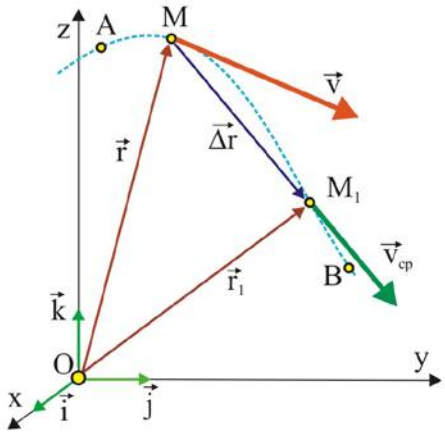


Рис. 1.10. Средняя и мгновенная скорость

Представим некоторую точку, совершающую криволинейное движение по произвольной криволинейной траектории AB.

В некоторый момент времени точка занимает положение M, определяемое радиус-вектором $\vec{r}$. В момент времени $t_1 = t + \Delta t$, т.е. через промежуток времени Δt, исследуемая точка перемещается в положение M_1, характеризуемое радиус-вектором $\vec{r}_1$. Вектор $\Delta\vec{r}$ представляет собой перемещение за промежуток времени $\Delta t = (t_1 - t)$.

Отношение вектора перемещения точки к величине промежутка времени, за которое совершается это перемещение, называется вектором средней скорости за данный промежуток времени

$$\vec{v}_{ср} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}, \left[\frac{\text{м}}{\text{с}}\right].$$

Как видно из уравнения значение вектора средней скорости за промежуток времени Δt будет зависеть от величины этого промежутка времени. Естественно предположить, что чем меньше будет величина Δt, тем адекватнее вектор средней

скорости будет характеризовать изменение вектора перемещения за единицу времени в течение промежутка Δt.

При движении точки по двум последовательным одинаковым участкам с соответствующими скоростями v_1 и v_2 средняя скорость определяется как

$$v_{ср} = \frac{s}{t_1 + t_2} = \frac{s}{\frac{0{,}5s}{v_1} + \frac{0{,}5s}{v_2}} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}.$$

Когда половину всего времени точка движется со скоростью v_1 , а вторую половину времени со скоростью v_2, то средняя скорость определяется как

$$v_{ср} = \frac{s_1 + s_2}{t} = \frac{v_1 \cdot 0{,}5t + v_2 \cdot 0{,}5t}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad .$$

Предел, к которому стремится вектор средней скорости, при $\Delta t \to 0$ называется **вектором мгновенной скорости** или вектором скорости в данный момент. При анализе движения часто мгновенную скорость называют просто – скоростью. Математически процесс определения мгновенной скорости представляется следующим образом

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\vec{v}_{ср}\right) = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \equiv \dot{r}, \left[\frac{м}{с}\right] \quad .$$

Вектор скорости точки в данный момент времени равен первой производной от радиус-вектора этой точки по времени. Исходя из геометрического смысла производной, вектор скорости направлен всегда по касательной к траектории в данной точке в сторону движения.

Вектор средней скорости, как видно из рис. 1.10 совпадает по направлению с хордой MM_1. При $\Delta t \to 0$ точка M_1 перемещается в сторону M, так что хорда трансформируется в касательную.

Следует иметь в виду, что

$$\frac{d\vec{r}}{dt} \neq \frac{d|\vec{r}|}{dt}.$$

Так, например, если точка движется по круговой траектории, то модуль её радиус-вектора остаётся постоянным во всё время движения (рис. 1.9), в то время как направление радиус-вектора меняется, т.е.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \neq 0.$$

Если уравнения движения точки заданы в координатной форме, то радиус-вектор точки будет связан со своими проекциями следующим уравнением

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad ,$$

где $\{\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}\}$ единичные векторы, направление которых совпадает с осями координат (рис. 1.10), а их модуль равен единице измерения соответствующей величины, в данном случае они измеряются в метрах.

Проекции вектора мгновенной скорости определяться уравнениями:

$$v_x = \frac{dx}{dt} \equiv \dot{x}, \quad v_y = \frac{dy}{dt} \equiv \dot{y}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \equiv \dot{z} \quad .$$

Вектор мгновенной скорости представится следующим образом:

$$\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} \equiv \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} \quad .$$

Ускорение точки. Как отмечено ранее, только равномерное прямолинейное движение может протекать со скоростью, модуль и направление которой не изменяются во времени. Напомним, что скорость векторная величина и считается переменной, если изменяется модуль и направление, как вместе, так и по отдельности.

Для характеристики быстроты изменения вектора скорости $\vec{v}$ вводится специальная векторная величина **– ускорение**, обозначаемая чаще всего буквой $\vec{a}$.

Ускорением называется вектор $\vec{a}$, численно равный первой производной по времени t от скорости $\vec{v}$ или второй производной по времени радиус-вектора по времени

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}, \left[\frac{м}{c^2}\right].$$

Вектор ускорения, так же как вектор скорости можно представить в координатной форме

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k} \quad ,$$

при этом

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}; \; a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}; \quad a_z = \frac{dz}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \qquad .$$

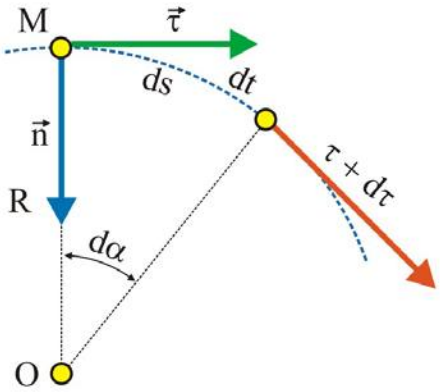


Рис. 1.11. Составляющие ускорения

Если точка движется в плоскости, то вектор ускорения тоже располагается в этой плоскости. В отличие от вектора скорости, направление вектора ускорения определить в рамках кинематики невозможно, т.к. его направление зависит от системы действующих сил, которые в кинематике не рассматриваются. Однако направление вектора ускорения можно определить, используя особое его разложения по взаимно перпендикулярным направлениям (рис. 1.11).

Пусть точка движется по круговой траектории радиуса R с центром в точке O и занимает в начальный момент времени положение M. Совместим с начальным положением точки взаимно перпендикулярные базисные векторы $\vec{n}$ и $\vec{\tau}$, первый из них направлен перпендикулярно вектору скорости, а второй – совпадает с вектором скорости по направлению. В этом случае вектор ускорения можно разложить на две составляющие

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau,$$

векторная величина $\vec{a}_n = a_n\vec{n}$ **называется нормальным ускорением**, $\vec{a}_\tau = a_\tau\vec{\tau}$ – **тангенциальное или касательное ускорение.**

Нормальное ускорение характеризует, как быстро меняется по направлению вектор скорости. Тангенциальное ускорение показывает быстроту изменения модуля скорости.

Рассмотрим бесконечно малое перемещение ds, произошедшее за промежуток времени dt, которому соответствует угловой поворот на $d\alpha$

$$d\alpha = \frac{ds}{R} = \frac{vdt}{R} \quad .$$

Так как вектор скорости совпадает по направлению с базисным вектором $\vec{\tau}$, то уместно записать следующее соотношение: $\vec{v} = v\vec{\tau}$, следовательно

$$\vec{a} = \frac{d}{dt}\left(v\vec{\tau}\right) = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + v\frac{d\vec{\tau}}{dt} \quad .$$

С другой стороны, изменение направления вектора $\vec{\tau}$ можно выразить через изменение угла поворота $d\alpha$

$$\frac{d\vec{\tau}}{dt} = \frac{d\alpha}{dt}\vec{n} = \frac{v}{R}\vec{n} \ .$$

Совместим далее уравнение суммы составляющих ускорения

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + \frac{v^2}{R}\vec{n} \ .$$

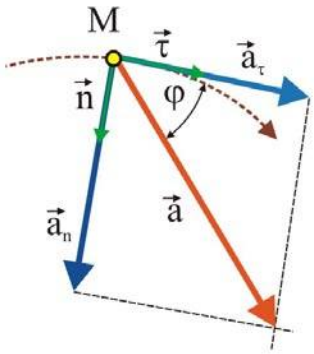


Рис. 1.12. Вектор ускорения

Из уравнения, в частности, следует, что при ускоренном движении (dv/dt) > 0 вектор тангенциального ускорения совпадает с вектором скорости (рис. 1.12). При замедленном движении (dv/dt) < 0 вектор $\vec{a}_\tau$ противоположен по направлению вектору скорости.

Движение точки считается равнопеременным, если за равные промежутки времени модуль скорости изменяется на одинаковую величину, в этом случае $a_\tau = const$. Для равноускоренного движения характерно, что $a_\tau = const > 0$, для равнозамедленного – $a_\tau = const < 0$, при равномерном движении $a_\tau = 0$.

Модуль полного ускорения на основании уравнения ввиду перпендикулярности составляющих определится очевидным соотношением

$$a = \left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2} \ .$$

Угол φ между вектором ускорения $\vec{a}$ и вектором $\vec{\tau}$ острый, что говорит об ускоренном движении. Если движение будет замедленным, то угол φ будет тупым.

Обращаем внимание ещё раз на уравнение

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Ускорение отлично от нуля во всех случаях, когда изменяется вектор скорости, как по модулю, так и по направлению. В частности, это обстоятельство позволяет утверждать, что всякое криволинейное движение, включая движение с постоянной по модулю скоростью по круговой траектории, является ускоренным.

Если точка с постоянной по модулю скоростью движется по окружности, то тангенциальное (касательное) ускорение будет нулевым, а нормальное ускорение нулю не равно, т.е.

$$a_\tau = 0; \quad a_n \neq 0 \quad ;$$

1.3. Основные типы движения

Равномерное прямолинейное движение. Это самый простой вид механического движения из всех. Характеризуется бесхитростным уравнением

$$\vec{v} = const \quad .$$

Равномерность движения предполагает постоянство скорости по модулю, а прямолинейность – по направлению. Формулу для определения средней скорости для данного типа движения можно представить так

$$v = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{t_2 - t_1}, \quad \Delta r = |\vec{r}| \ .$$

Для любого момента времени уравнение равномерного прямолинейного движения записывается следующим образом

$$x(t) = x_0 + vt \quad .$$

На рис. 1.11 приведены графики зависимости скорости и проходимого пути от времени для случая $x_0 = 0$. Если точка начитает движение не с начала системы отсчёта, т.е. $x_0 \neq 0$, то возможны два случая (рис. 1.12), которые математически можно представить так

$$x(t) = x_0 + vt, \quad x(t) = x_0 - vt \quad .$$

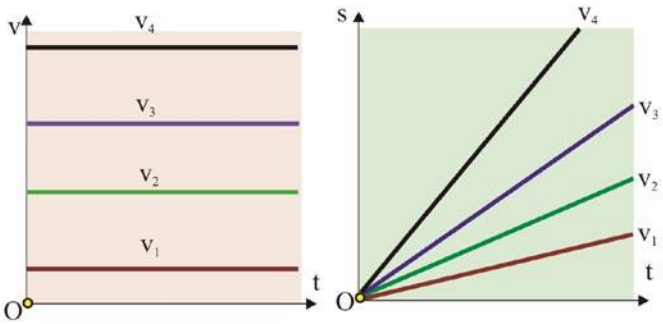


Рис. 1.11. Зависимость скорости и пути от времени при равномерном прямолинейном движении с $x_0 = 0$

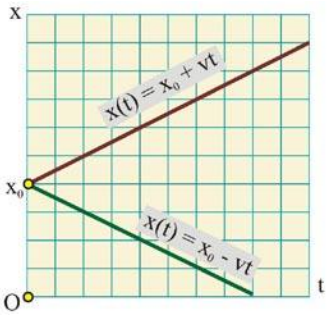


Рис. 1.12. График движения $x(t) = x_0 \pm vt$

Равнопеременное прямолинейное движение. Этот тип движения определяется условием

$$\vec{a} = const \quad ,$$

т.е. постоянным вектором ускорения, как по модулю, так и по направлению, при этом вектор среднего ускорения совпадает с вектором мгновенного ускорения. Из условия так же следует, что нормальная составляющая ускорения равна нулю $\vec{a}_n = 0$. При совпадении направлений векторов ускорения и скорости движение будет равноускоренным, если вектор скорости и вектор ускорения направлены в противоположные стороны, то движение – равнозамедленное.

На основании определения среднего ускорения можно записать следующее соотношение

$$a_{ср} = \vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta\vec{v} = \vec{a}\Delta t = \vec{a}(t - t_0),$$

т.к. $\Delta\vec{v} = (\vec{v} - \vec{v}_0)$, то

$$(\vec{v} - \vec{v}_0) = \vec{a}(t - t_0).$$

Если в начальный момент движения $t_0 = 0$, то уравнение скорости примет вид

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

Проекции скорости на оси декартовой системы координат представятся следующим образом

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} + a_x t, \\ v_y = v_{0y} + a_y t, \\ v_z = v_{0z} + a_z t. \end{cases}$$

Так как $v_x = dx/dt$, $v_y = dy/t$, $v_z = dz/dt$ то первое уравнение системы можно переписать так

$$\frac{dx}{dt} = v_{0x} + a_x t.$$

Последнее уравнение является дифференциальным с разделяющимися переменными

$$dx = v_{0x}dt + a_x t dt.$$

Проинтегрируем это уравнение

$$x = \int_0^t v_{0x}dt + \int_0^t a_x t dt.$$

Так как по определению данного типа движения $v_{0x} = const, a_x = const$, то интегрирование уравнения приведёт к результату

$$x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Аналогичные соотношения можно получить и для двух остальных проекций перемещения по осям

$$y = v_{0y} + \frac{a_y t^2}{2}, \quad x = v_{0z} + \frac{a_z t^2}{2}.$$

В случае замедленного движения в уравнениях поменяется знак перед дробью, что указывает на то, что знак проекции вектора ускорения на данную ось не совпадает с направлением проекции вектора скорости.

При замедленном движении пройденный путь определяется на основании уравнения следующим соотношением

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2},$$

Частными случаями равнопеременного движения является свободное падение тел в поле земного тяготения, которое происходит с постоянным по модулю ускорением $g \cong 9{,}8$ м/с^2, а так же движение брошенных тел, без учёта сопротивления воздуха. Такая ситуация имеет место в случаях, когда высота h существенно меньше радиуса Земли $R_З \cong 6400$ км.

При рассмотрении свободного падения тел справедливы следующие уравнения

$$v = v_0 + gt, \quad h = v_0 t + \frac{gt^2}{2},$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}, \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Полученные уравнения позволяют решать задачи, связанные с вертикальным движением тел вблизи поверхности земли. Рассмотрим два примера такого типа движения.

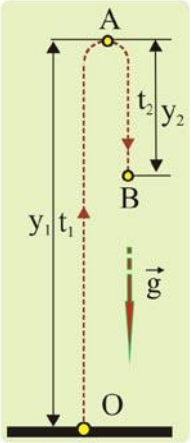


Рис. 1.13. Бросок вверх

Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью v_0 = 30 м/с. Какой путь пройдёт тело за первые τ = 4 с своего движения

Решение

1. Определим время подъёма тела в верхнюю точку траектории t_1 (рис.1.13) при заданном значении начальной скорости, с учётом того, что в этот момент времени v = 0 (перед тем как начать падать вниз, тело останавливается)

$$v_0 = gt_1, \quad \Rightarrow \quad t_1 = \frac{v_0}{g} \approx 3\,\text{с} \quad .$$

2. Определим далее максимальную высоту подъема

$$y_1 = v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = 30 \cdot 3 - \frac{10 \cdot 9}{2} \cong 45\,\text{м}.$$

3. В точке А тело потеряет скорость и начнёт падать вниз с ускорением g, причём по условию задачи нас интересует путь пройденный при падении в течение времени $t_2 = \tau - t_1 = 1$ с

$$y_2 = \frac{gt_2^2}{2} \cong 5\,\text{м}\,.$$

4. Путь, пройденный за τ = 4 с определится в виде суммы

$$s = y_1 + y_2 = 50\,\text{м} \quad .$$

Из пушки произвели выстрел ядром в вертикальном направлении. В момент, когда ядро достигло высшей точки траектории, из ствола пушки была запущена ракета, которая двигалась вертикально вверх с постоянной скоростью v = 75 м/с. Определить начальную скорость ядра, если ракета до встречи с ним летела в течение τ = 5 с. Сопротивление воздуха при полёте ядра и ракеты пренебречь.

Решение

1. Поскольку в условии не указано, что встреча ракеты и ядра произошла на нисходящей траектории ядра, то будем считать, что событие произошло во время подъёма ядра к верхней точке. Определим расстояние, которое пролетела ракета до встречи с ядром

$$h_p = v\tau = 75 \cdot 5 = 375\,\text{м} \quad .$$

3. Найдём время, прошедшее с момента старта ракеты до контакта

$$t = \sqrt{\frac{2h_p}{g}} \cong 75\,\text{с}\,.$$

4. Запишем уравнение движения ядра до высоты h_p и определим начальную скорость ядра

$$h = v_0 - \frac{gt^2}{2}, \Rightarrow v_0 = \frac{h}{t} + \frac{gt}{2} = 380\,\frac{\text{м}}{\text{с}} \quad .$$

Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Этот тип движения возбуждал у наших предков наибольший интерес, потому что был связан с желанием «удлинять» свои руки за счёт камней, палок, копий, стрел, ядер, снарядов, ракет и т.п. движущихся в поле земного тяготения предметов.

В большинство своём, эти устремления были связаны с неотвратимым желанием умерщвлять представителей животного мира. Соплеменники были отнюдь не исключением.

Проблема пропитания, власти и территорий во все времена решалась далеко не дипломатическими методами. Экспериментальные исследования движения тел, брошенных под углом к горизонту, начались за долго до возникновения первых научных потуг что-либо описать и посчитать.

Война, как это ни может показаться странным, со времён австралопитеков и до настоящего продвинутого времени была, есть, и к сожалению, будет одним из основных приводных ремней научно-технического прогресса.

Самые передовые научно-технические достижения цивилизации людской всегда были связаны с милитаристическими устремлениями. В этом смысле рассматриваемому далее типу движения, можно сказать, «повезло», оно постоянно находилось на острие «прогресса». Достаточно упомянуть ещё раз такие имена как Аристотель, Архимед, Леонардо да Винчи, Коперник, Галилей, Ньютон, Наполеон Бонапарт, чтобы проникнуться исторической значимостью этого типа движения.

Тело, брошенное в поле земного тяготения с начальной скоростью v_0, направленной под углом α к горизонту будет двигаться по криволинейной траектории, лежащей в плоскости, перпендикулярной поверхности земли.

Существенно отметить, движение протекает при постоянном по модулю и направлению ускорении $\vec{g}$. Это даёт возможность разложить криволинейное движение на два более простых: равномерное вдоль горизонтальной оси т.к. $g_x = 0$ и ускоренное по вертикальной оси, где проявляется двояко ускорение свободного падения (рис. 1.14).

Движение исследуемой точки относительно вертикальной оси из начальной точки О в точку С – **равнозамедленное**, а из точки С в точку В – **равноускоренное** с ускорением свободного падения $\vec{g}$.

В начальный момент времени при t = 0 имеем: $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha$, $v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$, $a_x = 0$, $a_y = -g$.

Для проекций скорости в любой момент времени, например в точке М, движения можно записать следующие уравнения:

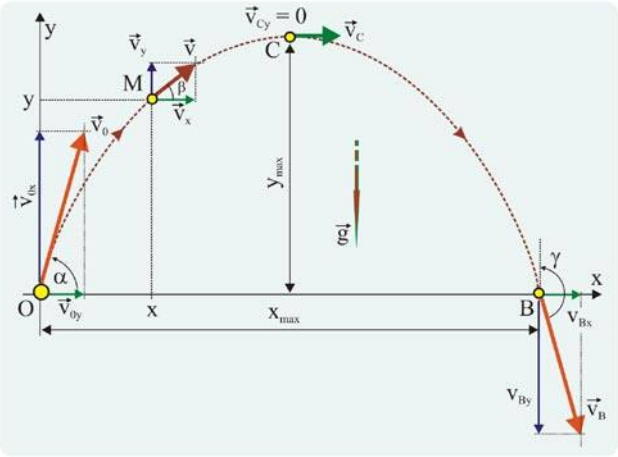


Рис. 1.14. Тело, брошенное под углом α к горизонту

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos\alpha, \\ v_y(t) = v_0 \sin\alpha - gt. \end{cases}$$

Модуль вектора скорости определится как:

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_0^2 \cos^2\alpha + (v_0 \sin\alpha - gt)^2} = \sqrt{v_0^2 \cos^2\alpha + (v_0^2 \sin^2\alpha - 2v_0 \sin\alpha gt + g^2 t^2)} \quad ,$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_0^2\left(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha\right) - 2v_0 gt\sin\alpha + g^2t^2} \quad .$$

Положение вектора скорости определим, используя свойства прямоугольного треугольника, построенного на векторе скорости и его проекциях

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{|\vec{v}_y|}{|\vec{v}_x|}, \quad \Rightarrow \quad \beta = \mathrm{arctg}\frac{v_0\sin\alpha - gt}{v_0\cos\alpha} \quad .$$

Уравнения движения запишем, используя особенности равномерного перемещения точки по горизонтали и равноускоренного по вертикали

$$\begin{cases} x(t) = v_0 t\cos\alpha, \\ y(t) = v_0 t\sin\alpha - \dfrac{gt^2}{2} \end{cases} .$$

Время подъёма тела в верхнюю точку траектории С определим при условии равенству нулю с этой тоске скорости: $v_y = 0$

$$v_0\sin\alpha - gt_C = 0, \quad \Rightarrow t_C = \frac{v_0\sin\alpha}{g} \quad .$$

Определим далее полное время полёта

$$\tau = 2t_C = \frac{2v_0\sin\alpha}{g} \ .$$

При подстановке времени полёта τ в уравнение координаты получим максимальную дальность броска

$$x_{max} = \frac{2v_0^2\sin\alpha\cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g} \quad .$$

Из последнего уравнения, в частности, следует, что при прочих равных условиях максимальная дальность броска будет иметь место при $\alpha = 45^0$, т.к. в этом случае $2\alpha = \pi/2$, $\sin 2\alpha = 1$.

Максимальная высота подъёма определится путём подстановки времени в уравнение вертикальной координат

$$y_{max} = v_0\sin\alpha\frac{v_0\sin\alpha}{g} - \frac{g}{2}\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{g^2},$$

$$y_{max} = \frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}.$$

Уравнение траектории получается при исключении времени из уравнений движения. Из первого уравнения

$$t = \frac{x}{v_0\cos\alpha},$$

при подстановке этого значения t во второе уравнение, получим

$$y = v_0\sin\alpha\frac{x}{v_0\cos\alpha} - \frac{g}{2}\frac{x^2}{v_0^2\cos^2\alpha} = x\mathrm{tg}\alpha - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x^2 \quad .$$

ввести обозначения: $\mathrm{tg}\alpha = a$, $g/\left(2v_0^2\cos^2\alpha\right) = b$, то уравнение траектории примет более классифицируемый вид

$$y = ax - bx^2 \ .$$

Рассмотрим пример бомбометания фронтового штурмовика по наземной цели.

Фронтовой бомбардировщик пикирует по прямой, составляющий угол $\alpha = 45^0$ с горизонтом. В целях безопасности экипажа бомбы должны покидать самолёт на минимальной высоте полёта 1000 м. На каком расстоянии от цели необходимо начать бомбометание при скорости пикирования 850 км/час?

Решение

1. В начальный момент времени сбрасываемая бомба имеет скорость бомбардировщика, которую можно представить двумя составляющими.

Вертикальная составляющая характеризует свободное падение бомбы до поверхности земли, горизонтальная составляющая скорости постоянна по модулю и определяет перемещение вдоль оси Ox.

2. Запишем кинематические уравнения, определяющие движение бомбы

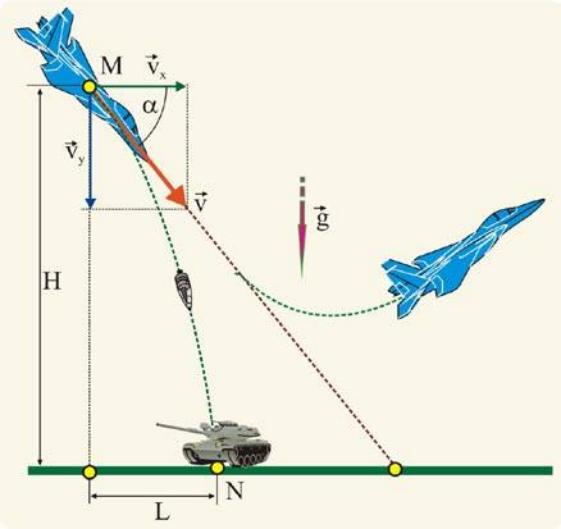


Рис. 1.15. Бомбометание при пикировании

$$(1)\quad v_x = v\cos\alpha;$$

$$(2)\quad v_y = v\sin\alpha + gt;$$

$$(3)\quad x = vt\cos\alpha;$$

$$(4)\quad y = vt\sin\alpha + \frac{gt^2}{2}.$$

3. Из четвёртого уравнения системы определим время полёта бомбы до цели t_1

$$H = vt_1\sin\alpha + \frac{gt_1^2}{2}; \Rightarrow t^2 + \frac{v\sin\alpha}{g}t_1 - \frac{2H}{g} = 0 \quad .$$

$$t_1 = -\frac{v\sin\alpha}{2g} + \sqrt{\frac{v^2\sin^2\alpha}{g^2} + \frac{2H}{g}} \quad .$$

4. Третье уравнение системы даёт возможность определить искомое расстояние

$$L = vt_1\cos\alpha = \frac{v^2\cos\alpha\sin\alpha}{g}\left(\sqrt{1 + \frac{2gH}{v^2\sin^2\alpha}} - 1\right) \cong 1335 \quad .$$

Ещё один актуальный для автомобилистов пример.

Между сдвоенными шинами грузового автомобиля застрял камень на расстоянии 0,8 R от центра колеса радиусом R = 1м. При скорости автомобиля 72 км/час камень покидает колесо. На каком минимальном расстоянии от грузовика должен двигаться легковой автомобиль, чтобы в него камень не попал?

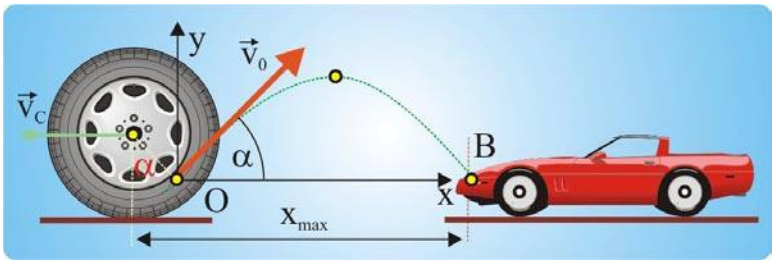


Рис. 1.16. Полёт камня по параболической траектории

Решение

1. Камень будем считать телом, брошенным под углом α к горизонту, причём наиболее далеко булыжник полетит, когда этот угол будет составлять 45^0 к горизонту, потому что

$$x_{max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

2. Линейная скорость камня в начальной точке его полёта определится как

$$v_0 = \frac{v_c}{R} 0{,}8R = 0{,}8 v_c = 16 \ / \quad .$$

3. Безопасное расстояние до легкового автомобиля в этом случае будет равно

$$x_{min} = \frac{16^2}{10} = 25{,}6 \quad .$$

Вращательное движение тела вокруг неподвижной оси. Твёрдые тела это объёкты, размеры и форма которых в процессе движения не изменяются. В отличие от материальной точки твёрдые тела имеют геометрические размеры, т.е. их масса занимает некоторый объём в пространстве.

Если при движении твёрдого тела две его точки остаются неподвижными, то такое движение называется вращением вокруг неподвижной оси. Прямая, проходящая через эти точки, считается осью вращения. Все прочие частицы тела, не лежащие на оси вращения, будут описывать плоские траектории в виде концентрических окружностей, центры которых лежат на оси вращения.

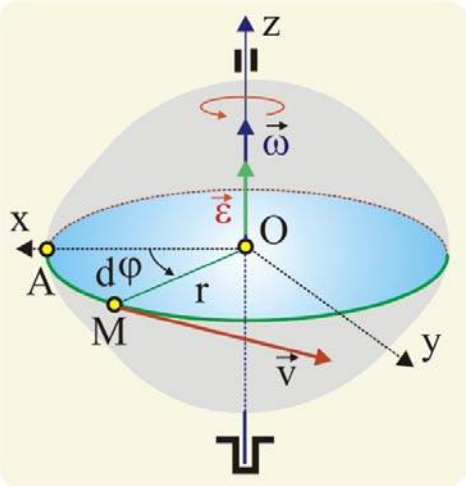


Рис. 1. 17. Вращение твёрдого тела

Рассмотрим произвольное сечение твёрдого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z, пусть выбранное сечение будет перпендикулярно оси вращения.

Движения рассматриваемого тела, за счёт наложенных внешними причинами ограничений сводятся только к возможности поворота вокруг оси z (рис. 1.17).

Таким образом, все точки тела, не лежащие на оси вращения, движутся по круговым траекториям. Вращение считается положительным в случае, когда оно наблюдается со стороны положительного направления оси z происходящим против движения часовой стрелки и отрицательным – по направлению движения часовой стрелки. Естественно, что это условность. Выбор направления движения никак не влияет на его объективные кинематические характеристики.

Пусть некоторая точка M, лежащая на периферии выбранного сечения твёрдого тела в начальный момент времени находится в положении 1 (рис. 1.18), через промежуток времени Δt точка, повернувшись на угол $\Delta\varphi$, займёт положение 2, при этом одновременно с углом поворота перемещение точки будет характеризоваться линейной величиной Δr. За время Δt точка пройдёт криволинейный путь Δs.

При движении по круговой траектории модуль радиус-вектора точки $|\vec{r}|$ не будет изменять своего значения, переменной во времени величиной будет только направление радиус-вектора.

Другими словами, радиус вектор будет являться функцией времени. Как показано ранее, движение точки в плоскости должно характеризоваться двумя скалярными уравнениями, связывающими координаты и время

$$\begin{cases} r_x = f_1(t), \\ r_y = f_2(t). \end{cases}$$

Поскольку $|\vec{r}| = \text{const}$, положение точки на круговой траектории может быть однозначно охарактеризовано значением угла поворота, в этом случае уравнение движения можно записать так

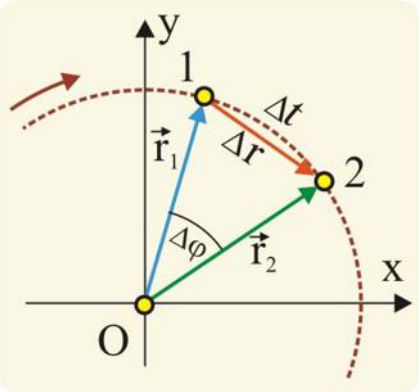


Рис. 1.18. Кинематические параметры вращения

$$\varphi = f(t).$$

Записанное уравнение называется уравнением вращательного движения. Как известно, угловая координата φ измеряется в радианах, при этом один оборот соответствует 2π радиан или 360^0. Если тело или точка сделали N оборотов вокруг неподвижной оси, то угловой путь определится как

$$\varphi = 2\pi N \ .$$

Измерение пройденного пути в радианах, делает необходимым введения понятия угловой скорости, т.е. величины, характеризующей быстроту изменения угла поворота во времени.

По аналогии с уравнением средней скорости среднюю угловую скорость $\omega_{ср}$ можно найти следующим образом

$$\omega_{ср} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \equiv \text{с}^{-1}\right].$$

Если промежуток рассматриваемого времени устремить к нулю, то это позволит перейти к бесконечно малым величинам (бесконечно близкое расположение точек 1 и 2 на рис. 1.18) и получить уравнение для модуля мгновенной угловой скорости, такая процедура уже проделывалась при введении понятия линейной скорости

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi} \ .$$

Угловая скорость тела в данный момент времени равна первой производной от угла поворота тела по времени.

Значение угловой скорости может быть как положительной величиной, так и отрицательной, в зависимости от того, возрастает или убывает угол поворота в рассматриваемом интервале времени. При вращении против часовой стрелки относительно положительного направления оси z

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} > 0,$$

в противном случае

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} < 0.$$

Знак угловой скорости показывает, в какую сторону в данный момент времени вращается тело вокруг неподвижной оси.

Движение произвольной точки, принадлежащей вращающемуся телу, носит периодический характер, т.к., сделав полный оборот, точка снова возвращается

через определённое время в исходное положение. Это даёт основание ввести в рассмотрение такие понятия, как период T и частоту вращения n

$$\omega = 2\pi n = \frac{2\pi}{T},$$

частота вращения измеряется в оборотах в секунду, период – в секундах.

Записанное выше соотношение называется уравнением равнопеременного (ε = const) вращательного движения, начинающегося при некотором значении φ_0.

Как было отмечено ранее, угловому перемещению точки, принадлежащей плоскости вращающегося тела соответствуют вполне определённые линейные перемещения, что даёт основания установить взаимосвязь между линейными и угловыми кинематическими характеристиками.

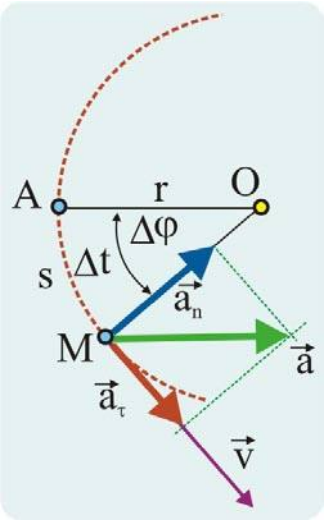


Рис. 1.19. Ускорение точки при вращении

Пусть в начальный момент времени при t = 0 точка находилась в положении A, за малый промежуток времени Δt точка повернулась на угол $\Delta\varphi$, пройдя одновременно отрезок дуги длиной s (рис. 1.19). При достаточной малости углового перемещения

$$s = r\Delta\varphi \cdot$$

Среднее значение линейной скорости точки на перемещении s представим следующим образом

$$v_{ср} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \cong r\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \Rightarrow v = r\frac{d\varphi}{dt} = r|\omega| \quad .$$

Линейная скорость произвольной точки, принадлежащей вращающемуся телу, равна произведению угловой скорости тела на кратчайшее расстояние от данной точки до оси вращения.

Уравнение средней скорости позволяет установить два важных кинематических свойства вращательного движения.

- Угловая скорость вех точек принадлежащих вращающемуся телу одинакова.
- Линейная скорость точек вращающегося тела зависит от их расположения относительно оси вращения, чем дальше от оси вращения расположена данная точка, тем её линейная скорость будет, при прочих равных условиях, выше.

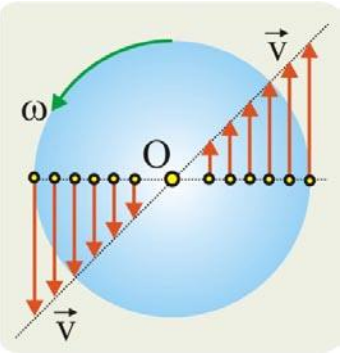


Рис. 1.20. Распределение линейных скоростей

На рис. 1.20 показано распределение линейных скоростей точек в сечении вращающегося вокруг неподвижной оси твёрдого тела.

Из уравнения Эйлера

$$|\vec{v}| = \omega r,$$

Можно видеть, что скорость всех точек, составляющих ось вращения, будет равна нулю. Это даёт основание более строго сформулировать определение оси вращения.

Осью вращения движущегося твёрдого тела называется геометрическое место точек, скорость которых равна нулю.

1.4. Возникновение и развитие динамики

Прежде чем приступить к изложению основных идей динамики необходимо, на наш взгляд, рассмотреть некоторые исторические аспекты возникновения этого основного раздела классической механики.

К динамическим законам движения человечество подступалось исподволь, по мере возникновения и осмысления их необходимости. Принято считать, что описание условий равновесия твёрдых тел, являющихся, частным случаем движения, впервые возникли в эпоху Архимеда.

Если судить по письменным источникам, то так оно и есть, если не брать во внимание Древних Славян и Древний Китай. Однако следует иметь в виду, что практическая сторона законов статики, раздела механики была известна людям за долго до интеллектуального всплеска в Древней Греции.

Следует вспомнить, что, по мнению космонавтов, невооружённым взглядом с орбиты видны только пирамиды в Долине Царей и Великая Китайская стена, а ведь эти исполинские сооружения были построены задолго до Архимеда и его сподвижников. А ещё раньше были города Шумера и Вавилона и в конце концов, Аркаим. Возводить столь грандиозные конструкции без элементарных знаний условий статического равновесия тел просто не возможно.

Научные основы динамики, в современном понимании сути и смысла научных знаний, возникли в Западной Европе с началом, так называемой, эпохой Возрождения в XV – XVI вв. Причин тому было несколько.

Во-первых, к началу эпохи Возрождения произошли значимые социальные сдвиги, ознаменовавшиеся феодально-крепостническими формами социального устройства.

Во-вторых, широкое развитие получили всевозможные ремесленные производства и новые аграрные технологии, сопровождающиеся внедрением новых образцов техники.

В-третьих, в мире на стыке эпох, как известно, произошли коренные изменения и в религиозной догматике.

Язычество было заменено, практически одновременно возникшими, тремя основными религиями: христианством, исламом и буддизмом. В Западной Европе преобладало христианство, проявившее на ранних стадиях развития чрезвычайно агрессивные свойства по отношению к интеллектуальной деятельности людей, которая была в высшей степени канонизирована.

В I – IV вв. с.л. были уничтожены почти все знаменитые научные библиотеки, оставшиеся после языческих философов и естествоиспытателей. Церковью был милован только Аристотель, потому что его учение об устройстве мира не требовало пересмотра основных положений Библии.

После стратегических охот на естественнонаучных ведьм в Европе, следов наследия Древних Греков практически не осталось. Даже любимый христианскими догматами Аристотель вернулся на европейские просторы в арабских переводах.

Однако практическая деятельность требовала заполнения образовавшегося научного вакуума. Естественные науки получили обширный практический материал, требующий научных объяснений и прогнозов.

Возникла необходимость преодоления разрыва между практикой и наукой. Дальнейшее развитие техники стало невозможным без создания соответствующего

научного базиса. Механика стала одной из основных отраслей знаний, от развития которой зависел технический прогресс.

В знаниях механического толка нуждались строители, промышленное производство, астрономия, архитектура, конечно же, военное военная промышленность, особенно развивающаяся артиллерия.

Эпохе Возрождения предшествовали средние века. Средневековье у многих ассоциируется с рыцарскими турнирами, крестовыми походами, кострами инквизиции, опустошающими эпидемиями и многолетними войнами. Так оно и было.

Действительно, по Европе на лошадях, закованных в железо и медь, шатались молодые беспаспортные люди, убивающие направо и налево всех, кто не согласен, что некая Мелена из Кривичей, является самой красивой женщиной на свете. А запалить усадьбу соседа или укокошить его вассала считалось не только нормальным явлением, но и правилом хорошего тона. Время от времени рыцарей собирала под свои знамёна церковь и отправляла громить иноверцев.

Средневековые феодалы были отнюдь не миролюбивым сословием, особенно в Западной Европе, где война была естественным состоянием. Война требовала воинов и оружия. И если с воинством особых заморочек не было, крестьян запросто превращали в рекрутов, то производство оружия предполагало развитие сразу нескольких отраслей знаний и ремёсел. Это стимулировало. Очень неспешно, но всё же стали возникать новые образцы техники и технологий.

Естественно, фундаментальные исследования оставались поначалу, практически, невостребованными, а вот прикладные науки в этой связи стали всё более и более обслуживать потребности развивающихся технологий.

Строительство, металлургия, судостроение, транспортные средства, цеховое оборудование – все это требовало определенного уровня знаний. Новые технологии и конструкции машин сделали необходимым использование новых материалов и компонентов.

Стала развиваться химия и не только в плане преобразования ртути в золото. Естественный ход развития человеческой цивилизации требовал более глубокого изучения природы с целью её подчинения своим не всегда разумным интересам.

Однако вольно или невольно, вопрос открытый, церковь и религия как могли, притормаживали научную деятельность, по крайней мере, в Европе.

Ещё совсем недавно непререкаемый авторитет в естествознании, человековедении и экономике всех времён и народов Фридрих Энгельс по этому поводу заметил: «…наука была смиренной служанкой церкви и ей не позволено было выходить за рамки, установленные верой; по этой причине она была чем угодно, только не наукой».

Бывший классик, как всегда чрезмерно категоричен и склонен, всё мировое многообразие видеть в двух цветах. Служанка оказалась с хитрецой и не без коварства. Временами, заигрывая, временами притупляя бдительность святых отцов, учёные-естествоиспытатели на основе собственного и многовекового предшествующего опыта начинали строить теории, которые позволяли по-новому взглянуть на окружающий Мир.

В Европе, например, появились трактаты по медицине, географии, астрономии, правда, в переводах с греческого языка. Эти источники древней мудрости стимулировали научные интересы средневековых учёных. Возобновились астрономические наблюдения, повысился интерес к математике и механике. Однако все задачи учёных этого периода истории были весьма отдалены от нужд практики. Одним словом наука развивалась исключительно для науки.

С целью более полного контроля над интеллектуальной сферой человеческой

деятельности церковь была вынуждена в области естествознания ввести некие каноны, которых следовало бы придерживаться всем любопытствующим.

Рис. 1.21. Инквизиция

Окинув алчным взором прошлое, святые отцы остановились на Аристотеле, все тории которого строились в предположении существования божественного начала.

Он, со своими всеобъемлющими взглядами на Мир, как никто другой из мудрецов древности подходил под текст Библии. Если за основу взять, с незначительными поправками тории Аристотеля, то этот язычник мог вполне подтверждать и доказывать правоту христианских убеждений, самых правильных в мире.

Теории Аристотеля были разрешены к преподаванию и со временем стали чем-то вроде иллюстраций к Библии. Повезло Аристотелю. Заинтересованными стараниями церковной олигархии ученье Аристотеля продержалось около двух тысяч лет.

Новые научные теории и их технические воплощения в период раннего средневековья поступали в Европу, в основном, с Востока. Солнечные часы, например, появились в Англии и Ирландии только VII веке с.л. от арабов, почти на 1000 лет позже, чем в Месопотамии, не говоря уже о Древнем Китае.

В Западной Европе научной деятельностью, в основном, занимались монахи, так сказать, служители культа. Первый европейский трактат «Физика» вышел в 1150 году из-под пера настоятельницы Дзибоденбергского монастыря.

В четырёх книгах содержались сведения по механике, ботанике и зоологии. Книги были написаны на латыни, этот язык считался общеевропейским «научным» языком.

На латыни писали научные трактаты, отчёты о крестовых походах и даже деловые письма. Труды арабских учёных тоже переводили на латынь. Полная латинизация научной информации резко ограничивала круг её пользователей, латынью владели только те, кто мог нанять для себя и своих детей учителей.

Труд быть проводниками идей восточных мудрецов взяли на себя святые отцы. Естественно, из всех первоисточников самым тщательным образом выхолащивались малейшие намеки, в которых можно было усмотреть несоответствие святому писанию, почти всегда такие усекновения не делали теории изящнее, а совсем наоборот.

Труды служителей культа иногда были весьма полезными и своевременными. Так, например, в Испании папа Сельвестр II познакомил европейцев с арабскими цифрами, которые, удивительно быстро прижившись повсеместно, используются и в настоящее время, причём гораздо чаще других, в частности – римских.

Другой папа, Герард Кремонский перевёл сочинение Птолемея по астрономии, «Альмагест», который не противоречил Библии, и его допустили к изучению. Чему-то же надо было астрономическому учить молодых людей в университетах, вот и вспомнили о Птолемее, который, кстати, стоял на весьма близких позициях к Аристотелю.

Другими словами, Птолемей был как бы в масть Аристотелю. В 1120 году с.л. английский монах Альтергард перевёл с арабского «Элементы Евклида». Многие поколения европейских купцов и ремесленников учились математике по переводному арабскому учебнику «Книга абака», иначе – «Книга счёта».

Говоря о средневековой европейской науке, можно выделить несколько ярких учёных, положивших начало возрождению забытых научных традиций и развитию новых походов в изучении природы.

Классик материализма Ф. Энгельс сказал как-то по поводу этой эпохи: «Эпоха нуждалась в титанах и породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учёности».

И марксист был абсолютно прав. Какие имена: скульптор и художник Микеланджело Буанаротти, художник Рафаэль Санта, живописец Тициан Вечеллио, великий Леонардо да Винчи, писатели Франсуа Рабле, Уильям Шекспир, Мигель де Сервантес Сааведра, поэты: Петрарка, Аристо, Данте и многие другие, чьи имена ассоциируются с небывалым взлётом человеческой мысли и умения отразить окружающий мир.

Эпоху Возрождения можно сравнить с прорывом плотины, когда прочная конструкция из религиозно законодательных запретов была разрушена критической массой знаний, которые мощной лавиной устремились по просторам истории.

Эту эпоху в Италии называли эпохой Возрождения, во Франции эпохой Ренессанса, в Германии эпохой Реформации. В Европе это время характеризовалось возникновением совершенно новых представлений о Боге, человеке и окружающем Мире.

Изменилась роль в жизни общества просвещённых людей. После завоевания Константинополя Турками в 1453 г., большое количество образованных не по европейским стандартам людей бежали в континентальную Европу.

Отчасти, именно они инициировали переориентацию общественного сознания с теологической основы на антропологическую. Человек становился «вторым Богом» на Земле, он постепенно начинал верить в свои интеллектуальные возможности.

Церковь тоже начинает понимать, что в темноте народы долго не удержать, надо понемногу заигрывать с интеллектуалами. При папе Николае V церковь начала массово скупать литературные памятники античности для изучения и использования в своих целях.

Как бы то ни было народ начал припадать к истокам знаний и развивать собственные знания. В XV веке начали поступать в Европу сочинения классиков естествознания в массовом количестве.

Кардинал Николай Кребс Кузанский по велению Папы через специальных агентов выслеживал и скупал греческие манускрипты, и некоторые из них издавал в виде подлинных переводов с греческого, например сочинения Архимеда и Платона.

В 1453 – 1464 гг. с греческого были переведены 14 рукописных трактатов «герметических наук», под которыми подразумевались: алхимия, астрология и магия. В Европе выстраивалась схема познания Мира: вначале надо познать Бога, потом досконально изучить человека, а уж потом только переходить к изучению природы.

Средние века многие историки науки связывают с повсеместным увлечением алхимией и метафизикой. Этот период в естествознании продлился с IV по XVI вв., поэтому алхимия и метафизика являются неотъемлемой частью средневековой культуры.

Алхимики естественно же не нашли философского камня и эликсира молодости, им не удалось получить и миллиграмма золота из свинца и ртути, но совсем неправильно считать, что бдения алхимиков закончились для науки безрезультатно.

Проделывая бесчисленные опыты, с невероятно экзотическими веществами средневековые затворники накапливали сведения о возможных вариантах химических соединений и свойствах элементов. Именно в лабораториях средневевых алхимиков возникли зачатки современной химии и атомно-молекулярной теории.

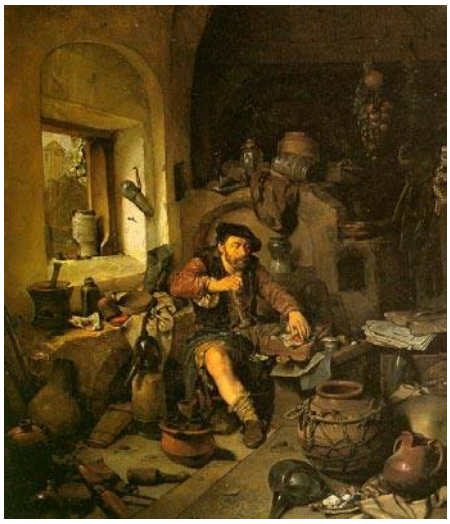


Рис. 1.22. Алхимики средневековья

В Нюрнберге и Риме были переведены на латинский язык сочинения Птолемея, в сти, знаменитый «Альмагест», вав который, средневековые математики Г. Пурбах и Иоган Мюллер создали в 1474 г. тригонометрические таблицы синусов и тангенсов. Иоган Мюллер (Региомонтан) на ния своих учеников построил обсерваторию в Нюрнберге, при которой работала мастерская по проектированию и изготовлению астрономических приборов.

В обсерватории были созданы астрономические таблицы, основанные на теории Птолемея. Этими таблицами пользовались известные путешественники средневековья Васко да Гама (1469-1524), Христофор Колумб (1451-1506) и Америго Веспуччи (1454-1512), которые прославили своё время открытием новых континентов и океанов, правда попозже северных славян и древних китайцев.

Европа гораздо позже, практически на целый век, чем Китай, Япония и Корея пришли к идее книгопечатания. Европейские учёные, будучи патриотами своего континента, долго считали И. Гуттенберга создателем нового способа книгопечатания с подвижными литерами.

Первые европейские книги мало, чем отличались от рукописей, они не имели содержания и нумерации станиц. Первыми из-под печатного станка вышли книги на теологические темы, потом стали появляться сочинения по юриспруденции, медицине, схоластике (соединение теологии и рационализма), алхимии и магии.

В 1501 г. в Риме были изданы труды Николая Кузанского, на которых сформировались революционные взгляды Коперника и последователей. Кузанский первым в Европе высказал идею о бесконечности, в которой количественное расширение качеств приводит к исчезновению различий между ними.

Впервые появилась идея о движении Земли вокруг некого мирового центра. Кстати, есть основания полагать, что Кузанский ещё до Галилея ставил опыты с падением тел.

Логично предположить, что эпоха возрождения наступила вначале в сознании образованных людей, которые затем воплотили свои революционные идеи в тома научных сочинений, великие полотна и скульптуры, географические открытия и изобретения.

Образованные люди, как правило, выходили из бывших студентов университетов. В европейских университетах средневековых студентов обучали семи свободным искусствам – грамматике, диалектике, риторике, арифметике, геометрии, музыке и астрономии.

На первых трёх курсах студиозусы изучали только три базовые дисциплины, которые в этой связи называли тривиальными. Самым престижным в Западной Европе считался Парижский университет, образованный духовником короля Робертом Сорбоном на базе интернационального приюта. В последствии это учебное заведение стали называть Сорбонной, и всем было понятно, о чём идёт речь.

Рис. 1.23. Первые университеты

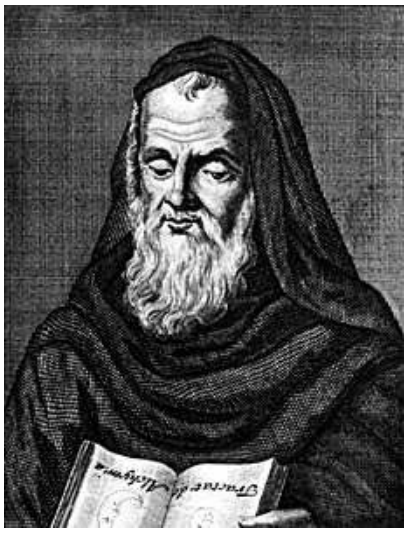


Рис. 1.24. Роджер Бэкон

В те славные времена, когда между званием студента, пьяницы и дебошира было весьма мало разницы, экзаменов в университетах почти не сдавали.

Зато по окончании каждый выпускник должен был с шести утра и до шести вечера, без перерыва вести дискуссию с профессорами, которые сменялись через каждые полчаса.

Студенты, которые не падали в обморок и не начитали к середине экзамена нести откровенные глупости, удостаивались звания доктора наук и получали вожделенную чёрную шапочку.

Новоиспечённые доктора наук всем своим братством после официальных торжеств, перед основным банкетом, маршировали по улицам, прощаясь со студенческими временами.

Торговцы прятали свой товар и хорошеньких жён, сестёр и дочерей, прохожие сторонились, а братва с песнопениями искала до вечера приключений, не пропуская при этом пивнушек и притонов. А те, кто удерживался на ногах, вечером участвовали в официальном университетском банкете, устраиваемом администрацией.

Одним из первых значимых в средневековой истории естествознания учёных был англичанин Роджер Бэкон (1214-1292 годы). Бэкон (рис. 1.24) происходил из достаточно богатой и культурной семьи, в которой не жалели денег на образование детей. Когда же его родителей постиг финансовый крах, Фрэнсис по собственной воле постригся в монахи, чтобы продолжать занятия на деньги церкви. Бэкон окончил Парижский университет.

Научное наследие Роджера Бэкона, оставленное потомкам, носило энциклопедический характер. Трактаты посвящены физике, математике, астрономии, анатомии и другим естественным наукам. Бэкон занимался оптикой, ему была известна сферическая аберрация.

В трудах учёного описано несколько оригинальных конструкций приборов для измерения диаметров Солнца и Луны.

Математику Бэкон считал основой всех наук и уделял ей много внимания в своих трактатах и лекциях. Будучи неплохим химиком, Бэкон занимался взрывчатыми веществами, оптимизируя их состав.

В планах учёного было создание энциклопедии по естествознанию, в которую планировалось включить все имеющиеся на тот момент данные по математике, физике, химии, астрономии, географии, биологии, ботанике и зоологии. Но этим благородным планам было не суждено сбыться, темница не располагает к творчеству. Удалось только провести подготовительный период, сделав несколько заготовок «Большой труд», «Маленький труд», «Третий труд».

1.5. Механика Леонардо да Винчи

Одной из самых ярких звёзд на научном небосклоне Эпохи Возрождения был Леонардо да Винчи, универсальный гений которого прославил его в веках как великого механика, военного инженера, художника, скульптора и изобретателя.

Рис.1.25. Леонардо да Винчи

Он был незаконнорожденным сыном красавицы крестьянки Катарины и преуспевающего флорентийского нотариуса Пьедро да Винчи. Появившись на этот свет 15 апреля 1452 г., вскорости лишился матери и был взят на воспитание в семью отца, где в период детства и юности сменилось три мачехи, две из которых были практически одногодками Леонардо.

Юные матроны хорошо относились к Леонардо и всячески потакали его увлечениям. Когда будущему гению исполнилось 14 лет его, как это было принято в приличных семьях, отдали в ученики талантливому тасканскому живописцу и скульптору Вероккио.

Выбора не было, ранее увлечение Леонардо живописью и несомненные успехи определили судьбу. В некоторых из многочисленных биографий описывают случай, когда совсем юный художник, собрав в коробке несколько жуков, стрекоз, ящериц, жаб и прочих черепахоподобных, изобразил на холсте некое фантастическое чудовище. Когда отец вошёл в комнату сына и в свете заходящего солнца увидел картину, он пришёл в ужас и закрыл дверь, потребовав убрать этот шедевр.

В 20 лет, т.е. всего через 6 лет после начала обучения он был провозглашён мастером и с этого времени стал самостоятельно зарабатывать на жизнь. Живопись и скульптура часто небыли востребованы обществом.

Европа в средние века, впрочем, как и всегда, находилась в состоянии перманентной войны. Сильным мира не требовалась красота, им нужны были средства уничтожения. Леонардо да Винчи становится одним из популярных в Европе военных инженеров-механиков.

Приведём письмо Леонардо да Винчи герцогу Милана Лодовико Моро, где он предлагает свои услуги, в основном, в качестве военного инженера:

«1. Я знаю способ делать чрезвычайно лёгкие, выносливые, прочные и лёгко переносимые мосты, пригодные для преследования врагов и для бегства от них, и другие безопасные и предохранённые от огня и боя, легко подымаемые и опускаемые; знаю также способы сжигать и разрушать мосты противника;

2. Я знаю способ, как во время осады какого-нибудь места спустить воду из рвов и как сделать множество мостов, кошек и лестниц и других приспособлений, нужных в таких предприятиях;

3. Также, если благодаря высоте стен, или укреплённости места, или его положения при осаде его невозможно будет пользоваться бомбардами, я знаю способ разрушить всякую цитадель, или другого рода крепость, если только она не построена на скале, и т.д.

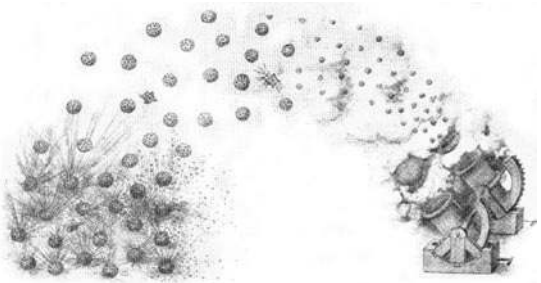


Рис.1.26. Проект бомбарды

4. Кроме того, я знаю системы удобнейших и лёгких в перевозке на новое место бомбард (рис. 1.26), умею метать ими камни наподобие бури и их дымом нагонять великий ужас на врага с большим для него уроном и смятением и т.п.;

5. Также я знаю способы прокапывать тайные изогнутые ходы без всякого шума, даже если бы пришлось проходить под рвами или какой-нибудь рекой;

6. Также я могу сделать закрытые, совершенно неуязвимые повозки, которые со своей артиллерией, ворвавшись в ряды врагов, вызовут поражение силы любой величины. За ними может следовать пехота совершенно безопасно и без затруднения.

7. Также, если потребуется я смогу сделать бомбарды, мортиры и огнемёты целесообразной формы, не похожей на обычные;

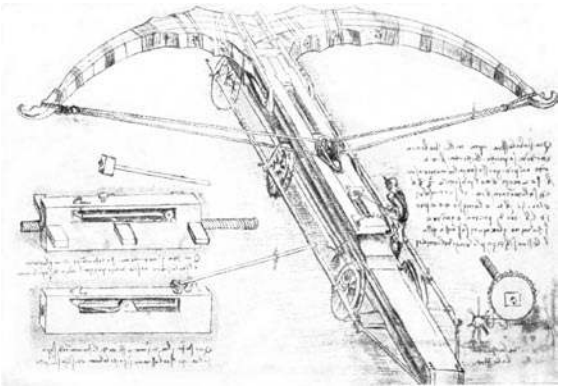


Рис.1.27. Проект самострела

8. Где нельзя применять бомбарды, я сконструирую катапульты, манганты, стреломёты и другие орудия удивительного действия и не похожие на обычные (рис. 1.27). И вообще в соответствии с каждым данным случаем могу сконструировать бесконечное множество разных приспособлений для нападения и защиты;

9. И если случится быть на море, я знаю множество систем приспособлений для нападения на суда и для защиты судов, которые не будут повреждены выстрелами бомбард любой величины, и пороха, и дыма;

10. В мирное время я надеюсь выдержать сравнение со всяким в архитектуре, в постройке зданий, как общественных, так и частных, и в проведении воды из одного места в другое;

11. Также я берусь в скульптуре – в мраморе, бронзе или глине, также как и в живописи, выполнить всё, что можно не хуже всякого, желающего померяться со мной;

12. Можно будет также выполнить бронзового коня, что принесёт бессмертную славу и вечный почёт счастливой памяти синьора Вашего отца и славного рода Сфорца.

13. И если какая-нибудь из вышеизложенных вещей покажется кому-нибудь невозможной и неисполнимой, я готов её показать на опыте в вашем парке или в любом другом месте по выбору Вашей светлости, которой я всеподданнейшим образом себя препоручаю, и т.д.».

Из текста письма следует, что этот совсем молодой человек, Леонардо да Винчи, имел невероятно разносторонние дарования. Природа, как бы опомнившись от средневековой дрёмы, подарила миру такую звезду, каких ещё не встречалось на небосклоне человеческого творчества.

Леонардо живописец (рис. 1.28), Леонардо скульптор – хорошо был известен

во все времена, потому что его творения были лучшими украшениями самых известных коллекций мира, а вот научная и техническая сторона его многогранного таланта стала известна относительно недавно.

Рис. 1.28. Мадонна Литта

Среди почитателей его художественных талантов найдётся совсем незначительное число знатоков, которые, хотя бы в общих чертах могли охарактеризовать научно-техническое наследие Леонардо да Винчи.

Судя по оставленным о нём записям, Леонардо да Винчи был хорошо сложён, с типично античными чертами лица, он был участником турниров и состязаний.

Будучи натурой страстной, он прекрасно плавал, виртуозно фехтовал, был отменным наездником, обожал шутливый стиль изложения своих мыслей в светских беседах, обладал не дюжинным талантом рассказчика, был галантным кавалером, любил танцы и музыку, писал совсем недурные стихи и музыку.

В области естественных наук Леонардо можно с уверенностью назвать математиком, механиком, астрономом, геологом, ботаником, биологом, анатомом, военным инженером, философом-материалистом, гидромехаником и аэромехаником.

Судьба Леонардо-учёного менее успешна, чем Леонардо-художника, научное наследие было востребовано людьми спустя много лет после смерти в 1519 г. В XVII в. с.л. следы его могилы с лаконичной записью LEONARDUS VINCIUS, были почти случайно обнаружены искусствоведом Арсеном Гуссе.

Научное наследие Леонардо да Винчи было сосредоточено, в основном, в большом числе тетрадей и записных книжек, содержащих огромное число фрагментарных заметок, часто носящих конспективную форму. Заметки, наряду с текстами, в большом количестве содержали рисунки, эскизы, зарисовки, чертежи и даже законченные рисунки.

Как правило, Леонардо да Винчи не датировал свои записи, поэтому время их появления устанавливали по косвенным признакам, что не способствовало созданию более или менее точной хронологии научного творчества.

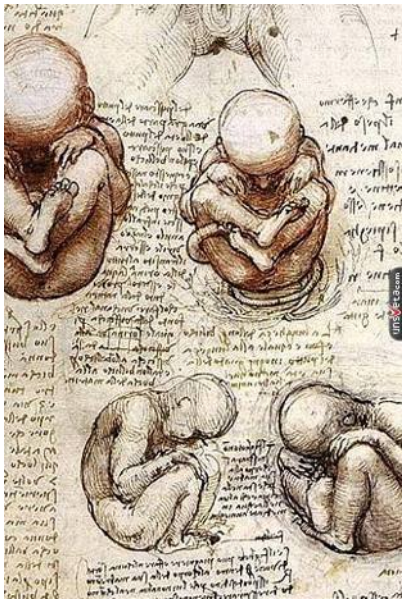


Рис. 1.29. Фрагмент дневника

При анализе рукописей у биографов часто возникало впечатление, что автор делал записи, совершенно не думая о том, как их будут воспринимать возможные читатели (рис. 1.29).

Временами на полях текстов появлялись математические формулы, относящиеся совершенно к отвлечённой теме. Чертежи же и схемы возникали, без каких бы то ни было пояснений и замечаний.

Как бы, между прочим, за 40 лет до Коперника, Леонардо да Винчи делает заметки на полях, из которых следует, что Земля не является центром Мира, а наряду с другими планетами

вращается вокруг Солнца.

Более чем за триста лет до Лавуазье Леонардо да Винчи в своих записях упоминает о «жизненном воздухе», который потом был назван кислородом. За 100 лет до Кардано великий итальянец изобрёл камеру – обскуру, правда, уже известную в Китае. На 300 лет раньше Соссюра Леонардо да Винчи изобрёл гигрометр, прибор для измерения влажности воздуха.

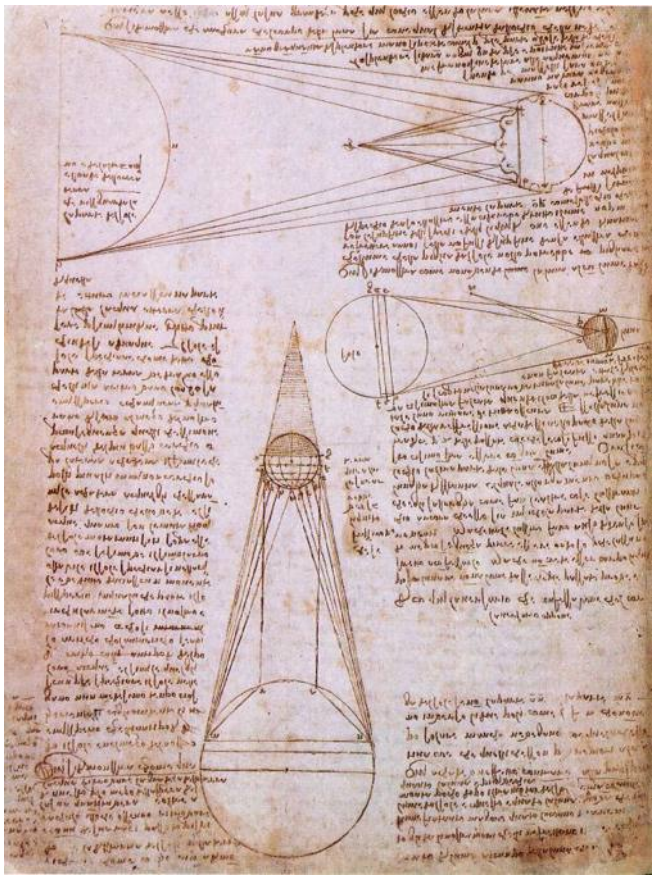


Рис. 1.30. Фрагмент шифрованной работы

Многие свои работы Леонардо да Винчи шифровал и писал с помощью зеркала, так что записи непосвящённому казались непонятными каракулями (рис. 1.30). Исследователи творчества Леонардо да Винчи единодушны во мнении, что к настоящему времени сохранилась только незначительная часть научных записей, значительное число рукописей Леонардо были безвозвратно утеряны, так как сразу после его смерти, практически никто не придавал им серьёзного значения.

Теперь же остатки их хранятся в разных городах и странах: в Милане, Турине, Париже, Лондоне, Москве. При жизни рукописи Леонардо да Винчи не издавались, но влияние некоторых из них прослеживается в более поздних трактатах.

Например у Джиролано Кардано, Бернальдино Бальди и Виллалпандо. Однако это совсем малое число работ Леонардо, в большинстве своём, крупнейшие научные открытия и инженерные решения оставались утраченными и позднее были сделаны заново.

Известны случаи совершенно беззастенчивых компиляций. Так например в XVI веке доминиканцем Арконати был выпущен «Трактат о движении и измерении воды».

«Механика есть рай математических наук, посредствам неё достигают математического плода». Теоретическая и прикладная механика играла главенствующую роль в творчестве Леонардо инженера и Леонардо учёного, причём заметки на механические темы в виде отдельных идей или эскизов встречаются в произведениях, весьма далёких от механики, например в биологии и ботанике.

Механические откровения встречаются даже в дневниках: «В Романье – верх глупости – пользуются тележками на 4 колеса, из которых оба передних низкие, а оба задних высокие. Это весьма не благоприятствует движению, ибо на передние колёса передаётся больше тяжести, нежели на задние…».

Леонардо да Винчи пытался давать определения основным механическим величинам. Прежде всего, заслуживают внимания мысли Леонардо о силе: «Что та-

кое сила? Сила, говорю я, есть духовная мощь, бестелесная, невидимая, которая, недолго живя, возникает в телах, выведенных из своего естественного состояния и покоя путём привходящего насилия…»;

Теоретические представления Леонардо да Винчи в большинстве своём опирались на сочинения Аристотеля, который, как отмечалось ранее, был в средневековой Европе непререкаемым авторитетом.

В отличие от Аристотеля Леонардо да Винчи совершенно по новому подходит к классификации движений, как основных категорий механики: «Движения бывают двоякой природы. Природа одних называется простой, а природа других – сложной.

Простая природа охватывает два случая; первый – когда тело движется вокруг своей оси, не меняя положения, например, колесо, жернов и т.п.; второй – когда вещь меняет положение, не вращаясь (на полях: поступательное движение). «Сложное движение есть такое, при котором тело наряду с переменой положения движется вокруг своей оси, например движение колёс телеги и т.п.»

Позже, основываясь, в частности на идеях Леонардо да Винчи, при создании теоретических основ кинематики сложное движение назовут составным, а качение колеса – плоским, и будут рассматривать плоское движение, как состоящее из двух более простых поступательного и вращательного.

Уравнения свободного паления тел записаны Галилеем

$$\begin{cases} v(t) = v_0 + gt; \\ y(t) = v_0 t + \dfrac{gt^2}{2}, \end{cases}$$

а Леонардо минимум за сто лет до того ставил эксперименты (рис. 1.31) и описывал их: «Чтобы определить падение шариков, или, иначе говоря, свойства интервалов между ними, я говорю, что при разделении высоты падения каждого шарика на равные друг другу ступени шарик приобретает с каждой ступенью движения ступень скорости. Следовательно, пропорция этих скоростей является непрерывной арифметической прогрессией, ибо пропорционируются друг с другом приросты, или разности скоростей».

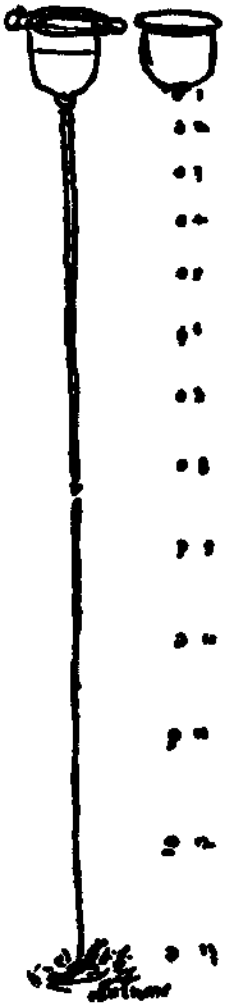


Рис.1.31. Свободное падение капель

Леонардо да Винчи был одним из первых, кто при рассмотрении движения учитывал влияние среды. Занимаясь специально вопросами полёта снарядов и ядер, он экспериментально установил особенности влияния силы сопротивления на траекторию и дальность их полёта.

В одной из заметок о движении сказано: «Ядро бомбарды, выпущенное в тумане, совершает гораздо меньший путь и производит меньший удар, нежели ядро, выпущенное в воздухе чистом и тонком».

Интуитивно полагая, что действие, производимое силами, зависит от интервала времени, в течение которого происходит изменение состояния тела, Леонардо да Винчи много внимания в своих механических исследованиях уделяет удару.

Особенности удара, как быстропротекающего механического процесса, описаны в нескольких заметках: «Я утверждаю, что удар есть конец быстрого движения, произведенный телами в предметах, оказывающих сопротивление. Он является причиной

всех звуков, разрушителем и преобразователем разнообразных вещей, виновником возобновлённого второго движения. Ничего не бывает более коротким и не обладает большей силой. И он распространяется, становясь разнообразным соответственно причинам».

Несмотря на то, что именем Леонардо да Винчи не назван ни один из множества гидродинамических и гидростатических законов, его труды были использованы потомками, которые, используя его совершенно уникальные эксперименты и наблюдения, пошли дальше, обобщив их в виде живущих и поныне теорий движения жидкостей и газов. Несомненно, Леонардо да Винчи можно считать отцом не только современной механики, но и аэрогидромеханики.

В эпоху Возрождения, несмотря на ожесточённое сопротивление церкви, продолжают развиваться прогрессивные астрономические идеи, которые возбуждали, прежде всего, интерес к кинематическим характеристикам движения. Уточнение календаря, в частности, потребовало уточнения, а в конечном счёте и пересмотра теории движения небесных тел.

Развитие мореплавания поставило насущные задачи, связанные с определением географических координат посредствам астрономических наблюдений. Практические требования целого ряда отраслей знаний и практические потребности настоятельно требовали пересмотра средневековых представлений о кинематических особенностях движения планет, требовалась новая система устройства мира. И она появилась стараниями Николая Коперника.

Человек во все времена предпочитал переменам стабильность. Как было просто: Земля центр Мира, она неподвижна, всё прочее по воле Господней движется вокруг неё. Человечество могло быть спокойным, никакие глобальные перемены ему не грозили. Был авторитет – Аристотель, его любили церковь, его преподавали в университетах, однако геоцентрическая система Мира при внимательном рассмотрении не выдерживала критики. Но те, кто были уверены в несостоятельности учения Аристотеля об устройстве Мира, в лучшем случае делились своими открытиями только с очень близкими людьми, или как Леонардо да Винчи, информацию такого рода шифровали.

1.6. Небесная механика

Шло время, время эпохи Возрождения. В 1473 г. 19 февраля в польском городе Торуни, в семье богатого купца родился Николай Коперник (рис. 132). После смерти отца во время эпидемии чумы заботу десятилетнем Николае и его брате взял на себя брат матери, определив в 1491г. их в Краковский университет.

Рис. 1.32. Николай Коперник

В студенческие годы Коперника в небесах происходили знаменательные события: три солнечных затмения, комета, сближение Сатурна и Юпитера. Как тут было не увлечься астрономией.

Правда, интересные вещи происходили и на земле, Христофор Колумб, например, открыл новые земли, но всё же небо влекло Коперника более, нежели земная твердь и океанские просторы.

Закончив Краковский университет, братья отправились в Италию для получения докторского звания по каноническому (церковному) праву. В университете г. Болонья Николай впервые занялся самостоятельными астрономическими наблюдениями, а потом перебрался не надолго в Рим, где прочитал сочинения Птолемея. Знаменитый «Альмагест» в переводе Регимонтана произвёл на Коперника неоднозначное впечатление. Теория Птолемея не согласовалась с его собственными наблюдениями.

Чтобы читать классиков в подлиннике Коперник выучил греческий язык. Увлечение астрономией не помешало Копернику к 30 годам получить степень доктора канонического права.

Он вернулся в Польшу и был избран членом высшей духовной и административной курии Вармии и поселился в епископском замке, и подчинялся непосредственно епископу, который по совместительству был дядей Коперника.

Коперник при дяде был сочетанием секретаря и врача, а свободное время посвящал астрономии. Когда дядя умер, Коперника перевели в кафедральный собор Успенья Богородицы в Формборке, это была главная святыня католической Польши.

Коперник выбрал себе, по мнению сослуживцев и родственников, весьма неудобную обитель в северо-западной башне соборной стены. В верхнем этаже был устроен кабинет из которого можно было выходить на широкую крепостную стену и наблюдать ночное небо.

Коперник по собственному проекту и, практически, своими руками изготовил угломерные астрономические инструменты и армиллярную сферу (рис. 1.33). Коперник не стремился совершить астрономические открытия. Он взял на себя труд наблюдать планеты и сравнивать свои данные с Птолемеем.

Чтобы эта древняя система соответствовала реальности, её многие поколения средневековых астрономов уточняли. Во времена Коперника на стала настолько запутанной, что даже не очень просвещенному становилось понятно, что Бог, бу-

Рис.1.33. Коперник наблюдает в Риме лунное затмение

дучи в здравом уме, такой несуразицы создать, не мог.

Николай решил упростить систему Птолемея, подсказка была найдена в «Альмагесте», где Птолемей без всяких оснований отвергал возможность собственного вращения Земли и её обращение вокруг Солнца.

Птолемей, следуя Аристотелю, полагал, что Земля находится в центре, вокруг неё вращается семь хрустальных сфер, влекущих за собой семь планет в следующем порядке: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн.

Система мироустройства Птолемея была построена исключительно на кинематическом принципе, фиксировали и исследовали только траектории планет. Даже понятия о силах, приводящих к такому движению, у древних не было. Считалось, что круговое движение в Мире является совершенным и естественным, оно произведено Перводвигателем (предположительно Богом) и продолжается вечно.

Будучи человеком, в меру нахальным, Коперник решил посмотреть подробнее, что получится, если великому Птолемею не поверить. Он рискнул предположить, что Земля вращается вокруг собственной оси и одновременно движется по кругу вокруг Солнца, благо и некоторые древние соотечественники Птолемея и Аристотеля, такие как Цицерон, Пифагор, Экфант, высказывали сомнения в истинности геоцентрической схемы нашей Солнечной Системы.

Впервые же о гелиоцентрической системе, как таковой, упоминал в своих работах ещё в III веке до с.л. Аристарх Самосский, но его откровение было не востребовано и прошло мимо учёных современников.

Поместив в центр системы Солнце, и заставив планеты двигаться по индивидуальным круговым орбитам, Коперник получил чрезвычайно простую, без птолемеевских замутов, систему.

Идея была простой как щелчок пастушьего бича. Надо в системе Птолемея поменять местами Землю и Солнце, и только Луне предоставить право двигаться вокруг Земли. Несмотря на простоту и бесхитростность, гипотеза представлялась революционной.

Впервые в истории человечества наблюдатель был лишён своей привилегии, взирать на Мир из неподвижной системы координат. Кроме того, нужно было обладать фантастической силой духа, чтобы, будучи служителем культа, усомниться в справедливости Святого Писания, заподозрить Библию в астрономической некорректности.

Как это ни парадоксально, но такая несложная гипотеза была недоступна многим современникам Коперника. А те, кто её понимал, предпочитали, учитывая религиозно-политическую обстановку в странах Европы, делать вид что не понимают. Так было спокойнее.

Даже сам Коперник решился опубликовать свой главный астрономический труд **«О вращении небесных сфер»** только под конец своей жизни. Впервые он увидел изданной целиком, книгу, только перед смертью в1543 году.

В предисловии, написанном не Коперником, говорилось, что публикуемая теория не отражает действительности, а является более или менее удобной расчетной схемой, и не более того. А система Коперника, между прочим, позволяла легко

оценить масштабы Солнечной системы (рис. 1.34), приняв за единицу измерения радиус земной орбиты.

Идея Коперника открыла новую эру в естествознании. У Коперника был один ученик – Георг Ретик, но за Коперником последовали Кеплер, Галилей и Ньютон. Их тоже можно причислить к ученикам Николоса Коперника, самого великого поляка, остановившего Солнце.

Следующим продолжателем наследия Коперника был Тихо Браге (1546-1601гг.), родившийся в зажиточной семьё, одной из самых именитых в Датском королевстве (рис. 1.35). Тихо к 13 годам освоил латынь и поступил в Копенгагенский университет.

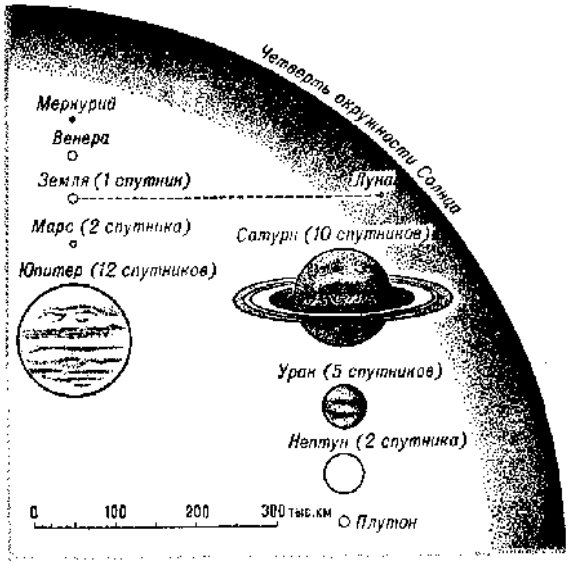


Рис.1.34. Относительные размеры планет Солнечной Системы

Случившееся в это время (21 августа 1560 г.) солнечное затмение поразило воображение студиозуса, но более самого явления его, буквально заворожил факт точного предсказания этого знамения. Он увлёкся астрономией и всю жизнь оставался пленником этой интересной и загадочной науки.

После Копенгагена последовала шестилетняя научная стажировки в университетах городов Лейпцига, Ростока, Виттенберга и Аугсбурга. В 1566 г. Тихо Браге выяснял отношения с одним из своих приятелей на дуэли. Дуэль закончилась примирением, правда Тихо шпагой отсекли кончик носа, он всю жизнь носил серебряный протез, избегая по этой причине светского общества.

Рис.1. 35. Тихо Браге

В Германии, ведя наблюдения за сближением Сатурна и Юпитера с помощью обычного циркуля, он понял, что для успехов в астрономии, помимо всего прочего нужны хорошие инструменты.

Братья Ханцели, с которыми сдружился астроном в Аугсбурге, свели его с мастерами, которые по чертежам могли изготавливать астрономические инструменты. В частности, по чертежам Браге был создан из дерева «большой квадрант», сектор с радиусом 6 м, помещённый на раме, которая могла поворачиваться.

Высота всего сооружения составляла 11 м, таких инструментов не заказывал в Европе в это время никто. Точность измерения углов была довольно высокой, дуге в 1^0 соответствовало расстояние в 10 см. Инструмент, однако, не удовлетворил исследователя. Ввиду своих размеров, он помещался на улице, а дерево имело свойство менять свои размеры в зависимости от температуры и влажности, это понижало точность измерений. В дальнейшем инструменты Тихо Браге заказывал себе исключительно из металлов, предпочитая, при этом, точность размерам .

В 1575 г. в связи с болезнью отца Браге вернулся в Данию, где вынужден, был заняться хозяйством. Дядя астронома, живший по соседству, занимался алхимией, Браге принимал участие в алхимических опытах. Используя свои научные знания, родственники устроили небольшое стекольное производство. Жизнь Браге, казалось бы, стала протекать вдали от астрономических страстей.

Однако, вечером 11 ноября 1572 г. гуляя вечером по улице, как и миллионы соплеменников, Тихо браге посмотрел вверх. Но в отличие от прочих, он обнаружил на фоне тёмного неба в созвездии Кассиопеи новую звезду весьма большой яркости. Это никак не сочеталось с утверждением Аристотеля о неизменности неподвижных звёзд.

Алхимия и стекольное производство вместе со всеми хозяйственными заботами в мгновение ока откатились на весьма задний план, на авансцене снова возникла астрономия.

Тихо тут же вынес из дома секстант и измерил угловое расстояние от новой звезды до соседних, чтобы утром повторить наблюдение, определить параллакс (видимое изменение положения предметов вследствие перемещения глаза наблюдателя). Параллакса Тихо не обнаружил, это означало, что новая звезда находится существенно дальше луны. Как оказалось, это была вновь возникшая сверхновая звезда, которая была видна в течение 17 месяцев, а потом постепенно утратила яркость.

Тихо Браге решил заняться астрономией более основательно, для чего он предпринял путешествие по Европе с целью подбора места для своей небольшой обсерватории. Он присмотрел подходящую башню в Аугсбурге.

Однако, вернувшись в Данию, Тихо Браге получил от короля Фридриха II обещание меценатства астрономическим занятиям. Его величество предоставило для строительства обсерватории остров Вен, лежащий в середине Зундского пролива.

В течение всего одного года на острове была построена одна из лучших в Европе обсерваторий «Ураниборг» (Небесный замок). Наблюдения Браге по точности измерений угловых величин превосходили результаты Птолемея в 20 и более раз.

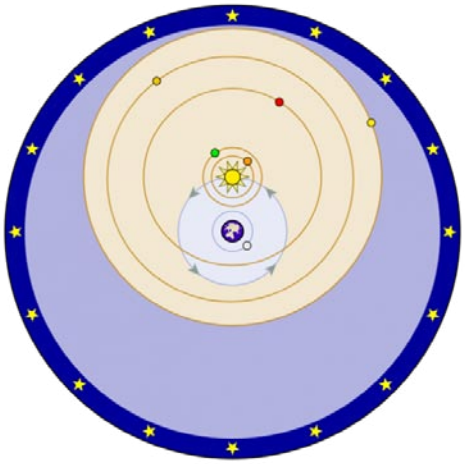


Рис. 1.36. Система Мира Тихо Браге

Несмотря на высокую точность измерений, Тихо Браге построил не совсем корректную систему Мира. Он не прочувствовал всего величия системы Коперника. Чтобы объяснить отсутствие годичного параллакса звёзд Браге был вынужден предложить свою систему. Земля была снова поставлена в центр сферы звёзд, а так же орбит Луны и Солнца, планеты же, например, Сатурн со своими спутниками, движутся вокруг Солнца (рис. 1. 36). Одним словом симбиоз Аристотеля и Коперника.

Но, у Тихо Браге был ученик, его звали Иоганн Кеплер. Именно Кеплеру были завещаны все дневники и наблюдения датского астронома, который распорядился ими наилучшим образом.

Дальнейшее развитие наука о движении планет получила стараниями немецкого исследователя Иоганна Кеплера (рис. 1.37), прославившегося своими работами в области механики, астрономии и математики.

Кеплер был впечатлительным мальчиком. В шестилетнем возрасте в 1577 г.

Кеплер увидел комету, а тремя годами позже ему показали лунное затмение. Это произвело огромное впечатление на юного бюргера.

В школе будущее научное светило училось прекрасно, но ввиду бедности семьи, учёба неоднократно прерывалась. Нечем было платить. Мальчик вынужден был работать на огороде и в поле, чтобы заработать на дальнейшую учёбу.

Ввиду слабого здоровья, родители определили Иоганна после школы в семинарию города Адельсберга. А дальше была высшая семинария в Мульбронне, где семинаристы, наряду со словом божьим изучали греческих и римских классиков, риторику, диалектику, математику и музыку.

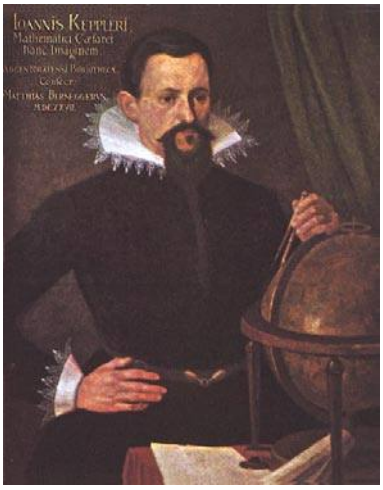


Рис. 1.37. Иоганн Кеплер

После блестящего окончания семинарии Кеплер поступает в Тюбингенский университет на факультет искусств, где в те времена преподавали математику, астрономию, философию и даже древнееврейский язык.

Первые профессиональные успехи были достигнуты Кеплером в астрологии, его климатические прогнозы сбывались, но сам он к астрологии относился с некоторым недоверием, хотя занимался предсказаниями с удовольствием.

Кеплер догадывался, что предсказания судеб необходимо делать более исходя из характеристик личности, нежели из расположения звёзд: «Астрология – дочь астрономии, хоть и не законная, и разве не естественно, чтобы дочь кормила свою мать; которая могла бы умереть с голоду».

Будучи студентом Кеплер впервые познакомился с сочинениями Коперника, которые стали его путеводной звездой в дальнейшем астрономическом путешествии. Восторженные высказывания по поводу гелиоцентрической системы мира принесли свои негативные плоды.

По окончании образования юный вольнодумец не был допущен к хлебной должности богослова, а был «жалован» должностью школьного учителя. Однако учительская карьера Кеплера не сложилась и он в 1600 г. переехал в Прагу к знаменитому астроному Тихо Браге, который вёл на систематической основе астрономические наблюдения, составляя соответствующие таблицы.

Участие в составлении астрономических таблиц, в конечном счёте, привело Кеплера к открытию трёх его законов, количественно закрепивших кинематические особенности движения планет Солнечной Системы.

Из законов Кеплера следовало, что Солнце, занимая один из фокусов эллиптической орбиты планеты, является, источником силы, движущей планеты. Он высказал справедливые догадки о существовании между небесными телами тяготения и объяснил приливы и отливы земных океанов воздействием Луны.

Составленные Кеплером на основе наблюдений Браге "Рудольфовы таблицы" (1627 г.) давали возможность вычислять для любого момента времени положение планеты с высокой для той эпохи точностью. В работе "Сокращение коперниковой астрономии" (1618 – 1622 гг.) Кеплер изложил теорию и способы предсказания солнечных и лунных затмений.

По-разному складывались судьбы великих учёных средневековья. Некоторые, например, как Тихо Браге, были вполне благополучны в обыденной жизни, им хватало средств на жизнь и занятия наукой, они были обласканы монархами и популярны в учёном мире.

А вот Иоганну Кеплеру в жизни везло меньше. Кроме открытия своих знаменитых астрономических и физических законов Кеплер печально знаменит драматической биографией. Ему фатально не везло, он постоянно испытывал нужду в деньгах, скитался в поисках более лучшего места, его предавали друзья, его преследовала церковь, он рано похоронил близких ему людей.

Проанализировав многолетние и весьма точные астрономические журналы Браге, Иоганн Кеплер понял, что его учитель при построении модели Солнечной системы был не прав. Положения планет говорили о более простой схеме их движения.

Проведя необходимые расчеты, Кеплер сформулировал, прославивших его в веках, три астрономических закона, которые оказалась на удивление простыми, достойными, по крайней мере, божественного происхождения.

Первый закон Кеплера: Все планеты обращаются по эллиптическим орбитам, в фокусе которых находится Солнце.

Второй закон Кеплера: Прямая, соединяющая Солнце и какую-либо планету, за равные промежутки времени описывают одинаковую площадь.

Третий закон Кеплера: Кубы расстояний двух любых планет от Солнца относятся как квадраты их периодов вращения.

Рис. 1.38. Устройство Солнечной Системы по Кеплеру

Помимо астрономии, Кеплер занимался математикой, разработав методы вычисления объёмов тел вращения. В физике он ввёл понятие гравитации и инерции, объяснил причину приливов и отливов. Именно у Иоганна Кеплера учились Галилео Галилей и Исаак Ньютон.

Мы уже упоминали ранее, что Рене Декарт выдумал аналитическую геометрию, которая стала основой кинематического метода исследования движения. Начав интересоваться механическим движением, этот универсальный французский гений сделал в физических и математических науках столько откровений, что их хватило бы с лихвой на несколько жизней (рис. 1.39).

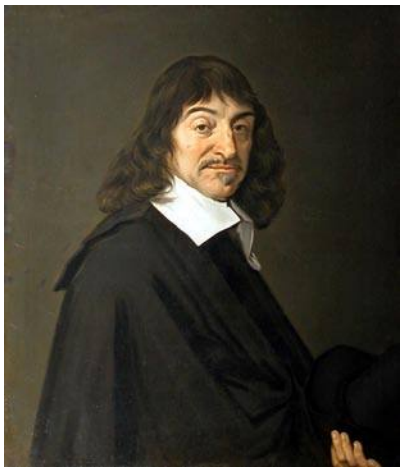


Рис. 1.39. Рене Декарт

Рене Декарт (1596 – 1650 гг.) впервые сформулировал основную задачу естествознания. Он считал, что изучение естествознания, а механики в частности, должно иметь цель сделать людей «господами и хозяевами природы», причём достигать этого следует, применяя к исследованиям методы математики, как наиболее совершенной из всех наук.

Практически все научные работы Декарта были посвящены математизации естественных наук. Особенно он преуспел в физике, где весьма

успешно внедрил методы, основанной им аналитической геометрии.

Как и многие гении средневековья Рене Декарт (Кортезий) был скверным христианином, хотя начало его сознательной жизни к этому располагало. Декарт родился во Франции в обедневшей дворянской семье. Опять же подобно многим великим он родился маленьким и хилым. Мать умерла сразу после родов, повитухи и знахарки предрекали Декарту недолгую жизнь. Родственники, не дождавшись скорой смерти этого невзрачного существа, сбагрили его на воспитание иезуитам в аристократическое среднее учебное заведение, дворянин всё же, хоть и не богатый.

Нравы в иезуитских коллегиях были более чем строгие, дети рано вставали, молились и до поздней ночи с перерывом на обед учились. Декарт был настолько тщедушен и вызывал такое сострадание суровых отцов ордена, что поначалу для него сделали исключение и разрешали утром поваляться часик другой в кровати.

Науки Декарт (Картезий), мягко говоря, не любил. Его больше привлекали скачки на лошадях и фехтование. Это было время мушкетёров и гвардейцев кардинала. Молодые беспаспортные люди в ржавой броне и с копьями наперевес уже не носились по грязным дорогам Европы с целью истребления именем любимой дамы всякого, кто плохо посмотрит на рыцарствующую особу, но дуэли были ещё в ходу. Умение протыкать остро отточенным клинком соплеменников в обществе ценилось.

В 17 лет Рене прекрасно фехтовал, был хорошим наездником, любил товарищеские попойки с шумными последующими дебошами. Одним словом он вполне созрел для столичной жизни. Получив среднее образование, Декарт в сопровождении камердинера и лакеев появился в Париже. Как и многие юные дворяне, Декарт погрузился в столичную, в большинстве своём, ночную жизнь, с пьяными драками, карточной игрой, погромами в кабаках и посещениями заведений не очень высоких моральных качеств.

Ни с того, ни с сего, по крайней мере, так казалось его приятелям и родным, Рене Декарт снимает квартиру в тихом Сен-Жерменском предместье Парижа. Заброшены карты, фехтование, попойки и прочие атрибуты светской жизни. Два года затворничества Декарт посвящает математике, занимаясь с раннего утра до поздней ночи.

А через два года новый поворот судьбы. Рене Декарт становится военным, волонтёром голландской армии, а затем армии герцога Максимилиана Баварского. Декарту удаётся устраиваться в армиях, постоянно воюющей Европы так, что сражения проходят без него, пули свистят не над его головой. Просто Декарту «нравится быть зрителем в разыгрывающихся перед ним комедиях».

Два года занятий математикой позволили Декарту, будучи облаченным, в военный мундир, сделать одно из грандиозных по значимости открытий. Снимая однажды план вражеской крепости и, как обычно торопясь на очередную товарищескую встречу, Декарт изобразил укрепление схематически с трёх точек наблюдения, а потом восстановил рисунок.

И тут его осенило, он открыл систему координат, которая теперь называется его именем. Система координат для описания пространства потребовала введения понятия переменной величины. Декарт, используя это новое для естествознания понятие, основал раздел математики – аналитическую геометрию, в рамках которой хотел связать линейные, плоские и пространственные геометрические образы с математическими уравнениями. Сбывалась мечта Пифагора и его учеников, мир становился ближе к его численному представлению.

Покончив с военной карьерой, так же внезапно, как и начав её, Декарт в 1628 г. перебирается в Голландию и начинает серьёзно заниматься наукой. Голландия в те времена была одной из передовых в научном и техническом отношениях страной. Практически все значительные научные труды были написаны в Голландии

Основные научные идеи Декарт отразил в своих сочинениях: «Правила для руководства ума», «Трактат о свете», «Рассуждение о методе», «Метафизические размышления о первой философии», «Начала философии» и «Страсти души».

Самостоятельный научный интерес представляет переписка Декарта и его дневники, в которых содержалось много интересных мыслей, которые так и небыли по разным причинам опубликованы.

А самое главное письмам и дневникам он доверял более смелые мысли и гипотезы. При жизни Рене Декарта его труды по религиозным соображениям были запрещены в Нидерландах и на родине, во Франции.

Через тринадцать лет после смерти исследователя спохватился Ватикан, разобрались, наконец, в сути написанного и внесли все творения великого француза в «Индекс запрещённых книг». Философия Декарта и его взгляды были совершенно не совместимы со святым писанием, они становились опаснее день ото дня.

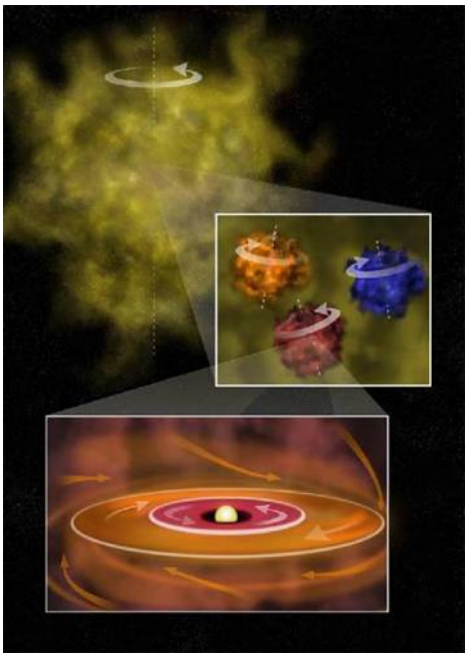


Рис. 1.40. Устройство Мира по Декарту

Философия Декарта носила дуалистический характер, весь мир по Декарту состоял из двух, несводимых друг к другу начал: материальной и духовной субстанции. Материальная субстанция характеризовалась двумя свойствами: протяжённостью и движением.

Считая, что пустоты в Мире быть не может, Декарт заполняет протяжённость «тонкой материей», которую Бог озаботил совершать вечное движение (рис. 1.40).

Декарту казалось, что стоит постичь протяжённость, т.е. установить пространственные характеристики того или иного тела или системы тел, а затем исследовать движение, поле чего всё будет постигнуто.

Такая научная философия породила в науке механистический подход к любому событию и явлению. Следует отметить, что теоретическое обоснование физического мира Декарта выглядит более убедительно, нежели его духовная составляющая.

Идея «перводвигателя» в образе Бога не проясняла сути мирового устройства, а наоборот только всё запутывала.

Декарт считал, что эксперимент главенствующей роли в исследованиях не играет, он считал, что высшим критерием оценки научных теорий должен быть разум человека: «Вся философия подобна как бы дереву, корни которого – метафизика, ствол – физика, а ветви, исходящие от этого ствола, все прочие науки, сводящиеся к трём главным: медицине, механике и этике».

Рене Декарт высоко ценил умение людей мыслить и ставил равенство между самой жизнью и этим понятием: «Я мыслю, значит, я существую!». В этой фразе скрыта вся суть декартовой философии.

Весьма оригинально Рене Декарт доказывал существование Бога. Для этого ему пришлось развить теорию «врождённых идей и истин». Он полагал, что осно-

вополагающие понятия метафизики и математики, так же как и понятие Бога, являются врождёнными и появились из подсознания человека, практически не по его воле. Так вот, следуя схоласту Ансельму Кентерберийскому, Декарт доказывает существование Бога тем, что он является врождённой идеей человеческого разума.

Физика Декарта так же как его философия во многом противоречива. Декартова механика основывалась на трёх законах. Первые два закона, по сути своей, развивали принцип инерции, а в третьем законе делается попытка сформулировать закон сохранения импульса. При формулировке этого фундаментального закона Декарт допустил, будучи грамотным математиком, элементарную ошибку. Её часто делают студенты начальных курсов современных университетов. Говоря о сохранении импульса $\vec{p} = m\vec{v}$, Декарт не считает его вектором, потому что предлагает складывать импульсы алгебраически, без учёта направления скоростей. В этой связи, написанная Декартом теория удара, оказалась неверной.

Считая основным свойством материи движение, необходимо было определить его источник. До понятия сил Декарт не дошёл, поэтому вынужден был первопричиной движения считать Бога. А что ему оставалось? Хотелось иметь законченные теории: «Прежде чем вложить в материю движение, бог творит её самоё».

В своей работе «Трактат о свете» Рене Декарт развивает теорию строения Вселенной, которая строится исключительно на механических представлениях об окружающем Мире.

Подобно Джордано Бруно, Декарт считал Вселенную совокупностью бесконечного множества миров и утверждал физическую однородность Вселенной. Это особенно раздражало теологов, т.к. религиозные теоретики рассматривали «подлунную материю» и «небесную материю», как явления совершенно уникальные, естественно по воле Божьей.

И уж совсем недопустимой ересью было предположение, кстати совершенно гениальное, об образовании планет за счёт концентрации рассеянной материи в процессе вихревого движения.

На рис. 1.41 показаны вихри тонкой материи, а в центре одного из вихрей находится наша Солнечная Система.

Механико-математические принципы Декарт пытался применять и к живой материи, к телесной субстанции. У Декарта между духом и материей посредничала математика.

В физиологии Декарт, не имея необходимых сведений, сам много экспериментировал, изучая внутренние органы животных и человека. Он первым в истории науки сделал попытку объяснить «произвольные» и «непроизвольные» движения человека, введя, по сути, понятие рефлекторных движений.

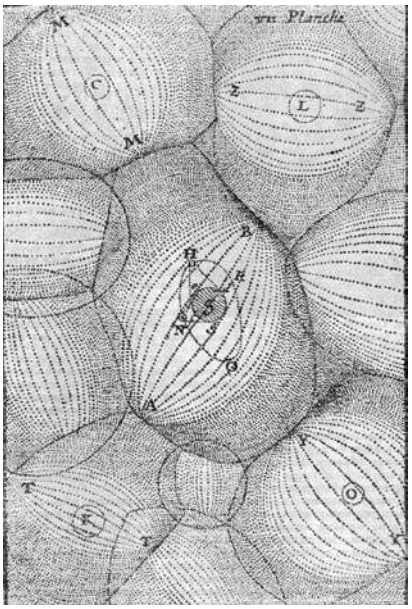


Рис.1.41. Вихри тонкой материи

Декарт – математик более всего прославился введением в обиход понятия переменной величины и функции, что сделало неотвратимым создание дифференциального и интегрального исчисления.

.

1.7. Галилео Галилей

Дальнейшее более чем достойное развитие науки о движении получило в работах Галилео Галилея, который писал: «Мы создаём совершенно новую науку о предмете чрезвычайно старом. В природе нет ничего древнее движения, и о нём философы написали томов немало и немалых. Однако я излагаю многие присущие ему и достойные изучения свойства, которые до сих пор небыли замечены либо небыли доказаны».

Родители хотели видеть своего сына медиком, хорошие медики в то время могли зарабатывать достойные деньги, но увлечения юного дарования были ориентированы совершенно на другие предметы, весьма далёкие от анатомии и фармацевтики.

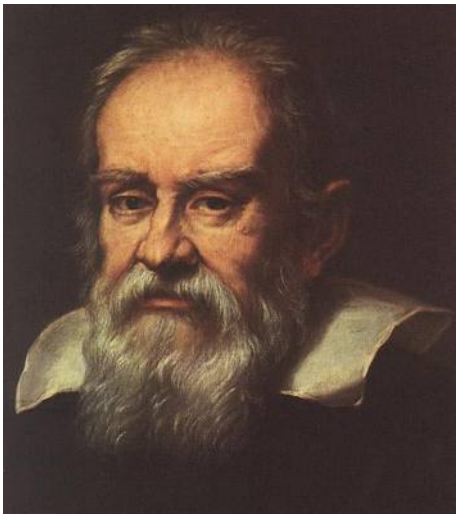


Рис. 1.42. Галилео Галилей

Во Флоренции в 1586 г. несостоявшийся эскулап (рис. 1.42) написал свои первые научные работы о конструкции гидростатических весов и о методике определения центров тяжести твёрдых тел.

Работы сына прочитал Винченцо Галилей и сдался, разрешив ему, открыто заниматься математикой и физикой. Первые труды Галилея заинтересовали инспектора тосканских военных укреплений, механика и геометра Гвидобальдо дель Монте.

В 1589 г. Галилео Галилей получил должность профессора математики в Пизанском университете. Он был более чем доволен, несмотря на то, что жалование профессора математики было в 30 раз (!?) меньше оклада профессора медицины. Можно только догадываться, что по этому поводу говорил отец, мечтавший видеть Галилео медиком.

Получив относительную интеллектуальную свободу, Галилео занялся исследованием свободного падения тел, потому что, по его разумению, это самое простое и распространённое из естественных движений. Так движение характеризовал сам Аристотель. Читая лекции по геометрии, философии и астрономии, профессор Галилей был вынужден постоянно цитировать Аристотеля. Не все сентенции авторитета о движении казались бесспорными. Было решено проверять Аристотеля.

Начал Галилей с простого, он подверг сомнению одно из основополагающих положений Аристотеля: «Тела, имеющие большую силу тяжести или лёгкости, если в остальном они имеют одинаковую фигуру, скорее проходят равное пространство в том пропорциональном отношении, в каком указанные величины относятся друг к другу».

При большом стечении народа Галилей в 1590 г. со своими студентами проводил эксперименты, с использованием Пизанской башни, которая, кстати сказать, уже тогда не стояла прямо.

Он брал чугунные и деревянные шары и одновременно отпускал их. К великому удивлению присутствовавших зрителей, шары достигали земли одновременно.

Затем профессор скреплял цепочкой большие и малые шары (пушечные ядра и мушкетные пули), лёгкие и тяжёлые. Они тоже падали вместе и одновременно достигали земли (рис. 1.43), что противоречило представлениям Аристотеля.

Несмотря на зрелищность экспериментов с падающими телами, информации для разработки теории падения тел было мало.

Удалось установить, что сопротивление движению зависит от геометрических размеров тел, говорить о количественных соотношениях не приходилось, потому что тела падали слишком малое время даже с Пизанской башни, чтобы заметить разницу.

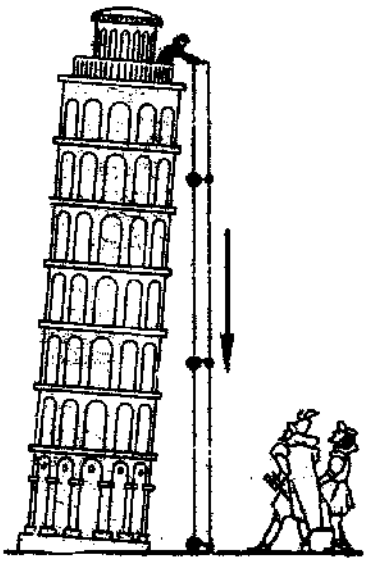


Рис.1.43. Публичные физические опыты

Однако первыми целенаправленными экспериментами в истории физики было достигнуто главное. Более двух тысячелетий главенствующая идея Аристотеля о зависимости скорости падения тел от их массы, была опровергнута опытным путём.

Только в 1632 г. Галилей все свои наблюдения механического движению обобщил в своём знаменитом трактате «Диалог о двух главнейших системах мира, Птолемеевой и Копейниковой». Он попытался, по примеру Гильберта, продвинуть свои идеи в научную среду, придав им форму диалога научно-популярной направленности. Критиковать Аристотеля со страниц научного трактата имело бы ещё меньший успех, чем попытка чеканить монеты из лунного света.

Университетская цензура весьма пристально следила за научной литературой, выходившей за пределы университетских стен, и строго следовала установившимся канонам, пресекая всякие попытки их пересмотра.

Аристотель был одним из основных идеологических столпов, которому должна была поклоняться научная общественность средневековой Европы. Критиковать его было чревато во всех отношениях.

А жанр научно-популярной литературы расширял рамки дозволенного, позволяя не возбуждая цензуру излагать свои идеи. Кстати сказать, форма диалога между двумя людьми, спорящими о научных теориях, прижилась в естествознании со времён Платона (427 – 348) гг. до с.л).

Свой «Диалог» Галилей написал не на латыни, а на родном итальянском языке, что само по себе для научной литературы было недопустимо. А кто знал ту латынь настолько, чтобы разобраться во всех тонкостях научных терминов и определений? Только узкий круг университетской профессуры да немногочисленные деятели от религии.

Диалог между флорентинцем Филиппо Сольвиатти и венецианцем Франческо Сагредо продолжался четыре дня, причём каждый день научной дискуссии был объединён единой тематикой, вокруг которой строился весь разговор.

«День первый» в лучших средневековых традициях был посвящён вечному. Неизменяемости и нетленности небесного мира. Диалог разворачивается на этом этапе вокруг одного из главных вопросов того времени: «Изменяет ли космос сего несметным количеством небесных тел свою структуру и свойства?»

Галилей был уверен, что небесные сферы постоянно меняются. Он считал, что

солнечные пятна находятся не на солнце, а в его окрестностях. Пятна представлялись учёному как частичные затмения, вызванные телами, порождаемые самим Солнцем.

«День второй» тоже касается неба, но тематика представителей интеллектуальной элиты Венеции и Флоренции более приземлена, потому как касается особенностей движения нашей планеты.

Следует вспомнить, что в соответствие с христианской догматикой Земля являлась исключительным небесным телом, на которую Творец обратил особое внимание, в связи с чем невозможно было допустить её движение.

Если уж Творец выделил эту планету из множества, то это множество в обязательном порядке должно двигаться вокруг неподвижной Земли.

Планета с лёгкой руки Аристотеля стала центром Мира. Чтобы поколебать эту догму, одной убеждённости было мало. Чтобы зародить тень сомнения у соображающих людей Галилей формулирует два основных принципа классической динамики: **принцип относительности и принцип инерции**.

Чтобы доказать принцип инерции, который на первый взгляд противоречил опыту и здравому смыслу, Галилей использует пример с наклонной плоскостью. Если тело скатывается с наклонной плоскости вниз, то его скорость увеличивается, ели же тело пустить вверх по наклонной плоскости, то скорость будет уменьшаться. В промежуточном состоянии, на горизонтальной поверхности, тело должно двигаться без ускорения.

Сам по себе этот факт не кажется значимым, однако его следствия наносили очередной сокрушительный удар «стройной» Аристотелевой теории движения. А теория незабвенного Аристотеля предполагала, что движение происходит до тех пор, пока на тело действуют силы. Как только действие сил прекращается, тело начинает падать.

Сторонники неподвижности Земли приводили много примеров, как говорится, из жизни. Они справедливо замечали, что птицы, летая над землей, не отстают от её поверхности. Пушки, стреляющие в разных направлениях, имеют при прочих равных условиях одинаковую дальность. Тяжёлые тела, брошенные вверх, возвращаются в точку броска.

На все эти, убедительные на первый взгляд, свидетельства неподвижности Земли Галилей отвечает примером, в котором он, используя моделирование, доказывает несостоятельность критики, одновременно формулируя принцип относительности.

Галилей, представляя Землю движущимся кораблём, по сути, вводит две системы отсчёта: **подвижную и неподвижную**. Вот как он пишет об этом: «Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте прилежно, как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях; все падающие капли попадут в подставленный сосуд, и вам, бросая другу какой-нибудь предмет, не придется бросать его с большей силой в одну сторону, чем в другую, если расстояния будут одни и те же; и если вы будете прыгать сразу двумя ногами, то сделаете прыжок на одинаковое расстояние в любом направлении. Прилежно наблюдайте все это, хотя у нас не возникает никакого сомнения в том, что, пока корабль стоит неподвижно, все должно происходить именно так.

Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту и другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно... И причина

согласованности всех этих явлений в том, что движение корабля обще всем находящимся в нем предметам, так же как и воздуху; поэтому-то я и сказал, что вы должны находиться под палубой...»

В современных представлениях принцип относительности выглядит следующим образом. **Если две системы отсчёта движутся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, то такие системы называются инерциальными**. Галилеем установлено, что во всех инерциальных системах отсчёта законы классической динамики имеют одинаковую форму.

«День третий» научной дискуссии посвящён главной теме сочинения – годичному движению Земли. Устами Сальвиати Галилей, приводя факты наблюдений за движением Венеры, спутников Юпитера и Луны, показывает их несоответствие геоцентрической системе Аристотеля и полное совпадение со схемой, предложенной Коперником, причём как с геометрических, так и с механических позиций.

В заключительный день дискуссии обсуждались вопросы, связанные с приливами и отливами. Галилей и эти явления привлёк для доказательства движения Земли. Он ошибочно предполагал, что перемещения водных масс являются прямым доказательством движения планеты.

Кроме того, в четвёртый день обсуждался вопрос о движении брошенных тел. Галилеем был сформулирован фундаментальный принцип сложения перемещений. Привлекая снова принцип инерции, и принцип сложения перемещений Галилей доказал, что тело, брошенное под углом к горизонту, движется по параболической траектории. Дальность броска, при этом, будет максимальной при угле метания, равном 45^0.

Несмотря на то, что Галилей, как мог, «сгладил все углы» и придал сочинению форму светской беседы, святые отцы распознали в этом сочинении великую угрозу. Ватикан был взбешен. Дальнейшее развитие судьбы великого учёного является неопровержимым подтверждением того.

Хорошо бы было Галилея как Джордано Бруно, попросту сжечь. Но нельзя. Слишком известен и имеет много покровителей среди сильных мира сего.

Но и спускать такое было негоже. Решили по настоянию папы Урбана VIII пригласить 68-летнего мужчину, слабого здоровьем в Рим и серьёзно припугнуть.

В феврале 1633 года Галилей прибыл в Рим, где в течение двух месяцев его вызывали в суд на допросы, которые проходили в подземелье, где в это время изгоняли дьявола сразу у нескольких заблудших душ.

Унижение учёного проходило по многократно проверенной методике. Воля пожилого человека, наконец, была сломлена (рис.1.44).

Галилей 22 июня 1633 г. в церкви святой Минервы в присутствии прелатов и кардиналов суда подписал отречение от своих убеждений относительно движения Земли. Десять долгих последующих лет великий ум Европы оставался в изгнании во Флоренции без учеников, без общества и без общения с внешним научным миром. Он умер на 78 году жизни слепым и совершенно несчастным человеком.

Рис. 1.44. Галилей на судилище инквизиции

1.8. Исаак Ньютон

Грандиозные события, как правило, происходят на стыке различных эпох, когда рождаются неординарные личности, такие как Иоган Кеплер (1571 – 1630 гг.), Галилео Галилей (1564 – 1642 гг.), Исаак Ньютон (1642 – 1727 гг.). В этот период научные представления об окружающем человека мире претерпели принципиальные изменения. Это, прежде всего, касалось математизации физики и приоритетности экспериментальных исследований с последующей их теоретической интерпретации.

Галилей одним из первых отошёл от античного метода мучительного угадывания таинственных сил обожествлённой множественно природы и стал использовать остроумные эксперименты, совершенно новые оценочные методики и строгие математические формулировки. Пифагорейская идея о Мире как гармонии чисел стала возрождаться Галилеем на новом витке эволюционной спирали естествознания.

Пожалуй, впервые так плодотворно в науке была реализована Галилеем идея формулировки общих законов природы на основании наблюдения отдельных их частных проявлений и наоборот. С одной стороны, исследования простых механизмов были интегрированы в общие механические законы, с другой – астрономические наблюдения дали возможность исследовать свойства не только отдельных небесных тел, но и трансформировать их на вполне земные явления.

Масштабы наблюдаемого мира существенно расширились после реконструкции Галилеем микроскопа голландского механика Захария Янсена в телескоп. Открытие Галилеем спутников Юпитера сделало очередную брешь в, казалось бы, непотопляемом конгломерате аристотелевского представления об исключительности Земли. Оказалось, привилегией иметь собственные спутники обладает не только третья планета Солнечной Системы.

Наблюдения неба в телескоп, позволившие обнаружить скопление звёзд в туманности Андромеды, заставило вспомнить гипотезу Демокрита о том что Млечный путь, т.е. Галактика в которой расположена и наша Солнечная Система, состоит из множества звёзд.

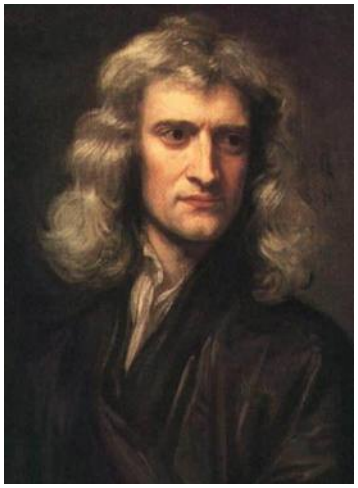


Рис. 1.45. Исаак Ньютон

Новорожденного Ньютона (рис. 1.45), по словам его маменьки, можно было купать в большой пивной кружке, такой он был маленький и тщедушный. Будущий гений, которому будет начертана судьба открывателя великих тайн Вселенной, действительно родился недоношенным, и все близкие были озабочены состоянием его здоровья и временем пребывания в этом мире.

Но ребёнок, родившийся в селении Вульсторп, что в 200 километрах к северу от Лондона, со временем окреп и дожил без особых хлопот со здоровьем до глубокой старости.

Вульсторп располагался в живописной долине с чистыми ключами. Дом, где родился Ньютон, был окружён садами с яблоневыми деревьями.

Среди множества легенд, окружающих имя великого естествоиспытателя, есть и общеизвестная притча о яблоке, которое, упав на голову учёного, вызвало эмоции, побудившие к размышлениям о законе всемирного тяготения (рис. 146).

Рис.1.46. Легенда о яблоке

Следует отметить, что яблоко является своеобразным символом многих судьбоносных событий в истории человечества. Так, например, Демокрит (460 – 370 гг. до н.э.) свои размышления о дискретном строении материи сопровождал мысленным разрезанием яблока, которое держал в руке. Яблоко, таким образом, стало первым материальным телом, глядя на которое древний грек сформулировал понятие атома. Роковую роль сыграло яблоко и в судьбе первых библейских людей Адама и Евы.

С двенадцатилетнего возраста Ньютон начал учиться в общественной школе в Грэнтэме. Жил он в доме местного аптекаря, что вызвало у юного Ньютона интерес к химическим экспериментам. Школьные годы не сопровождались проявлением каких бы то ни было способностей к наукам. По признанию самого Ньютона в школе он числился одним из последних учеников в классе, потому что был невнимательным и крайне ленивым.

Однажды один из примерных и хорошо успевающих соучеников Ньютона достаточно сильно ударил хиляка в живот. Ответить ему физически самолюбивый Ньютон не мог, поэтому он решил опередить обидчика в учёбе. Ньютона прорвало. Он стал внимательным и активным на уроках, много читал и в короткий срок стал лучшим учеником класса.

Первые признаки неординарных способностей Ньютона обнаружились, однако не на поприще учёбы, в те времена многие школьники училось достойно. Он конструировал и изготавливал, вызывающие восхищение у детей и взрослых действующие модели – игрушки.

Среди коллекции игрушек особый интерес вызывала миниатюрная мельница, которая могла вращаться силой ветра и могла даже молоть зернышки. В безветренную погоду мельницу вращала мышка, взбирающаяся по специальному колесику, над которым висел мешочек с зёрнышками.

А ещё Ньютон смастерил водяные часы, клепсидру, которые были настолько точны, что семейство аптекаря использовало их для отсчёта времени. Воздушные змеи с маленькими фонариками, изготовленные юным моделистом вызывали восхищение и восторг у всего окрестного населения независимо от возраста.

Когда Ньютону исполнилось 15 лет, вторично овдовевшая мать решила вернуть мальчика в родной дом для помощи ей поведению хозяйства на ферме. Чтобы привить вкус к фермерской жизни мать по субботам посылала мальчика со слугой на ближайший рынок продавать продукты фермы и закупать требующуюся на неделю снедь.

Ньютона совсем не занимали фермерские заботы. Он «доверял» все рыночные хлопоты старому работнику, а сам в это время читал книги и решал математические задачи. Другими словами имел место сговор. Когда о страсти племянника к просвещению узнал дядя, то, будучи человеком мудрым и наблюдательным, посоветовал, матери Ньютона не противится желанию сына учиться.

Способностей и знаний у Ньютона вполне достало для поступления в один из престижных уже в то время университетский Тринити-колледж. Со средствами на обучение в семье было туго в связи, с чем Ньютон состоял в субсайзерах, т.е. студентах, зарабатывающих на образование оказанием всяческих услуг состоятельным соученикам и профессорам.

Благодаря своему усердию и способностям Ньютон через три года обучения стал лучшим и удостоился звания действительного студента. Уже не нужно было по утрам чистить чужие сапоги и прислуживать профессорам. Заведующий кафедрой Исаак Барроу, обратив внимание на неординарные данные Ньютона, на некоторое время взял на себя обязанности научного руководителя.

Молодой профессор Барроу, занимался вопросами теологии, но подходил к ним с научной точки зрения. Это в некоторой степени повлияло на увлечение Ньютона теологией, интерес к которой он не терял на протяжении всей жизни. Проблема творца занимала его на протяжении всего времени его творческих исканий. Ещё через год Ньютон получил первое научное звание бакалавра.

Привычный ритм студенческой жизни нарушился эпидемией чумы. Спасаясь от этой напасти, унесшей, в конечном счете, более 31 тысячи жизней обитателей Лондона, Ньютон на два года вернулся в родной Вульсторп.

Именно в этот период вынужденного затворничества Ньютон пришёл при рассмотрении особенностей механического движения к необходимости создания теории бесконечно малых величин.

В Вульстропе рождалось дифференциальное исчисление, называемое Ньютоном «Метод флюкций». Разрабатывая идею исчисления бесконечно малых, Ньютон решил и обратную задачу: «Определение по уравнению, содержащему известные флюкции соотношения между флюэнтами».

Это решение стало основой совершенно нового понятия неопределённого интеграла. Свои гениальные прозрения в области математики Ньютон так и не соберётся опубликовать при жизни, хотя понятие производной и интеграла использовал в своих работах по механике.

Метод исследования переменных величин, как таковой был опубликован только 9 лет спустя после смерти учёного, в 1736 году.

Период затворничества в родных пенатах ознаменовался не только открытиями в области математики. В эти два карантинных года, двадцати двух летний затворник после наблюдения за движениями Луны окончательно укрепился в идее закона всемирного тяготения. Как отмечалось выше, так же бытует легенда о том, что толчком для озарения стала не Луна, а яблоко, падающее с дерева. Кстати, этот, хорошо теперь всем известный основополагающий закон мироздания, о гравитационном взаимодействии

$$F_{\Gamma} \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

Ньютон тоже не спешил публиковать, следуя своему неторопливому девизу: «Гипотез я не измышляю». В конечном счёте, многие открытия Ньютона «открывали» повторно и возникали горячие споры о приоритете.

Так случилось с дифференциальным и интегральным исчислением. До настоящего времени вопрос о первенстве Ньютона или Лейбница будоражит возбуждённые умы историографов этих, несомненно, значимых учёных.

Вульсторп, оторвав Ньютона от университетской суеты, предоставил все условия для взлёта научной активности. Наряду с механикой ньютон размышлял над проблемами оптики, результатом чего явилось открытие явления дисперсности, формула разложения бинома n-й степени (бином Ньютона).

Но самое главное, в эти страшные чумные годы, когда смерть ходила за каждым европейцем ежечасно, была сформулирована перспективная программа исследований, которая затем претворялась Ньютоном в жизнь долгие годы.

В 1699 г. Барроу передал Ньютону физико-математическую кафедру в Кембриджском университете. В 1672 году за изобретение новой конструкции телескопа рефлекторного типа Ньютона избирают действительным членом королевского общества.

В 1695 г. Ньютон был назначен смотрителем Монетного двора, по традиции на эту почётную должность назначались ведущие учёные страны.

Работники Монетного двора называли Ньютона «десятник», но относились с большим почтением, памятуя о его исключительных научных достижениях. Королева Анна произвела Ньютона в рыцарское звание, к его имени прибавилась приставка «сэр» (рис. 1.47).

Рис. 1.47. Сэр Исаак Ньютон

Ньютон был избран в парламент, но никакого заметного влияния на политическую жизнь страны не оказал. Легенда гласит, что за всё время пребывания в парламенте сэр Ньютон произнёс всего одну сокраментальную фразу: «Закройте окно, дует!».

Несмотря на всеобщее признание, болезненно самолюбивый Ньютон находился в состоянии постоянных споров с коллегами, которые работали над теми же проблемами, что и он. Ньютон пререкается с Робертом Гуком, Лейбницем, Флэмстидом и по этому поводу раздражённо замечает: «….Я убедился, что либо не следует сообщать ничего нового, либо придётся тратить все силы на защиту своего открытия».

Умер Ньютон от очередного приступа каменной болезни 20 марта 1727 г. в Кенингтоне, пригороде Лондона. Незадолго о кончины Исаак Ньютон произнёс фразу, которая характеризует его как учёного- естествоиспытателя: «Не знаю, чем я могу казаться миру, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, развлекающимся тем, что от поры до времени отыскиваю камешек более цветистый, чем обыкновенно, или красную раковину, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным».

Лагранж сказал о Ньютоне: «Он самый счастливый, – систему мира можно установить только один раз».

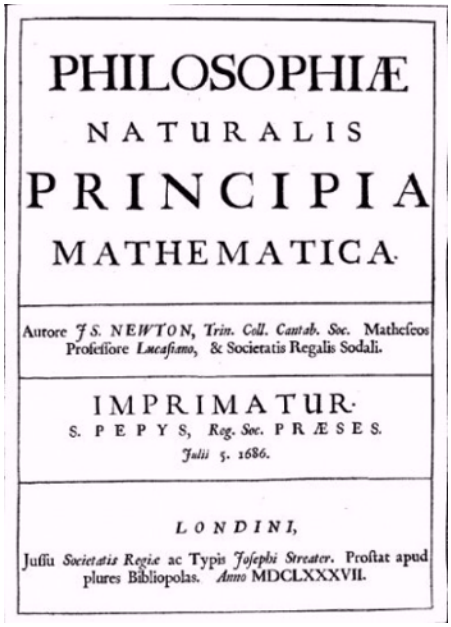
1627 год вошёл в историю развития человеческой цивилизации как год, подаривший миру, пожалуй, самый значимый труд профессора Кембриджского университета сэра Исаака Ньютона «Philosophize natural principia mathematic» («Математические основы естествознания»).

Некоторые весьма известные учёные считают это творение ума человеческого, настолько значимо, что его уместно поставить в один ряд с Библией.

Французский математик и механик, уроженец Германии Жозеф Луи Лагранж (1736 – 1813 гг.) называл «Математические начала» величайшим произведением человеческого ума, а, известный своим сарказмом Вольтер после знакомства с «Началами» в нетрадиционной для себя манере заявил: «…самым великим был сэр Исаак Ньютон, ибо если истинное величие состоит в том, чтобы, получив в дар от неба мощный талант, использовать его для самообразования и просвещения дру-

гих, то человек, подобный господину Ньютону, едва ли встречающийся однажды на протяжении десяти веков, действительно велик, тогда как все политики и завоеватели, без которых не обошлось ни одно столетие, обычно суть не что иное, как именитые злодеи. Мы чтим тех, кто владеет умами силою своей правды, но не тех, кто путём насилия создаёт рабов; тех, кто познал Вселенную, а не тех, кто её обезобразил».

В тот день, когда секретарь Ньютона, разносил только что полученные из типографии книги руководителям Кембриджского университета и знакомым автора, мало кто оценил творение Ньютона по достоинству. А иные, из коллег – профессоров перелистав книги, нашли их очень заумными и, не читая, поставили пылиться на дальние полки.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Рис. 1.48. Титульный лист «Начал»

Однако, первое издание «Начал» 1000 экземпляров разошлось достаточно быстро, причём шесть экземпляров были отправлены в подарок Русскому царю – Петру Великому (рис. 148). Дважды «начала» переиздавалась при жизни автора в латинском подлиннике и многократно других языках после его смерти.

Основную задачу «Начал» Ньютон сформулировал в предисловии: «….намерен главным образом заниматься тем, что относится к силе тяжести, лёгкости, силе упругости, сопротивлению жидкостей и тому подобным притягательным или напирающим силам. Поэтому и сочинение это предлагается как математические основы естествознания. Вся трудность естествознания, как будет видно, и состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления».

Другими словами Ньютон формулирует и решает вторую, так называемую, обратную задачу динамики, когда по заданной системе действующих сил $\{\overline{F}_1, \overline{F}_2, ...\overline{F}_n\}$ определяется уравнение движения $\overline{r} = f(t)$, определяющее положение движущегося тела в любой момент времени t.

Приступая к систематическому изложению своих фундаментальных идей, Ньютон, как и положено классику, делает ряд основополагающих определений. В частности: определение массы, количества движения, силы сопротивления, силы, центростремительной силы, времени, пространства и абсолютного движения.

Далее ньютон формулирует три закона динамики.

1.9. Законы Ньютона

Прежде чем приступить к изложению основных законов динамики материальной точки целесообразно уточнить некоторые важные для дальнейшего рассмотрения понятия и определения.

Понятие силы. В соответствие с классическим определением, кочующим из учебника в учебник, сила является мерой механического взаимодействия тел, определяющая интенсивность и направление такого взаимодействия.

Ели при действии силы на тело происходит изменение его механического состояния, например, тело, начинает двигаться или изменяет параметры своего движения, то говорят о динамическом проявлении силы.

Но такое наблюдается не всегда. Большой камень, расположенный на песке массой 500 кг один даже очень тренированный человек не сможет переместить, как ни старайся. Это статическое проявление силы. А вот если лёгкий камень бросить под углом к горизонту, то будет наблюдаться изменение первоначального направления полёта за счёт гравитационного взаимодействия массы камня с массой Земли. Это уже динамическое проявление сил.

Фундаментальная значимость понятия силы в механике обусловлена тем обстоятельством, что силы можно количественно измерять, чаще всего простыми и доступными методами сравнения. Опытным путём было установлено, что статическое и динамическое действие силы зависит от трёх её параметров: модуля, направления и точки приложения.

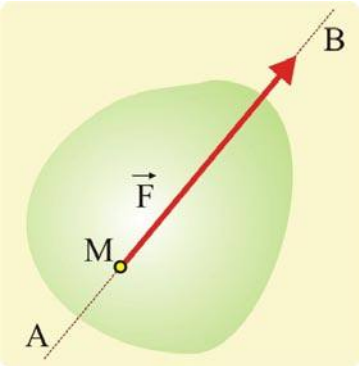


Рис. 1.49. Обозначение силы

Графически сила изображается в виде направленного отрезка (вектора) направление которого совпадает с линией действия силы AB (рис. 1.49), длина отрезка соответствует величине (модулю) силы в выбранном масштабе. Начало вектора силы, как правило, совпадает с точкой приложения M.

Если на тело действует не одна, а несколько сил, то говорят о системе сил. На рис. 1.50 изображена система четырёх сил $\{\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4\}$, линии действия которых пересекаются в одной точке. Система сходящихся сил является наиболее простой для определения эквивалентного действия, которое оценивается на основе трёх аксиом.

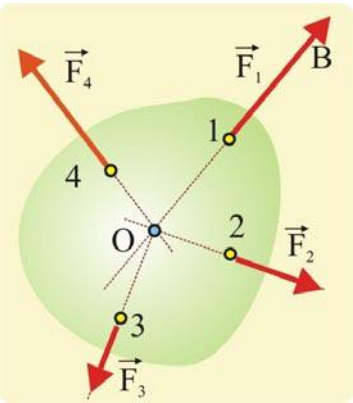


Рис. 1.50. Система сходящихся сил

Аксиома 1. Абсолютно твёрдое свободное тело находится в равновесии под действием двух сил только в том случае, если эти силы равны по модулю и имеют противоположное направление по общей линии действия.

Аксиома 2. Действие данной системы сил не изменится если к ней прибавить или отнять систему сил эквивалентную нулю.

Вторая аксиома имеет два важных следствия:

Следствие 1. Не изменяя параметров действующей силы, точку её приложения можно переносить вдоль линии действия силы в пределах данного тела.

Следствие 2. Равнодействующая и уравновешивающая силы равны по модулю и направлены в противоположные стороны по общей линии действия.

Аксиома 3. Равнодействующая двух сил, приложенных к телу в одной и той же точке, равна длине диагонали параллелограмма, построенного на векторах сил и направлена вдоль диагонали.

Используя приведенные выше аксиомы, которые были известны ещё во времена Архимеда, можно достаточно просто находить равнодействующую нескольких сил. Наиболее простым для анализа является система сходящихся сил, т.е. системы сил, линии действия которых пересекаются в одной точке.

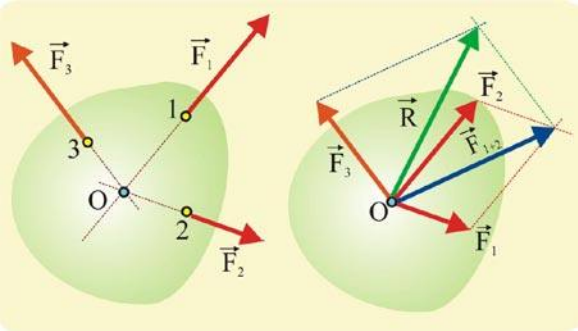


Рис. 1.51. Определение равнодействующей силы

Покажем методику геометрического нахождения равнодействующей на примере системы (рис. 1.51), состоящей из трёх сил $\{\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3\}$.

Используя следствие 1 аксиомы 2, перенесём по линиям действия силы таким образом, чтобы начало их векторов совпадало с точкой O. Затем построим параллелограмм на векторах сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ и построим его диагональ, которая будет являть собой сумму $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Далее построим второй параллелограмм на векторах $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$, диагональ этого параллелограмма будет являться равнодействующей $\vec{R}$ анализируемой системы трёх сходящихся сил.

Численное значение равнодействующей силы определяется по следующей схеме с использованием уравнения диагонали параллелограмма

$$\left|\vec{F}_1 + \vec{F}_2\right| = F^* = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\left(\vec{F}_1;\vec{F}_2\right)} \quad ,$$

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{F_3^2 + F^{*2} + 2F_3F^*\cos\left(\vec{F}_3;\vec{F}^*\right)} \quad .$$

Все тела, с которыми приходиться оперировать в рамках классической механики можно условно рассматривать как свободные и несвободные тела. Свободными называются тела на перемещения которых не наложены никакие ограничения.

Свободное тело может перемещаться в пространстве произвольным образом, как это могут делать космические корабли и подводные лодки, кальмары, осьминоги и каракатицы тоже, поскольку устройство их тел предполагает нулевую плавучесть, т.е. состояние безразличного равновесия в воде.

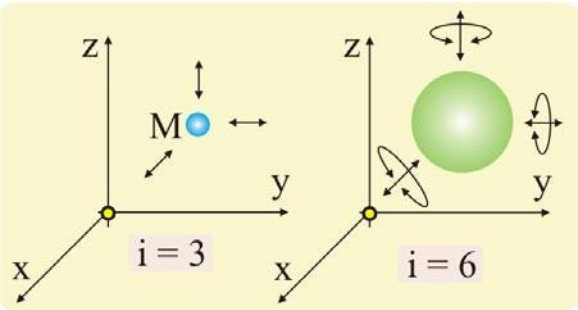


Рис. 1.52. Степени свободы материальной точки и твёрдого тела

Ограничение тех или иных движений (ограничение степеней свободы) обусловлено наложенными на тело связями. Материальная точка, будучи свободной, обладает тремя степенями свободы i = 3, т.е. она может беспрепятственно двигаться вдоль трёх координатных осей декартовой системы координат (рис. 1.52).

Материальная точка не имеет размеров, поэтому не может вращаться. Ось вращения, проведенная в любом направлении, будет проходить через эту точку, нонсенс, так сказать.

Свободное твёрдое тело тоже может перемещаться прямолинейно по трём направлениям вдоль осей, а кроме того может вокруг этих осей вращаться. Свободное твёрдое тело обладает шестью степенями свободы i = 6.

Число уравнений необходимых для описания движения определяется числом степеней свободы. Свободная материальная точка описывается тремя уравнениями движения, свободное твёрдое тело – шестью, три поступательных движения и три вращательных движения.

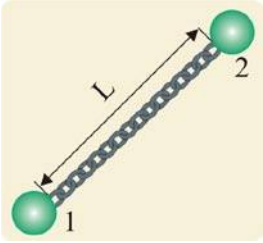


Рис. 1.53. Связанные точки

Рассмотрим в качестве примера две свободные материальные точки 1 и 2. Эти точки могут занимать в пространстве произвольные положения, причём их движения будут независимы друг от друга. Если эти точки соединить цепочкой длины L (рис. 1.53), то ситуация поменяется.

Точки могут сближаться друг с другом, но расстояние между ними не должно превосходить L, в данном случае цепочка будет играть роль наложенной связи, делая точки несвободными. Для этой связи можно записать уравнение

$$L^2 \le x^2 + y^2 + z^2 \ .$$

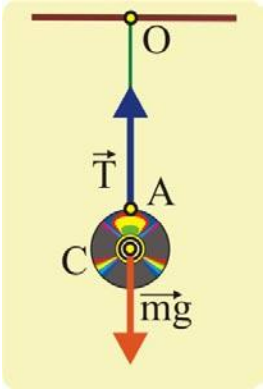


Рис. 1.54. Замена связи реакцией

Рассмотрим тело, подвешенное на нити (рис. 1.54). Это тело не свободно, нить в данном случае ограничивает движение тела, т.е. является связью, которая проявляется в виде силы натяжения нити $\vec{T}$, причём $|\vec{T}| = |m\vec{g}|$.

Нить в данном случае, в соответствие с аксиомой связей может быть заменена соответствующей реакцией. Если тело рассматривать при действии системы сил $\{m\vec{g}, \vec{T}\}$, то его можно считать свободным. Замена связей их реакциями даёт возможность несвободные тела рассматривать как свободные. Следует иметь в виду, сила тяжести $m\vec{g}$ приложена в точке C, т.е. в центре масс рассматриваемого тела, а реакция связи $\vec{T}$ в точке A, в точке крепления нити к телу.

Две основные задачи динамики. При рассмотрении движении материальной точки в рамках динамики решаются две основные задачи.

Первая или прямая задача динамики заключается в определении системы действующих сил по заданным уравнениям движения и массе точки.

Вторая или обратная задача динамики предполагает по известной массе точке и заданной системе действующих сил определение уравнений движения.

В основе классической механики лежат законы Ньютона, сформулированные в 1687 г. в знаменитой книге «Математические начала натуральной философии».

Три знаменитых закона Ньютона ставшие фундаментом всей классической физики были получены на основе обобщения многочисленных экспериментальных фактов полученных как до Ньютона, так и им самим – одним самих гениальных учёных всех времён и народов. Ньютон сформулировал законы для твёрдого тела, подразумевая под этим объектом, то, что в настоящее время считается материальной точкой.

Первый закон Ньютона (закон инерции). Этот фундаментальный закон был сформулирован в 1638 г. Галилео Галилеем. Смысл закона в следующем: всякая материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока приложенные к ней силы, не изменят этого состояния.

В современной терминологии первый закон Ньютона более доступен в следующем изложении: Если геометрическая сумма сил, действующих на материальную точку равна нулю, то эта точка либо находится в покое, либо её скорость постоянна по модулю и направлению.

Математически закон записывается так:

$$\text{Если} \sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k = 0, \text{ то } \begin{cases} \vec{v} = 0; \\ \vec{v} = \text{const}. \end{cases}$$

Система отсчёта относительно, которой выполняется закон инерции, называется инерциальной. При решении большинства технических задач в качестве инерциальных систем отсчёта используются системы, связанные с Землёй, при этом суточное движение вокруг собственной оси и годовое движение вокруг Солнца не учитывается.

Хотя, строго говоря, пренебрежение вращением земли, в ряде задач, таких как ракетные пуски, артиллерийские стрельбы, движение гироскопических устройств, недопустимо. Если в качестве объектов рассматриваются планеты Солнечной Системы, то центр инерционной системы связывается с Солнцем и осями, проходящими через условно неподвижные звёзды.

Второй закон Ньютона (основной закон динамики). Если к инерциально движущемуся телу приложить силу, то оно поменяет своё механической состояние, приобретя ускорение. На основании многочисленных опытов было установлено, что одна и та же по величине сила различным телам способна сообщать различные ускорения.

Другими словами, инертность выражает свойство материальной точки под действием силы изменять свою скорость по модулю и направлению непрерывно во времени. Величина, определяющая меру инертности точки, называется её массой.

Масса в классической механике является величиной постоянной, скалярной и положительной величиной, отличающей одну материальную точку от другой.

Второй закон Ньютона количественно связывает величины действующих на точку сил, её массу и приобретаемое ускорение

$$\vec{a} = \frac{1}{m}\left(\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{F}_3 + \cdots + \vec{F}_n\right) = \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k \quad .$$

Ускорение, приобретаемое точкой прямо пропорционально равнодействующей приложенной системы сил и обратно пропорционально массе. Если использовать упрощённый вариант записи, справедливый при действии одной силы или после приведения системы сил к равнодействующей $\sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k = \vec{F}$

$$\vec{F} = m\vec{a},$$

то очевидно, что вектор ускорения направлен по одной линии с вектором силы, масса выступает в роли коэффициента пропорциональности между модулями силы и ускорения.

Сила, как известно, измеряется в ньютонах

$$\left[\vec{F}\right] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \equiv \text{Н} \ ,$$

Ньютон (Н) это сила, сообщающая массе в 1 кг ускорение 1 м/с^2. Перепишем уравнение выразив вектор ускорения через вектор скорости

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad ,$$

поскольку в классической механике масса является величиной, не зависящей от времени, то её можно вносить под знак дифференциала (производная от постоянной величины равна нулю).

Образовавшаяся в скобках новая векторная величина называется **импульсом материальной точки**. В теоретической механике используется термин количество движения. С использованием понятия импульса второй закон Ньютона формулируется следующим образом: Производная по времени импульса равна действующей на точку силы.

Большое практическое значение имеют следствия из второго закона Ньтона,

Уравнение второго закона Ньютона можно выразить через радиус-вектор точки

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}\cdot$$

Поскольку масса в классической механике величина постоянная, то её можно внести под знак дифференциала

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}.$$

Величина $\vec{p} = m\vec{v}$ называется импульсом материальной точки. Большое значение при решении практических задач имеет частный случай второго закона ньютона, записанный в виде

$$\sum_{k=1}^{k=n}\vec{F}_k = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad \text{при} \quad \sum_{k=1}^{k=n}\vec{F}_k = 0; \quad \vec{p} = \text{const}.$$

Другими словами: если геометрическая сумма сил, действующих на точку равна нулю, то вектор импульса материальной точки не изменяется.

Третий закон Ньютона (закон равенства действия и противодействия). Две материальные точки действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению силами, направленными вдоль прямой соединяющей взаимодействующие точки.

Третий закон Ньютона имеет важное прикладное значение. В частности именно этим законом обусловлено возникновение связей при ограничении движений точки. Математическая запись третьего закона проста

$$\vec{F}_{1,2} + \vec{F}_{2,1} = 0 \ \cdot$$

При рассмотрении этого закона Ньютона, следует иметь в виду, что силы, обусловленные взаимодействием, приложены к разным телам, поэтому не представляют собой уравновешенную систему, а значит, могут приводить объекты в состояние ускоренного движения.

Четвёртый закон Ньютона (закон независимости действия сил). Если на материальную точку действует одновременно несколько сил, то ей сообщается ускорение, равное геометрической сумме тех ускорений, которые каждая сила сообщила бы, действуя по отдельности.

$$m\vec{a} = m\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 + \cdots + m\vec{a}_n = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n = \sum_{k=1}^{k=n}\vec{F}_k \quad .$$

1.10. Закон сохранения энергии

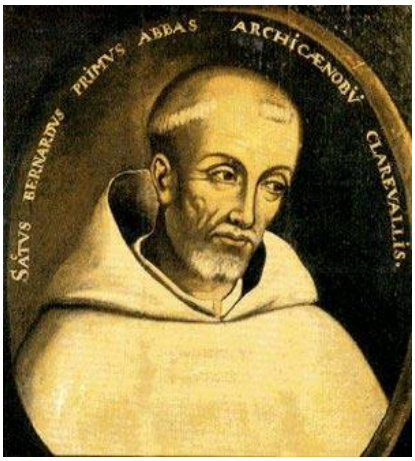


Рис. 1.55. Уильям Оккам

Ещё со времён Аристотеля (384 – 322 гг. до с.л.) был известен «принцип достаточности основания», позже английский монах Уильям Оккама удачно для своего времени перефразировал «принцип», смысл которого поняли многие учёные, занимающиеся методологией науки.

Он начал звучать так: **«Не следует множить сущее без необходимости».** В наше время этот принцип называют «принцип бережливости» или «закон экономии».

Суть принципа, в конечном счёте, сводится к тому, что при рассмотрении тех или иных природных процессов или явлений рационально привлекать минимум понятий, определений, аксиом и законов, другими словами не следует привлекать новые сущности без самой крайней на то необходимости.

Люди, занимающиеся изучением окружающего их Мира во все этапы своей достаточно продолжительной и многогранной естественнонаучной истории пытались найти некие общие понятия, которые бы благодаря своему универсальному смыслу могли быть использованы при рассмотрении всего многообразия процессов и явлений.

Поскольку основное отличие, по нашему мнению, человека от всего остального животного мира Земли заключается в его способности к преобразованию и использованию потоков энергии, то, исходя из принципа «Лезвие Оккама», можно показать, что оперирование понятием энергии, позволяет рассматривать, казалось бы, не связанные логически процессы с единых позиций, находя их единую платформу и взаимосвязь.

Самым пожалуй известным и показательным примером применения «принципа» является ответ великого французского астронома и математика Пьера Симона Лапласа (1749 – 1827 гг.) императору Наполеону. Наполеон, после доклада Лапласом его гипотезы о происхождении Солнечной Системы поинтересовался: «Что-то я не вижу в Вашей теории места для Бога». На что Лаплас, ни мало, ни сумяшися ответил: «Сир, у меня не было нужды в этой гипотезе».

Так что такое «Энергия» на самом деле? Если у читателя готов ответ, навеянный остаточными знаниями школьного курса физики, не надо спешить с его обнародованием.

Вопрос не так прост, как может показаться при первом рассмотрении. Практически все справочники по физике сообщают: **«Энергия – общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи».**

Изящность этого известного определения, однако, грешит типичным недостатком, оно не содержит ответа на естественный вопрос: «Сама энергия является материальным объектом, или как?».

А вопрос совсем не праздный, потому что, одно дело вводить в оборот такие кинематические понятия (характеристики) как скорость, ускорение, перемещение.

Это, как говорится, геометрические характеристики движения и не более того. Придумал себе человек такие понятия исключительно для удобства описания движения. И только. Кстати во времена Ньютона чёткого понятия ускорения не было, и ничего. Динамика сложилась и без этого, да ещё как сложилась. С энергией ситуация сложнее.

К настоящему времени принято выделять несколько видов энергии. Во-первых, установлено, что все открытые к настоящему времени типы физических полей обладают энергией: гравитационной, электрической магнитной, электромагнитной.

Во-вторых, отличают энергию радиационного излучения, механическую и тепловую энергию. Много разговоров про всякого рода малоизученные поля, такие как биологические, торсионные, астральные и т.п.

Общим для этих полей является вопрос об их материальности, свойствах и физических проявлениях, эти их особенности находятся в самой начальной стадии исследования. Мнения по поводу энергетики этих полей самые противоречивые. Что же, всё в начальной стадии становления.

Ещё одним распространённым определением энергии является: **«Энергия – это способность производить работу».** Правомерность такого определения можно показать на примере формального оперирования со вторым законом Ньютона для свободной материальной точки, который устанавливает взаимосвязь между такими фундаментальными понятиями, как масса m, сила $\vec{F}$ и ускорение $\vec{a}$.

Запишем второй закон Ньютона (основное уравнение динамики) применительно к простейшему случаю постоянной, как по модулю, так и по направлению силы (рис. 1.56)

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Умножим далее правую и левую часть векторного уравнения скалярно на бесконечно малое перемещение $d\vec{r}$

$$\vec{F}d\vec{r} = m\frac{d\vec{v}d\vec{r}}{dt}.$$

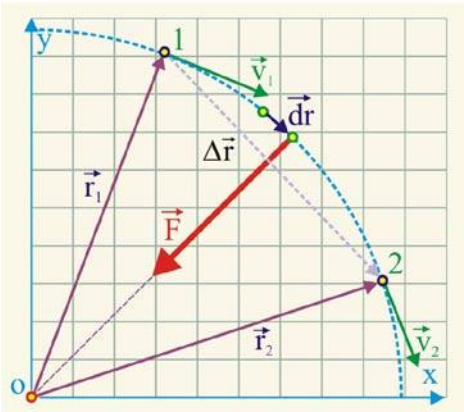


Рис. 1.56. Перемещение свободной точки

Левая часть уравнения, представляющая собой скалярное произведение вектора силы на вектор бесконечно малого (элементарного) перемещения, называется **элементарной работой** силы $\vec{F}$ на перемещении $d\vec{r}$

$$\delta A = \vec{F}d\vec{r} = Fdr\cos(\vec{F};d\vec{r}) \quad .$$

Для определения величины работы на конечном перемещении $\Delta\vec{r}$ левую часть исходного уравнения необходимо проинтегрировать, рассматривая перемещение исследуемой точки из начального положения 1 в конечное положение 2 (точки на траектории выбраны произвольно). Поскольку переменной величиной является радиус-вектор $\vec{r}$, то пределы интегрирования определятся его крайними значениями

$$A_{1\to 2} = \int_{r_1}^{r_2}\vec{F}d\vec{r} = \vec{F}\int_{r_1}^{r_2}d\vec{r} = \vec{F}(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) = \vec{F}\Delta\vec{r} \quad .$$

$$A_{1\to 2} = |\vec{F}|\cdot|\vec{r}|\cdot\cos(\vec{F};\vec{r}) \ ;$$

Уравнения элементарной и полной работы позволяют сделать несколько интересных выводов. Во-первых, величина работы при прочих равных условиях зависит от взаимного направления силы и перемещения, определяется всё величиной

косинуса, если вектор силы перпендикулярен перемещению, то работа силы будет равна нулю.

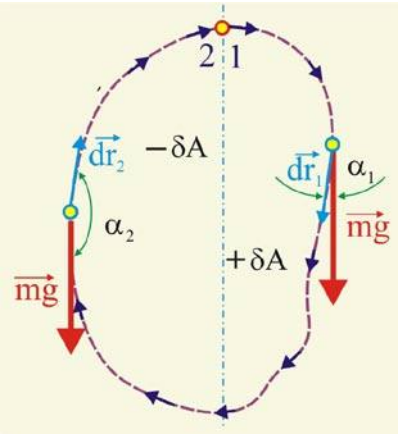


Рис. 1.57. Замкнутая траектория

Во-вторых, работа будет нулевой, так же и в случае перемещения точки по произвольной замкнутой траектории, например при перемещении точки в поле сил тяжести, которые, в первом приближении, вблизи поверхности земли можно считать постоянными по модулю и направлению (рис.1.57).

Правая часть траектории будет характеризоваться углами между векторами силы тяжести и перемещения меньшими $\pi/2$, т.е.

$$\cos\alpha_1 \geq 0; \Rightarrow \delta A \geq 0 \quad .$$

Независимо от вида траектории работа на замкнутых участках будет нулевой.

Силовые поля, обладающие такими свойствами, называются **консервативными**, а действующие в них силы – потенциальными. Таким образом, справедливо утверждение: **работа потенциальных сил не зависит от вида траектории, по которой перемещается наблюдаемая точка**, и если конечная и начальная точки совпадают, то справедливо уравнение

$$\oint_{\ell} \vec{F} d\vec{r} = 0\cdot$$

Это уравнение будет использовано нами в дальнейших рассуждениях об энергетических возможностях разного рода силовых полей. Подводя итоги проделанных математических операций, отметим, что способность сил совершать работу следует непосредственно из второго закона Ньютона.

Из уравнений работы можно установить размерность работы (Н·м ≡ Дж). **Джоуль это работа, совершаемая силой в 1 Н при перемещении материальной точки массы в 1 кг на расстояние 1 м в направлении действия силы.**

Вернёмся далее к уравнению

$$\vec{F} d\vec{r} = m\frac{d\vec{v} d\vec{r}}{dt},$$

и исследует его правую часть. С учётом того что $d\vec{r}/dt = \vec{v}$, перепишем исследуемую комбинацию величин следующим образом

$$m\frac{d\vec{r}}{dt} d\vec{v} = mv d\vec{v} \quad ,$$

и проинтегрируем в пределах изменения скорости от $\vec{v}_1$ до $\vec{v}_2$

$$A_{1\to 2} = m\int_{\vec{v}_1}^{v_2} \vec{v} d\vec{v} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = K_2 - K_1 \quad .$$

Полученное уравнение является математическим выражением теоремы об изменении кинетической энергии, формулировка которой такова: **«Работа, совершаемая силой на некотором перемещении численно равна изменению кинетической энергии на этом же перемещении».**

Как видно из уравнения теоремы, кинетическая энергия является всегда положительной величиной, потому что скорость в уравнении энергии в квадрате, и возникает, применительно к механическим системам, всегда, когда имеет место движение, характеризуемое величиной скорости.

В природе существует многообразие форм движений: механическое, тепловое, электромагнитное и т.д. Одной из основных количественных характеристик всех форм движения служит энергия.

Во всех канонах механики эпохи Ньютона отсутствует понятие энергии, понятие которое замыкает практически все современные физические теории, понятие, играющее роль великого судьи над новыми идеями и методами изучения Мира, чтобы там ни говорили злопыхатели. Вот почему к этому универсальному понятию можно применять принцип «Лезвие Оккама».

Проще всего об энергии можно сказать, что это некое универсальное представление, объясняющее почти всё в физике, химии и даже в биологии. Отчасти это так и есть.

Действительно, энергия и наша жизнь представляют такие хитросплетения, что часто создаётся впечатление их тождественности. Хотя понятие энергии нельзя рассматривать как некий материальный объект, она не более чем придуманная человеком аллегория, имеющая часто математическое выражение.

В самом деле, основа всей нашей цивилизации – топливо, вещества способные выделять энергию. В частности, хлеб наш насущный тоже представляет собой своеобразное топливо, в определённом смысле, такое же, как нефть, уголь, Солнце.

Следуя «жизненной логике» мы неминуемо приходим к сопоставлению понятий энергии и работы, которые следуют из уравнений. «По жизни» известно, что для совершения работы надо обладать энергией. Это, казалось бы, становится очевидным с первого человеческого вздоха. Чтобы впервые наполнить лёгкие воздухом, надо совершить работу, увеличивая их объём. А наше сердце, этот неутомимый маленький насос, от его энергетических возможностей зависит благополучие всего организма, включая мозг.

Остаётся загадкой, почему Ньютон не пришёл к понятию энергии? А может быть он, опередивший в своих мыслях на многие годы остальных людей и оценивший человека, как такового, не захотел дарить этот мощнейший инструмент – энергетический анализ законов, явлений и процессов. Кто теперь это сможет установить? Хотя до понятий энергии и работы, формально было подать рукой, они следовали из всё того же основного закона динамики.

Оказалось, что способность совершать работу появляется и в некоторых неподвижных материальных системах. Было замечено, что деформированные упругие элементы способны совершать работу. Кстати, в древности первые устройства, созданные нашими далёкими предками, использовали упругие свойства сухожилий животных, которые, будучи предварительно скрученными или растянутыми, были способны совершать механическую работу.

Это свойство упругих элементов применялось для метания предметов и в капканах, которые ставили на животных. Как отмечалось выше, вблизи массивных тел часть пространства занята гравитационными силами. Так, например, вблизи поверхности Земли существует поле сил тяжести, кот которые по своим свойствам относятся к категории консервативных.

Если консервативные силы, работа которых не зависит от вида траектории , занимают часть пространства, то говорят **о силовом потенциальном поле**. В частности о силовом поле гравитационных или электрических сил.

Каждой точке пространства занятого силовым полем можно сопоставить некоторую математическую функцию $\mathbf{\text{ৎ}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$, определяемую из следующих физических соображений.

Вид функции П(x,y,z) зависит от характера силового поля. Для поля деформационных сил

$$П = \frac{kx^2}{2};$$

Энергия взаимодействия Земли и тела, расположенного на высоте h над уровнем океана

$$П = mgh;$$

Потенциальная энергия в гравитационном поле планеты

$$П = -G\frac{Mm}{r};$$

Взаимная потенциальная энергия двух точечных электрических зарядов

$$П = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}};$$

Так или иначе, энергия, даже будучи ещё неопределённой конкретно, предполагает тесную взаимосвязь с веществом. Кинетическая энергия возникает при перемещении вещества в пространстве, потенциальная энергия это, по сути, энергия состояния и взаимодействия всё того же вещества.

Рис. 1.58. Левкипп и Демокрит

Над идеей сохранения вещества вероятнее всего начали задумываться натурфилософы Древней Греции во времена легендарного Левкиппа и его гениального ученика Демокрита (рис. 1.58), в V в. до с.л.

Гипотеза о структурном строении материи предполагала, что структурные элементы не могут появляться из ничего и исчезать в никуда. Демокрит(а быть может и Левкипп, потому что их сочинения были перепутаны много раз их же учениками и последователями) по этому поводу говаривал: «Начало Вселенной – атомы и пустота, всё же остальное существует лишь в мнении. Миров бесчисленное множество, и они имеют начало, и конец во времени. И ничего не возникает из небытия, не разрешается в небытиё. И атомы бесчисленны по величине и по множеству, носятся же они во Вселенной, кружась в вихре, и таким образом рождается всё сложное: огонь, вода, воздух, земля. Дело в том, что последние суть соединения некоторых атомов. Атомы же не поддаются никакому воздействию и неизменяемы и неизменяемы вследствие твёрдости».

Затем, как водится у людей, гениальных греков надолго позабыли, хотя использовать свойства энергии преобразовываться из одного вида в другой продолжали, как в Европе, так и в других частях света.

Воевать человечество не прекращало никогда, а даже совсем наоборот. Возникновение трёх новых религий, христианства, мусульманства, буддизма и сохранение в ряде стран «язычества», например на территории нашей Родины, привело к всплеску военных конфликтов невиданных до того масштабов.

К якобы территориальным поводам повоевать с соседями, с началом современного летоисчисления (с.л.) прибавились поводы якобы религиозного характера. На самом же деле во все времена люди конфликтовали друг с другом за энергетиче-

скую гегемонию, облекая стремление к могуществу в благовидные намерения. Чаще всего для оправдания своего военного промысла призывали богов, в лице религиозных адептов, которые естественно же благословляли воинов на религиозные «подвиги».

Так вот, по-прежнему в войнах применялись достижения древних славян, древних китайцев, древних греков и древних римлян в военных технологиях преобразования потенциальной энергии скрученных жил в кинетическую энергию снарядов. Луки, баллисты, катапульты, онагры – вот неполный перечень военных преобразователей одного вида энергии в другой.

От древних славян, древних китайцев, древних греков, халдеев, египтян в наследство были оставлены такие великие изобретения, как ветряная и водяная мельница, боевые колесницы, средства ориентации, астрономические комплексы, металлургические и строительные технологии.

Как известно, по вполне определённым религиозно-политическим причинам темпы развития всех наук, особенно естественнонаучных направлений, резко сдали темпы развития с началом современного летоисчисления.

Первые существенные достижения в фундаментальных науках после мудрой и просвещенной древности связывают с Эпохой Возрождения, которая подарила миру таких гениев как Леонардо да Винчи, Галилео Галилей, Исаак Ньютон, Рене Декарт и многих других достойных представителей рода человеческого.

Одним из таких гениев естествознания, нашим соотечественником, Михайло Васильевичем Ломоносовым (1711–1765 гг.) была конкретизирована идея сохранения вещества.

Он опубликовал в 1745 г. работу «Размышления о причинах тепла и холода», в которой в самом общем виде сформулировал закон сохранения энергии.

Эта работа М.В. Ломоносова (рис. 1.59) была высоко оценена Леонардом Эйлером (1707–1783 гг.), который писал: «Все сии сочинения не токмо хороши, но и превосходны, ибо изъясняют химические и физические материи самые нужные и трудные, кои совсем неизвестны и невозможны были к использованию».

Рис. 1.59. Ломоносов и Лавуазье

Далее, независимо от Ломоносова идею сохранения вещества сформулировал Антуан Лоран Лавуазье (1743 – 1794 гг.). Спустя, практически, сто лет эстафету перехватили немецкие врачи, Юлиус Роберт Майер (1814 – 1878 гг.) и Герман Гельмгольц (1821 – 1894 гг.), которые пытались распространить идею сохранения вещества на понятие энергии, которое начинало в науке обретать более конкретные формы.

Рис. 1.60. Майер и Гельмгольц

Происходило это во многом благодаря успехам молекулярной физики и термодинамики, разделам физики, которые обеспечили дальнейший прорыв человечества в преобразовании тепловой энергии в механическую работу.

Это были наивно-славные времена, когда взвешивали нагретые тела, чтобы установить количество теплорода (флагестона), особой жидкости без цвета и запаха.

Теплород называли ещё «сверхтонкая материя» и «огненная субстанция». От Древних Греков сохранилось убеждение, что тело тем горячее, чем больше в нём находится флагестона, а при соприкосновении с более холодным телом, теплород перетекает из более нагретого тела в более охлаждённое.

Всё по аналогии с законом сообщающихся сосудов, в которых происходило выравнивание уровня жидкости. Однако ещё в XVII в. Ф. Бэкон, Декарт, Ньютон, Гук на основании гипотезы Демокрита о структурном строении вещества приходили к мысли, что тепло является следствием движения этих самых структурных элементов, как потом выяснилось – молекул.

Но, как говорится, идея не созрела. Даже М.В. Ломоносову не удалось убедить своих современников, что идея теплорода может прояснять особенности тепловой энергии только на качественном уровне, например на уровне теплового баланса между горячим и холодным.

Калорическая и экспериментальная физика, применявшая широко методы калориметрии, прямо указывала на необходимость использования именно теплорода.

Однако наряду с результатами калориметрии существовали древнейшие замечания о переходе механического движения в тепло, посредствам трения.

Ведь бессчетное число раз каждый из людей интенсивно потирая ладони, друг о друга, замечали, что их поверхность нагревается, равно как и нагреваются деревянные бруски, перемещаемые друг относительно друга. Сторонники теплорода были уверены, что трение способствует притоку теплорода к поверхности, как это имеет место при электризации тел.

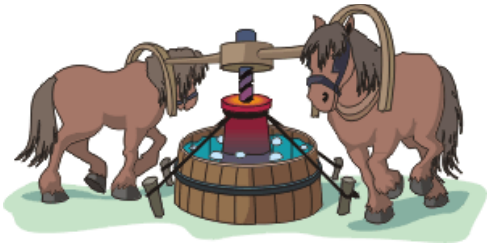


Рис. 1.61. Сверление стволов пушек

Наблюдательный военный инженер Бенжамен Томсон (1753 – 1814), проходя в Мюнхене мимо механических мастерских, где сверлили лошадками (рис. 1.61) пушечные стволы, обратил внимание, что идея теплорода в процессе нагревания ствола при сверлении более чем сомнительна.

Сколько теплорода должно было содержаться в заготовке пушечного ствола, чтобы он в виде пара неделями за время обработки одного ствола выделялся в атмосферу. Томсон провёл эксперимент. Взяв уменьшенную модель ствола, он, в лабораторных условиях, просверлил её, поместив предварительно в калориметр, заполненный водой.

Рис. 1.62. Румфорд

Зная объём воды, её теплоёмкость и измеряя температуру, Томсон вычислил количество выделившегося тепла, т.е. определил тепловую энергию, выделившуюся в процессе эксперимента. Таким образом, в 1798 г. Томсон, ставший за научные достижения графом Румфордом (рис. 1.62), доказал, что причиной выделения тепла, т.е. возникновения тепловой энергии, при высверливании ствола является не теплород, а механическое перемещение сверла относительно ствола, сопровождаемое сильным трением.

Проведя серию экспериментов, Румфорд пришёл к за-

ключению, что теплота является формой движения. Научная мысль, крутнувшись по спирали от Демокрита и Ломоносова вернулась на круги своя, обретя теперь уже количественные характеристики о преобразовании энергии механической в тепловую.

Проверкой идеи Румфорда занялся английский химик Гемфри Дэви (1778 – 1829), которому удалось расплавить два куска льда путем относительного их перемещения друг относительно друга с трением. Дэви однако пришёл к выводу, что всё дело в теплороде, а теплоту надо рассматривать в виде колебательного движения структурных элементов материи. Выводы Дэви поддержал английский физик Томас Юнг (1773 – 1829).

Концепция теплорода продолжала властвовать в термодинамической науке. Несмотря на мнения авторитетов, протестные выступления против теплорода продолжались. Немецкий аптекарь, профессор фармакологии Фридрих Мор, обобщив известные к тому времени эксперименты и теоретические высказывания написал статью «О природе теплоты», которую отправил для публикации в престижный научный журнал «Annalen der Physik». Главный редактор её не принял, посчитав, что материалы не содержат новых идей, хотя Мор убедительно показывал, что теплота является особой формой движения. Можно с уверенностью говорить о том, что официальная наука цепко держалась за устоявшуюся идею теплорода, которая не предполагала формулировку закона сохранения энергии.

На передовой оказались любители, профи отсиживались в тёплых теплородных окопах. Очередной переворот в физике в виде закона сохранения и превращения энергии (этого «Лезвия Оккама» современной науки) совершили: врач Майер, врач Гельмгольц и пивовар Джоуль (рис. 1.63). Каждый из этих удивительных людей вполне заслуживает, чтобы сказать о нём несколько слов.

Рис. 1.63. Джоуль

Начнём рассказ об этих гениальных учёных – любителях с Юлиуса Роберта Майера, родившегося в конце ноября 1814 г. в семье аптекаря. Получив наследное медицинское образование и имея склонность к перемене мест Юлиус стал корабельным врачом, отправившись в долгое путешествие на о. Ява.

Во время почти годичного путешествия из Парижа на остров Майер пришёл к своему открытию. Во время плавания, наблюдая матросов, Майер обратил внимание на то, что по мере приближения к экватору меняется цвет венозной крови.

Майер сделал предположение, что цвет крови меняется вследствие изменения содержания в ней кислорода. Увеличение внешней температуры, по мнению корабельного врача, делало необходимым потреблять большее количество кровяного «топлива».

Такие мнения противоречили устоявшимся представлениям о человеческом организме. Считалось что человеческий организм находится под управлением особого рода таинственной жизненной силы.

Наблюдения Майера показывали, что функции организма находятся в прямой зависимости от внешних условий и даже управляются ими. Именно врачебные наблюдения убедили Майера в том, что функционирование организма человека должно удовлетворять закону сохранения и превращения энергии.

Вернувшись из плавания, Майер написал статью «О количественном и качественном определении сил». Статью в «Annalen der Physik» не опубликовали, потому

что, по мнению главного редактора Поггендорфа, работа была туманна и противоречива. Отчасти так оно и было, однако редактор, сосредоточившись на неточностях формулировок, не заметил целого ряда рациональных выводов автора, которые открывали широкие перспективы развития единого подхода к широкому классу природных явлений.

В частности, Майер утверждал, что возможно объяснить если не все, то многие явления, если рассматривать некоторую первичную силу, которая действует в направлении уничтожения всякого рода разностей: «Таким образом, принцип, согласно которому раз данные силы количественно неизменны, подобно веществам, логически обеспечивает нам продолжение существования разностей, а значит, и материального мира». Эта гениальная фраза, по сути, предопределившая появление закона сохранения энергии, была скрыта от общественности в ящике письменного стола редактора на 36 лет.

Вполне очевидно, что при такой формулировке строгие профессионалы, не напрягаясь, могли найти массу поводов для критики. Во-первых, ключевое понятие «разности» не конкретизировано. Во-вторых, введение в рассмотрение некой универсальной силы, под которой на самом деле, автором понималась энергия, не способствовало расположению читателей к пропагандируемой идее.

По правде говоря, это ещё не было законом, это были подступы к нему. Конечно, сейчас, с позиции современного уровня знаний о предмете, можно сожалеть о том, что рецензенты не догадались, что Майер под универсальной силой имел в виду произведение массы на скорость, т.е. импульс или количество движения.

Обратимся снова к уравнению второго закона Ньютона и внесём массу под знак дифференциала. К этому нет препятствий, если массу полагать величиной, не меняющейся во времени

$$\vec{F} = m\vec{a} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad .$$

Майер, как видно в своих определениях дважды был неточным. Во-первых, сила с позиций механики Ньютона равна не импульсу (количеству движения), а производной импульса по времени, и.е. изменению импульса.

Во-вторых, под силой Майер понимает «энергию движения». Замечательным же является то, что пользуясь спорными понятиями Майер совершенно правильно объясняет процессы протекающие при неупругом соударении встречно движущихся шаров.

Он рассматривает в своей статье случай, когда навстречу с одинаковыми скоростями катятся неупругие шары одинаковой массы, которые после столкновения останавливаются. Майер объясняет этот эффект не бесследным исчезновением первичной силы, а её преобразованием.

Майер писал «Образовавшаяся теплота пропорциональна исчезнувшему движению». В опубликованных позже научно-популярных брошюрах Майер изложил свои взгляды на энергетический смысл человека, как одного из объектов Природы: «Новому времени выпало на долю к силам старого мира – движущемуся воздуху и падающей воде — присоединить еще одну новую силу.

«Этой новой силой, на действия которой с удивлением смотрят люди нашего столетия, является тепло». Майер первый отметил, что исторической миссией человека является использование сил природы для получения движения.

Майер далее утверждал: «Тепло есть сила: оно может быть превращено в механический эффект», что в современном изложении может звучать так: «Тепло есть энергия, оно может совершать механическую работу».

В своих научно-популярных откровениях Роберт Майер затрагивал много насущных и в сегодняшнее время задач. Рассматривая «химический тип силы» Майер обращается к энергетике Солнца заявляя, что поток солнечной силы, «есть заводящая пружина, которая поддерживает в состоянии движения всех происходящих на Земле деятельностей».

Затронул Майер в своих рассуждениях и космическую роль земных растений: «Природа поставила перед собой задачу поймать на лету льющийся на Землю свет и накопить самую подвижную силу, приведя ее в неподвижное состояние. Для достижения этой цели она покрыла земную кору организмами, которые, живя, поглощают солнечный свет и при использовании этой силы порождают непрерывно возобновляющуюся сумму химических различий. Этими организмами являются растения».

В 1848 г. Майер опубликовал ещё одну брошюру «Динамика неба в популярном изложении», где впервые в истории науки поставил вопрос о природе солнечной энергии, усомнившись в бытующем в то время мнении о химическом механизме процессов, протекающим на Солнце.

Однако Майер, так же как и его современники не подозревал о существовании энергии расщепления атомов и ядер, поэтому механизм восполнения энергии учёный объяснил с механических позиций.

Метеориты, бомбардируя, по мнению Майера, поверхность Солнца, сообщали ему дополнительную энергию, что собственно и обеспечивало баланс между излучаемой и приобретаемой энергией.

Свою идею о сохранении и преобразовании энергии настойчивый Майер опубликовал в химическом журнале, который мало кто из физиков читал. В этой связи этот важнейший закон всех времён и народов независимо от Майера «открыли» Джоуль и Гельмгольц, тоже не очень профессиональные физики. Кормились они, по крайней мере, не физическими исследованиями.

Экспериментальное доказательство идей Майера предоставил, не подозревая этого, манчестерский пивовар Джеймс Прескотт Джоуль, родившийся в декабре 1818 г. Джоуль был образованным владельцем достаточно крупного пивоваренного производства. Он интересовался науками, был широко образован и в свободное от организации пивоварения время проводил многочисленные эксперименты в своей хорошо оборудованной физической лаборатории.

Наряду с экспериментами Джоуль занимался конструированием и не мало в этом преуспел, особенно в создании новых типов электроизмерительных приборов. Используя разработанные им приборы и оригинальные методики Джоуль в 1841 г. количественно установил тепловой эффект электрического тока, показав, что количество тепла пропорционально квадрату силы тока.

Однако Джоуль был не первым. Ранее эксперименты по определению теплового действия электрического тока провёл Эмилий Христофорович Ленц, профессор Петербургского университета, но свою работу «О законах выделения тепла гальваническим током» он опубликовал только 1843 г.

Статья Ленца была более полной, она содержала два основных вывода: нагревание проводника тока пропорционально его сопротивлению; нагревание пропорционально квадрату силы тока. В этой связи в науке этот закон по праву существует как «закон Джоуля – Ленца».

Своё дальнейшее научное творчество Джоуль посвятил определению механического эквивалента тепла. Эта тема была настолько актуальной, что была создана специальная комиссия, в состав которой входили именитые учёные того времени Томсон, Максвелл, Джоуль и другие исследователи.

Джоуль на заседаниях комиссии последовательно настаивал на возможности преобразования тепла в механическую работу исходя из кинетической теории теплоты. Джоуль стал одним из основоположников кинетической теории газов.

Следующим участником создания закона сохранения и преобразования энергии стал один из самых знаменитых учёных второй половины XIX в. Генрих Гельмгольц, родившийся в августе 1821 г. в семье учителя Потсдамской гимназии.

Научную карьеру Гельмгольц начинал в области медицины. Его первая диссертация была посвящена особенностям строения нервной системы человека, в которой Гельмгольц доказал существование нервных кластеров – нейронов.

При подготовке к экзаменам на звание военного врача, в Берлине, Гельмгольц познакомился с Густавом Мангусом, который пригласил молодого человека поэкспериментировать в своей домашней физической лаборатории. С этого и началась карьера Гельмгольца, как естествоиспытателя.

Вокруг Мангуса объединились несколько молодых талантливых немецких учёных, которые в последствии организовали Немецкое физическое общество. Общество издавало научный журнал «Успехи физики». Первой научной публикацией Гельмгольца была статья на стыке физики и медицины «О расходовании вещества при действии мышц».

Время, в котором жил Гельмгольц, характеризовалось повышенным интересом общества к научным достижениям. Интересоваться наукой для всякого человека, считающего себя культурным, было модно. В 1847 г. Гельмгольц опубликовал обзор по теории физиологических тепловых явлений, а на заседании Берлинского физического общества сделал доклад «О сохранении силы», где, так же как и Майер, от физиологии перешёл к физической стороне явлений, а далее к закону сохранения и преобразования энергии.

Оформив доклад в виде статьи, Гельмгольц отправил статью в «Annalen der Physik», однако всё тот же Поггендорф, главный научный редактор «Анналов физики» статью к публикации не принял, статья Гельмгольца, так же как и работа Майера вышла отдельной брошюрой в 1847 г.

Размышляя над законом сохранения энергии Гельмгольц в качестве отправной точки использовал отрицание PERPETUUM MOBILE, которое поддерживалось ещё Леонардо да Винчи.

Гельмгольц считал идею невозможности создания вечного двигателя эквивалентной принципу «все действия в природе можно свести к притягательным и отталкивательными силам».

Гельмгольц, рассуждая о природных процессах, писал: «Явления природы должны быть сведены к движениям материи с неизменными движущими силами, которые зависят только от пространственных взаимоотношений».

Закон сохранения Гельмгольц сформулировал следующей фразой: «Количество работы, которое получается, когда тела системы переходят из начального положения во второе, и количество работы, которое затрачивается, когда они переходят из второго положения в первое, всегда было одно и то же, каков бы ни был способ перехода, путь перехода или его скорость».

В работах Гельмгольца, как считают историки науки, впервые в качестве «универсальной силы» фигурирует величина $1/2(mv^2)$, которую он называл «количество живой силы» и утверждал существование закона её сохранения для консервативной механической системы: «Если любое число подвижных материальных точек движется только под влиянием таких сил, которые зависят от взаимодействия точек друг на друга или которые направлены к неподвижным центрам, то сумма живых сил всех взятых вместе точек останется одна и та же во все моменты вре-

мени, в которые все точки получают те же самые относительные положения друг по отношению к другу и по отношению к существующим неподвижным центрам, каковы бы ни были их траектории и скорости в промежутках между соответствующими моментами»

Как видно из краткого обзора создания закона сохранения энергии, последователи идей Левкиппа, Демокрита и Ломоносова шли разными путями: Майер, начав с медицинских наблюдений, распространил их на прочие природные явления, Джоуль искал подтверждения своим догадкам в тщательных измерениях соотношений между механической работой и теплом, Гельмгольц в основу своих рассуждений положил теории великих механиков XVIII в.

Несмотря на то, что два врача Майер и Гельмгольц, а так же пивовар Джоуль шли к цели разными путями, каждый, встречая ожесточённое сопротивление официальной науки, итог был предрешен общей тенденцией развития человеческой цивилизации.

Для выполнения миссии человечество должно было осваивать новые виды энергии и более прогрессивные способы её преобразования. Имея исключительно энергетическую сущность, человек должен был овладеть азбучными истинами поведения энергии.

Покажем возможности закона сохранения энергии на простейшем примере наклонной плоскости, которую в частности использовали в своих исследованиях Галилео Галилей, Гельмгольц и Джоуль.

Как было показано выше, кинетическая энергия, являющаяся энергией движения, в механике не является единственной.

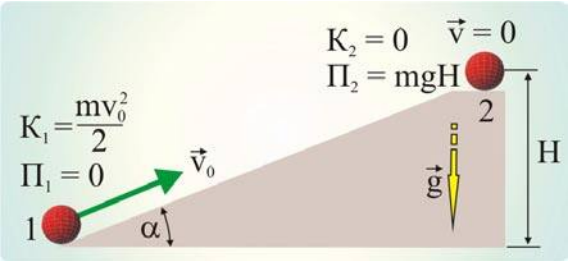


Рис. 1.64. Движение тела по наклонной плоскости

Рассмотрим такой пример: по наклоненной под углом α к горизонту гладкой (без трения) плоскости поднимают тело массой m (рис. 1.64), сообщая ему в начальный момент времени скорость $\vec{v}_c$. Скорость сообщается такой, чтобы шар достиг точки 2 и остановился, истощив свою кинетическую энергию.

Поднявшись в верхнюю точку плоскости, шар останавливается $(\vec{v}_2 = 0)$, но энергия его не становится равной нулю, потому что начальная кинетическая энергия расходуется на совершение работы против силы тяжести.

Оказавшись на высоте H, шар стал обладать потенциальной энергией, которая возникла вследствие взаимодействия с Землей. Если шар подтолкнуть со ступеньки, то он, двигаясь вниз по наклонной плоскости, в конце спуска в случае отсутствия сопротивления со стороны воздуха и трения приобретет скорость $|\vec{v}_0|$.

Для этого, во многом идеализированного случая закон сохранения механической энергии, можно математически записать следующим образом:

$$K + \Pi = const \quad ,$$

т. е. **сумма кинетической и потенциальной энергии для консервативной механической системы остается постоянной**

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgH \ .$$

Уравнение, по сути, является математической записью формулировки Гельмгольца в современной научной терминологии.

Естественно, что для реального случая, когда будут действовать силы сопротивления со стороны среды, в которой протекает движение и силы трения, в уравнении необходимо учесть работу, производимую против этих сил

$$\frac{mv_0^2}{2} - \mu mg\frac{H\cos\alpha}{\sin\alpha} = mgH \qquad .$$

Как видно, изменение энергии может проявляться как изменение состояния движения (кинетическая энергия), как изменение взаимного положения частей данной системы или ее расположения по отношению к другим телам (потенциальная энергия).

Исключений из этого фундаментального закона к настоящему времени, несмотря на настойчивые и многочисленные попытки не обнаружено. Энергия является универсальной величиной, «Лезвием Оккама», значение которой для рассматриваемого объекта не меняется при любых его превращениях: механических, физических, химических, молекулярных, атомных и даже ядерных.

Ричард Фейнман в своих знаменитых лекциях по физике проводит аналогию между законом сохранения энергии и путешествием черного слона по шахматной доске: как бы ни развивалась партия, сколько бы ни было произведено ходов, слон все равно окажется на черной клетке.

Сохранение энергии наблюдается не только в механических процессах. Закон справедлив и в электрических, магнитных и тепловых процессах..

Понятие «энергия» в его теперешнем смысле возникло около 120 лет назад, хотя сама сущность использовалась человеком с самых ранних этапов его осмысленного существования. Человек, проявляя свою изначальную сущность, и Вселенское предназначение последовательно осваивал для своего дальнейшего развития всё новые и новые виды энергии. Принято для удобства анализа длительный исторический процесс освоения различных видов энергии делить на четыре периода.

Рис. 1.65. Ветряная мельница

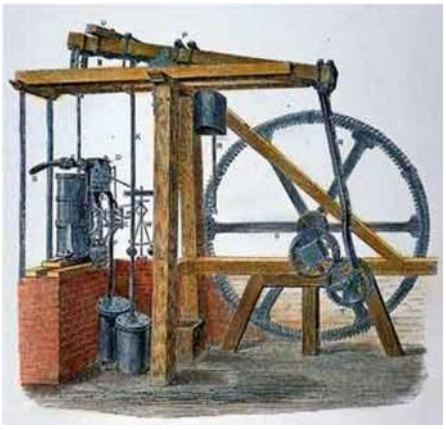


Рис. 1.66. Паровая машина Дж. Уатта

Первый период начался с незапамятных времен и продолжался до V–VII вв. н. э., когда человек обходился собственной мускульной силой и мускульной силой животных, источником которой являлась пища, т. е. химическая энергия растительного и животного происхождения. Кроме того, использовалась пока еще не осознанная до конца тепловая энергия, получаемая от Солнца и открытого огня.

Второй период, охватывавший VIII–XIII вв., ознаменовался изобретением водяного колеса и ветряных крыльев. Часть полезной работы стала выполняться за счет преобразования энергии ветра и воды. На рис. 1.65 приведена фотография типичной ветряной мельницы, в которой происходило преобразование энергии воздушного потока во вращательную энергию рабочего колеса.

Третий период (рис. 1.66) часто в популярной литературе называют периодом «огненной силы». Человек научился использовать в своих целях энергию невозобновляе-

мых источников. Этот период является наиболее динамичным из всех. Изобретение тепловых машин, нашествие которых на человечество продолжается и теперь, постоянно изменяло уровень потребляемых энергий. Доступность ископаемого сырья и его относительная дешевизна, можно сказать, избаловали человечество, которое мало заботилось о совершенстве своих энергетических машин.

Четвертый период, несколько отстающий по времени от третьего периода (XVIII – XIX вв.) был связан с использованием электрической энергии.

Пятый период начался в 1943 г., когда очередь дошла до атомной энергии. Третий и четвертый периоды в настоящее время протекают одновременно.

Рис. 1.67. Атомная энергия

Прогнозируется наступление пятого периода, когда ядерная энергетика перерастет лабораторный и бомбовый возраст и станет безопасной при использовании в транспортных средствах различного назначения, а не только надводного и подводного.

Длительное время даже в серьёзных научных публикациях энергия, мощность и работа не выделялись в самостоятельные понятия. Как показано выше, использовалась универсальная величина – «сила», смысл которой трактовался в зависимости от конкретных условий. Отголоском этого периода стала традиция измерять мощность в лошадиных силах, и оставить, как дань исторической памяти об отцах – основателях в электродинамике «электродвижущую силу», хотя понимается под этим энергия.

Закон сохранения энергии, записанный первоначально для консервативных механических систем, был далее распространён на термодинамические, электромагнитные, биологические, химические и многие другие, известные человеку процессы изменения чего-либо, от взаимного расположения планет и до расщепления атомного ядра.

Однако победоносное шествие закона сохранения и преобразования энергии, этого «лезвия Оккама» проходило не без трудностей. Во все времена существования закона далеко не все естествоиспытатели принимали этот закон с распростёртыми объятиями. Всегда находились целые научные школы, которым этот закон мешал осуществлять свои «гениальные» планы облагодетельствования человечества.

Среди противников и сомневающихся преобладали желающие получать энергию из ничего, так сказать «на шару». Даже в наше время имеется достаточно большое число людей занятых поисками ситуаций, в которых бы закон сохранения энергии не соблюдался. Пока Бог миловал официальную науку от серьёзных потрясений по этому поводу, не зыблем пока закон, являющийся основным критерием разумности.

1.11. По здравому смыслу и вопреки ему

Развитие нынешней человеческой цивилизации с самых ранних её периодов, уходящих в неизведанные пока временные глубины, и до настоящего времени, протекало и протекает исключительно благодаря заложенному изначально в каждом человеческом индивидууме стремлении к преобразованию энергии.

Почти все действия человечка и человечества во все времена его осознанного существования были направлены на развитие методов и средств преобразования энергетических потоков, начиная с «приручения» открытого огня и кончая «обузданием» ядерной энергии.

Осваивая очередной источник энергии, человек всё более усиливал своё влияние на окружающую среду, включая живую материю. Однако не бывает правил без исключений.

Одним из таких отклонений от генеральной линии развития преобразовательных способностей является неистребимое, вопреки здравому смыслу, желание открыть вечный неисчерпаемый источник энергии **(PERPETUUM MOBILE).** Исходя из предназначения человека в Природе, стремление заполучить генератор вечного движения, противоестественно по нескольким причинам.

Во-первых, как показывает опыт досягаемых прошлых поколений, Мир представляет собой саморегулирующуюся систему, способную препятствовать развитию отдельных областей интеллектуальной деятельности человека, провоцирующих нарушения равновесия.

Древние Греки Левкипп и его ученик Демокрит в V в. до с.л. по совершенно до конца не выясненным причинам прониклись идеей атомизма и высказали гипотезу о структурном строении материи. Однако гениальнейшая догадка оказалась не ко времени. Её быстро забыли. Идею атомизма цивилизация востребовала только в эпоху освоения энергии пара в XVIII в. с.л.

Как только учёные вспомнили откровения Левкиппа и Демокрита, в естествознании началась интенсивные попытки штурма нового энергетического источника, использующего расщепление атомного ядра. Как известно, попытки оказались более чем успешными.

Аналогичная ситуация сложилась с изобретениями Леонардо да Винчи. Подводные лодки, парашюты, вертолёты и т.п. получили распространение много позже смерти великого естествоиспытателя Эпохи Возрождения. Даже если предположить, что в каком-то виде вечный (без абсолютизации понятия) двигатель возможен, то его распространение стало бы способным нарушить достаточно хрупкое равновесие нашего Мира.

Во-вторых, с появлением PERPETUUM MOBILE неминуемо наступит интеллектуальный тупик в развитии человечества. Получив в своё распоряжение неограниченную энергию на уровне каждого индивидуума в частности и государств, в целом, у человечества исчезнет мотивация к совершенствованию. Либо человечество досрочно покончит само с собой, либо превратится в энергетически обеспеченные растения, что отодвинет конец цивилизации на некоторое время.

В-третьих, в современном мире сложились определённые политические системы, в которых материальное управление человеческими отношениями осуществляется с помощью регулирования энергетических потоков разного содержания и

свойства. Самыми эффективными экономическими рычагами управления, кроме накачивания мировой экономики необеспеченными материальным эквивалентом долларами, являются нефтяная и газовая трубы.

Вся планета «подсажена» на углеводородную иглу. Поскольку большинство мировых элит и людей, владеющих богатствами, в большей или меньшей степени связаны с добычей, транспортировкой, распределением и потреблением углеводородного топлива, то всякие попытки изменения структуры и способов обогащения этой относительно немногочисленной, но влиятельной части человечества встречали, встречают и будут встречать ожесточённое неприятие.

Источник вечного движения чисто гипотетически представляет явно выраженную угрозу сложившейся системе. Но сама идея может быть использована системой ей же во благо.

Показательный пример. Как вы полагаете, почему транспорт с электрическим приводом с таким трудом пробивается к массовому потребителю? В частности, потому что в средствах массовой информации циркулирует наглая и абсурдная по своей сути отмазка о сравнительно низкой экономической эффективности электрических силовых устройств.

Напомним, что двигатели внутреннего сгорания имеют в максимальном варианте КПД не превышающий $\eta \approx 43$ %, а для современных серийных электродвигателей $\eta \approx 85$ % является рядовым явлением.

В частности, утверждается, что широкому распространению электромобилей препятствует отсутствие необходимых аккумуляторов электрической энергии. Как-то странно получается. В тех отраслях использования аккумуляторов, которые не пересекаются с потреблением углеводородов, технологический прорыв на лицо.

Вспомним мобильные телефоны десятилетней давности. Их можно было с успехом использовать вместо гантелей при утренней разминке, а ведь до 90 % массы приходилось на аккумуляторные батареи. И хватало их на три часа работы в режиме ожидания. А что теперь? Каждый вертел в руках аккумулятор от современного мобильного телефона и обратил внимание на его компактность и достаточную энергоёмкость.

Применительно же к автомобилям, которые в настоящее время потребляют львиную долю переработанной нефти, таких устройств воспроизвести нельзя. На самом деле так не бывает. Если покатил технологический прогресс в какой-то отрасли, то его остановить можно только создавая искусственные препоны, что собственно и происходит последние 50 лет.

Известны в изобилии случаи, когда стоящие патенты, связанные с альтернативными двигателями, скупались массово через подставных лиц транснациональными компаниями и запирались в сейфы с целью препятствия их практической реализации.

С PERPETUUM MOBILE же ситуация несколько иная. Поскольку его практическая реализация нереальна, то с целью поддержания установившегося порядка торговли энергоносителями идею создания можно пиарить по полной схеме.

Это конкретно отвлекает внимание обывателей от действительно существующих реалий с альтернативными двигателями и переводит стрелки на совершенно других людей.

Прошвырнитесь по Интернету, на любом поисковике этой тупиковой ветви научно-технических изысков посвящено более миллиона страниц! Содержание иных сайтов, скажем прямо, не для слабонервного юного обывателя с неокрепшей естественнонаучной и технической психикой.

Судя по публикациям, вечные двигатели в изобилии уже давным-давно созданы и успешно работают, но существуют профессиональные сообщества, которые всячески мешают внедрению технологий, способных осчастливить всех без исключения людей невиданно.

И представьте себе, что роль мракобесов – гонителей отведена представителям официальной науки, как академической, так и университетской. Эти академики и профессоры, включая лауреатов всех мастей, постоянно выступают со своими досужими заумными заявлениями и доказательствами с целью дискредитации светлой идеи построения энергетического благоденствия человечества.

В средствах массовой информации в тоже время от времени устраивают «охоту на ведьм» показывая простым людям, как учёные из противности (сам не гам, и другим не дам) делают всё, чтобы вечно работающие сами по себе устройства не появились в скобяной лавке по очень доступной цене. Абсурд конечно, но воздействие на толпы добротно недообразованное население во всех странах, включая и нашу Родину, действует безотказно.

На самом деле с динамикой прогресса современной цивилизации не всё так просто. Применение к оценке объёма знаний эволюционных методов выявило целый ряд несоответствий теоретических предпосылок и реалий нашего многогранного мира.

По мнению подавляющего числа современных исследователей истории естествознания и техники начало современного летоисчисления помимо прочего ознаменовалось возникновением, практически одновременно (в историческом масштабе, разумеется) сразу трёх новых религий.

Возникли они исключительно для изменения существовавших в то время государственных устройств, в сторону большей абсолютизации власти и рационализации процессов управления.

События, последовавшие сразу после возникновения религий, дают основание предположить, что они являются своеобразным инструментом саморегуляции.

Самоутверждение раннего Христианства в Европе сопровождалось невиданными по масштабам войнами и жестокими истреблениями знаний накопленных многими языческими поколениями.

Цивилизация стараниями христианской церкви, которая в целом была сильнее государственной власти, оцепенела, затормозилась в своём стремительном развитии до начала Эпохи Возрождения. По-разному можно оценивать взаимодействие науки и религии. Негативные оценки всем хорошо знакомы. Но на процесс взаимодействия можно взглянуть и с другой стороны.

Допустим, что темп освоения новых источников энергии, взятый во времена Древней Греции сохранился бы и широко внедрённые водяные и ветряные двигатели получили бы своё логическое продолжение и развитие.

В таком варианте развития событий, уровень знаний и технологий, соответствующих освоению ядерной энергии наступил бы в конце XI в. с.л. т.е. до времен, когда Васко да Гама только собирался обогнуть Африку, а португальские мореплаватели ещё не открыли остров Мадагаскар.

Представляете атомное оружие в распоряжении испанских конкистадоров в Южной Америке. Они с обычными мушкетами практически полностью истребляли целые индейские анклавы.

А как вам танки, самолёты и взрывчатые вещества во времена крестовых походов? Есть мнение, что появление агрессивных по отношению к интеллектуальному творчеству религий способствовало снижению темпа освоения энергетических источников.

Запреты, налагаемые на процессы творчества, тормознули общее интеллектуальное развитие вплоть до Эпохи Возрождения. Практически 14 веков благодаря стараниям церкви прожила цивилизация с Аристотелем, официально полагая Землю неподвижной и плоской.

Именно в средневековый период, когда было запрещено даже размышлять о совершенствовании оставленных предками ветряных и водяных мельниц, возникло неугомонное до настоящего времени племя изобретателей PERPETUUM MOBILE.

Примерно в это же время появились тоже преследуемые церковью алхимики. В начальные периоды своего существования радетели вечного движения опирались на достижения великих механиков античности, так же как и алхимики, исходные знания получили из трудов Древних Греков и Римлян.

В отличие от античных естествоиспытателей в канву теоретических рассуждений средневековых учёных – отшельников вплетались суеверия, магические ритуалы, мистические толкования непонятных явлений и фактов окружающей действительности.

Средневековые мистики, к которым, несомненно, относились теоретики и изобретатели PERPETUUM MOBILE, а так же и алхимики, по большому счёту, были скорее атеистами, чем верующими людьми. Они не склонялись к абсолютизации божественного проявления в обыденной жизни.

В принципе всякую религию тоже можно рассматривать как некое мистическое представление об устройстве Природы. Естественнонаучные утописты, теоретики вечного движения и алхимических воззрений, природные и сверхъестественные явления не делили в отличие от теологов на мирские и на божественные.

Следствием такого подхода явилось отождествление Бога и Природы. В Природе вёлся поиск мистических связей между явлениями, которые бы могли открыть человеку, в конечном счете, новые энергетические возможности или вещества с необычными свойствами.

Мистицизм распространялся не только на предметы исследований, но и на всю окружающую действительность. Практически все объёкты живой и не живой материи рассматривались как воплощение, какой либо сверхъестественной идеи.

Особенно популярно было наделять мифическими, в частности, лечебными свойствами драгоценные камни, металлы и прочие кристаллические структуры.

Так, например, среди механиков – утопистов, и алхимиков было принято считать, что естественные магниты имеют душу и обладают уникальными лечебными и защитными свойствами.

Небезызвестный придворный врачеватель Гильберт (1544 – 1603 гг.) потчевал английскую королеву Елизавету толчёным магнитом, пока ей не стало совсем дурно. Это печальное обстоятельство, не сочетающееся с общепринятым мнением, привлекло внимание эскулапа, который, всерьёз занявшись магнетизмом, открыл магнитное поле Земли.

Среди большинства врачей бытовало мнение, что рубин способен, ввиду особых сверхъестественных свойств изгонять из тела больного лихорадку и ещё целый ряд недугов.

Считалось, что аметист способен защитить человека от чрезмерного опьянения и облегчать утреннее коматозное состояние. В средневековых фолиантах написано, что некоторым помогало.

В такой атмосфере симбиоза религии и мистики естественнонаучные устремления людей всё больше смещались в сторону мистического полюса. Алхимия всё больше доминировала над химией, метафизика превалировала над физикой. Фило-

софия превращалась в теософию, науку, претендующую на раскрытие особых божественных тайн.

Обыденным распространённым явлениям приписывали иррациональные свойства. В такие обстоятельства как нельзя лучше вписывались идеи о воспроизводстве источников вечного движения.

Основной алхимической идеей, по большому счёту, считалась идея вечности, сопровождаемая вечным движением. В этой связи, очевидно, именно в недрах алхимических лабораторий выкристаллизовалась уверенность в реальной возможности построения механизма, являющегося неистощимым источником энергии, которую затем можно превращать в работу. Другими словами, PERPETUUM MOBILE, по мнению некоторых средневековых естествоиспытателей, символизировал идею непрерывности и вечности.

Несмотря на то, что ни одной действующей модели вечного двигателя в те средневековые времена не существовало, находились «теоретики вечного движения», которые писали трактаты по методике конструирования таких аппаратов.

Не следует думать, что идея вечного движения оставила умы пылких патриотов сразу при наступлении просвещённого времени Эпохи Возрождения.

Идея вечного движения не угасла и после того как была осознана всеобщая значимость закона сохранения энергии. Во все времена идея открытия принципов построения реальных PERPETUUM MOBILE занимала не только безграмотных романтиков, но и известных в наше время учёных мужей.

Английский физик Роберт Бойль (1627 – 1691 гг.), один из создателей молекулярной физики, считал, что на основе процессов брожения можно создать вечный двигатель. Он описал свои наблюдения в сочинении «Подлинное описание одной странной самопроизвольно движущейся жидкости» где обстоятельно и со многими подробностями описывает сложные приготовления по созданию своеобразного физико-химического источника движения и его удивительное поведение.

В статье говорится, что некий учитель математики продемонстрировал ему сосуд в котором уже длительное время не прекращалось движение специально полученной химическим путём жидкости.

Бойль, с разрешения изобретателя, поместил этот сосуд с чудо жидкостью в своей лаборатории и обнаружил, в частности, следующее: «Движение этой странной жидкости было не просто переменным, но порою даже вихревым.

Чтобы убедиться в этом, я иногда бросал на поверхность жидкости маленькие кусочки соломы или частички какого-нибудь другого легкого материала, причем эти предметы каждый раз моментально отбрасывались к другой стороне сосуда.

Чтобы лучше рассмотреть это вихреобразное движение, я несколько раз снимал с поверхности довольно большие порции пены. Я имел возможность также наблюдать вихревое движение в средней части медленно образующихся полосок жидкости, причем все это продолжалось даже после полного ее охлаждения».

Описание заканчивается описанием того, как в один из дней сосуд лопнул, и таинственная жидкость из него вытекла. Сенсации не состоялось. Очевидно, Бойль наблюдал одну из продолжительных химических реакций, скорее всего процесс брожения.

Начало эпохи Возрождения ознаменовалось великими научными открытиями в астрономии, физике, математике, химии, биологии и других естественных науках.

Это обстоятельство заставило и христианскую церковь пересматривать свои взгляды на основы мироздания. Открытия Николаса Коперника, Галилео Галилея, Исаака Ньютона и других титанов научной мысли заставили теоретиков Христианства по-новому посмотреть на идею вечного движения.

До Эпохи Возрождения религиозные христианские каноны низводили человека до положения раба, которому не дано даже отдалённо мыслями и деяниями приблизится к промыслу Божьему. Достаточно вспомнить историю с Вавилонской башней, когда одни намерения о построении расценивались как гордыня непомерная и недопустимая, недостойная статусу рабов, хоть и сотворённых по образу и подобию.

После великих открытий ситуация поменялась. Церкви пришлось охмурять паству в совершенно новых условиях. Признание идеи вечного движения, по мнению теологов, могло послужить своеобразным мостиком между религиозной догматикой и научными реалиями. Изобретение PERPETUUM MOBILE стало рассматриваться, как богоугодное стремление чад быть похожими на своего всемогущественного создателя.

Позиция религии по отношению к проблеме вечного движения была беспроигрышной. В те славные времена гениев –одиночек, в науке снова стали популярны созерцательные методы античных натурфилософов, когда научные идеи оценивались более высоко, чем эксперимент.

А уж идей на предмет вечного движения можно было придумать сколько угодно и бесконечно долго спорить на предмет возможности создания таких конструкций. А такие мелочи как законы сохранения применительно к PERPETUUM MOBILE можно и не замечать.

Таким образом, в силу многих обстоятельств с совершенно разными целями идея вечного движения искусственно поддерживается, подогревая естественное стремление человека к максимально эффективному получению и преобразованию различных видов энергии.

Всякая история имеет своё начало, продолжение и окончание, правда не всегда удаётся установить точные временные и пространственные координаты возникновения того или иного события, да и окончания зачастую бывают размыты.

Временами случается так, что в прошлом одно и то же явление или событие происходит практически одновременно в нескольких, далеко отстоящих друг от друга местах. Причём события планетарного масштаба.

Мы уже упоминали про возникновение культурного земледелия и технологии получения бронзы. Много чего непонятного для нас происходило в прошлом, отчасти из-за того, что утрачены важные сведения, а отчасти из-за умышленных стараний самих людей по искажению исторической объективности.

Все разделы истории пишутся людьми, живущими интересами своего времени и находящимися в зависимости от более сильных личностей и обстоятельств.

Взять, к примеру, отечественных летописцев всех времён и народов. Как они могли быть объективными, если находились в услужении либо церковных, либо военных, либо государственных руководителей, насаждающих определённую идеологию. Естественно, что все описываемые события преломлялись через доминирующую государственную или религиозную идею. О какой объективности тут может идти речь. Только сопоставление как можно большего числа источников даёт теоретические предпосылки к установлению истины.

История PERPETUUM MOBILE, как и все прочие значимые естественнонаучные события теряется в глубине веков. Невозможно однозначно указать где, кто и когда впервые упомянул об идее вечного движения. Во-первых, не все древние мудрецы записывали свои откровения.

Во-вторых, раньше, так же как и сейчас, было принято особо важные теории и изобретения скрывать от посторонних глаз и ушей, чтоб враги не могли воспользоваться знаниями во вред.

Под руководством незабвенного Архимеда из Сиракуз (287 – 212 гг. до с.л.) во время осады города жители успешно использовали целый ряд сделанных им наступательных и осадных орудий, но ни одно из них не досталось Марцеллу, предводителю Греков. Все диковинные механизмы и их описания были уничтожены обороняющимися соотечественниками Архимеда, а сам он был убит одним из римских легионеров.

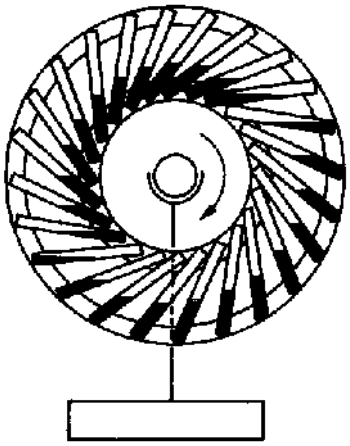


Рис. 1.68. Один из первых вариантов вечного двигателя [9]

В литературе, посвящённой истории науки и техники принято считать, что одно из первых упоминаний о PERPETUUM MOBILE встречается в трудах индийского мыслителя, математика, физика, астронома и поэта Бахаскары.

Примерно в 1150 г. с.л. Бахаскара написал стихотворение, в котором он упоминает о необычном колесе с прикреплёнными в качестве спиц, сосудов, заполненных жидкостью, предположительно ртутью (рис. 1.68).

О такой же конструкции говорится в арабских рукописях XVI в. с.л. Ранние описания PERPETUUM MOBILE поражают соей лаконичностью и неподтверждённой убеждённостью.

Так, например, Бахаскара принцип действия двигателя описывает так: «Наполненное таким образом жидкостью колесо, будучи насажено на ось, лежащую на двух неподвижных опорах, непрерывно вращается само по себе».

Следует отметить, что индийские и арабские источники сообщают не о проектах устройств, а о действующих якобы образцах, виденных ими воочию. Вращение колеса, по мнению авторов устройства, происходит вследствие разности моментов сил тяжести относительно оси вращения колеса.

Насколько это известно теперь, понятия момента, так же как и самих механических сил существовали в научной литературе того времени в весьма завуалированном виде. Дело в том, что только в X или XI в. с.л. аль Бируни перевёл на один из древнеиндийских языков, санкрист «Начала» Евклида и «Амальгест» Птолемея.

То есть, теоретических обоснований конструкции ожидать маловероятно. Многие конструкции ранних PERPETUUM MOBILE были основаны на вращении различного рода колёс, что не является удивительным. Наблюдения на бытовом уровне показывали, что для перемещения груза на колёсной телеге необходимо либо впрячь в телегу животное, либо впрячься самому, потому что только вращение колеса вокруг оси способно организовать движение. Естественное желание организовать движение без участия постороннего источника энергии. Кроме того, колесо, круг было символом совершенства.

Многие народы в течение нескольких тысячелетий поклонялись Солнцу, отождествляя его с высшим естественным божеством. В этой связи следует упомянуть наших далёких предков – древних славян, для которых круг являлся магическим символом, подобным главному богу – Яриле.

Древние Славяне – Арии ввиду изменений климата с Севера переселились в Индию, принеся живущим там племенам свою развитую культуру и передовые для того времени знания.

Более поздние мыслители, начавшие изучать движение на постоянной основе как, например, Аристотель и его многочисленные последователи, считали круговое движение совершенным.

Немаловажно, что вращение колеса можно рассматривать как некий периодический, т.е. повторяющийся процесс, а периодические процессы играли в жизни людей важную роль. Взять хотя бы наглядно различимые процессы смены для и ночи, а так же времён года.

Собственно одним из основных канонов, определяющих поведение людей во времени стали календари, которые во все времена создавались на основе анализа периодических природных процессов.

Вначале это были, как правило, лунные календари, а потом они заменялись более точными – солнечными, но в основе тех и других лежали наблюдения за периодическими процессами.

Для количественной оценки периодичности процессов космического масштаба древние мудрецы строили, так называемые, пригоризонтальные обсерватории, такие как Аркаим на Южном Урале и Стоунхендж в Шотландии.

Таким образом, нет ничего удивительного, что первые варианты PERPETUUM MOBILE копировали по форме Солнце и Луну, совершавшие размеренное периодическое вечное движение.

Колесо было частым атрибутом вечного движения, но не единственным. Природная кажущаяся вечность движения небесных тел моделировалась вполне земными процессами.

Блаженный Августин пересказал легенду о светильнике храма Венеры, который горел без дозаправки маслом более полутора тысяч лет. Опять-таки в летописях 1345 г. упоминается, что на могиле дочери Цицерона, по имени Тулия, был тоже обнаружен светильник с бесконечным сроком действия. Бесконечное движение в этом случае заменяется бесконечным излучением электромагнитных волн оптического диапазона.

С момента возникновения и в период начального становления три основные религии, Христианство, Мусульманство и Буддизм по-разному относились к интеллектуальной и творческой деятельности своих чад, мусульманская церковь была более терпимой к научно-техническому творчеству.

В то время как в средневековой Европе пылали инквизиторские костры, и всякое смотрение в небо рассматривалось как первый шаг к еретичеству, в азиатских странах Арабского Востока строились обсерватории и одним из основных достоинств правителей считалась образованность.

Показательна в этой связи судьба сочинений Древних Греков и Древних Римлян в европейских и азиатских странах Ближнего Востока. После утверждения в качестве основной христианской религшии в европейских государствах развернулась бескомпромиссная борьба с язычеством во всех его проявлениях, в том числе и в научном и художественном наследии.

Сочинения язычников, включая Фалеса Милетского, Анаксимандра, Анаксагора, Демокрита, Пифагора, Платона, Аристотеля и многих других были адептами юной религии преданы огню.

Гениальное наследие древнегреческих естествоиспытателей осталось только в арабских переводах. Азия не усматривала в сочинениях древних мыслителей идеологической опасности.

Когда в Европе возникли первые университеты с исключительно богословскими факультетами, всё было в порядке. Но даже примитивно организованная средневековая жизнь требовала помимо толкователей Библии специалистов в области медицины, юриспруденции, строительства и т.д.

Католическая церковь стала перед проблемой выбора для университетского образования основополагающего философского учения. Нужен был стержень, на

который затем следовало бы нанизывать различного рода научные направления, развитие которых требовало время и обстоятельства.

В конце концов, ведь нужно было организовывать и проводить военные компании. Громить, например, Сарацинов. Для войны нужна была оборонительная и наступательная техника, её надо было создавать. Были нужны специалисты с достаточным уровнем фундаментальных знаний.

Посмотрели окрест, а все фундаментальные сочинения оказались языческими и их во имя чистоты веры спалили в торжественной обстановке при огромном стечении радостного народа. Что делать?

Пришлось поступиться некоторыми принципами и купить в арабских странах сочинения Древнегреческих и Древнеримских философов и естествоиспытателей.

Далее фолианты с арабских языков снова были обращены в латынь, после чего подвергнуты рассмотрению. Анализ содержания научных трактатов производили не по их значимости и новизне, а по совпадению основных развиваемых положений с канонами Библии.

Вопрос ставился конкретно. Потребует ли внедрение того или иного учения пересмотров основных положений Библии? Если потребует, то теория признавалась специальной комиссией непригодной к распространению в университетской среде.

Пифагор и его последователи были отвергнуты сразу, а вот к Аристотелю присмотрелись внимательнее. Он подошёл по всем параметрам с его геоцентрической системой Мира.

А что? Земля по Аристотелю неподвижна и располагается в центре мироздания, потому что именно вокруг неё по хрустальным сферам перемещаются все прочие небесные тела.

По Библии Земля тоже является планетой исключительной, Богом избранной, так сказать. Именно совпадение библейских канонов и основных положений устройства Мира по Аристотелю определило выбор теории и её повсеместное внедрение. Таким образом, средневековая Европа по развитию научно-технического потенциала несколько уступала странам Ближнего и Дальнего Востока.

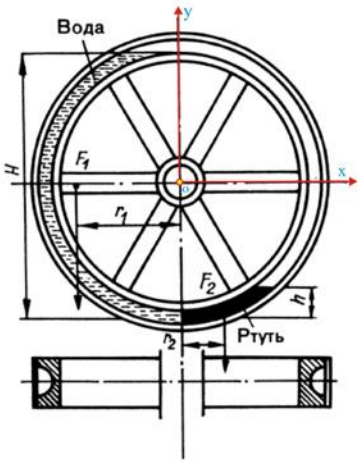


Рис. 1.69. Арабский вариант PERPETUUM MOBILE

Период раннего средневековья отмечен появлением наряду с индийскими вариантами проектов PERPETUUM MOBILE арабского происхождения.

Как правило, это были всё те же колёса и неистребимое стремление обеспечить постоянную разность моментов сил относительно оси вращения.

На рис. 1.69 приведен проект вечно движущегося колеса с полым ободом, заполненным водой и ртутью. Очевидно, что восточные конструкторы уже осознавали, что плотность воды $\rho(H_2O) \approx 1 \cdot 10^3$ кг/м^3, а ртути – $\rho(Hg) \approx 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3, т.е. при одинаковых объёмах ртуть будет обладать массой в 13,6 раз большей. В этом весь замысел.

Центр масс воды, в котором сосредоточена сила тяжести F_1, расположен на расстоянии r_1 от оси вращения, в то время как, линия действия силы F_2 проходит от оси вращения на удалении r_2. Условия равновесия колеса можно записать как уравнение моментов сил тяжести относительно оси вращения

$$F_1 r_1 - F_2 r_2 = 0 \quad .$$

Естественно, что колесо, будучи предоставленным, самому себе начнёт вращение, потому что

$$F_1 r_1 > F_2 r_2 .$$

Если полый обод колеса заполнить жидкостями так, как это показано на рисунке, то его можно рассматривать как физический маятник, который в начальный момент времени выведен из состояния равновесия.

Естественно, что вращения колеса при этом не случится, а возникнут обыкновенные затухающее колебания, амплитуда которых, как и положено, станет уменьшаться во времени по экспоненциальному закону

$$\varphi = \varphi_m \exp(-\alpha t) \ ,$$

где φ_m – максимальный угол отклонения, α – коэффициент затухания, обусловленный потерями на трение в оси и сопротивлением движению среды, t – время.

Подавляющее большинство ранних проектов PERPETUUM MOBILE строилось без учёта основных закономерностей классической механики Ньютона, которая оперировала такими кинематическими понятиями как путь, траектория, перемещение, скорость и ускорение, и динамическими характеристиками движения.

В те поры, о которых идёт речь, такими понятиями как сила, момент силы, масса, количество движения, кинетическая и потенциальная энергия ещё не оперировали. Отсутствовало точное определение механической системы, а силы не делились на внешние и внутренние, естественно, что свойства внешних и внутренних сил были не установлены.

Напомним некоторые дополнительные сведения из классической механики, которые, по нашему мнению, облегчат понимание, почему древние авторы вечного движения были столь оптимистичны при оценке реальных возможностей своих детищ.

Вернёмся к четвёртому закону Ньютона. Если на материальную точку действует одновременно несколько сил, то ей сообщается ускорение, равное геометрической сумме тех ускорений, которые каждая сила сообщила бы, действуя по отдельности.

$$m\vec{a} = m\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 + \cdots + m\vec{a}_n = \\ = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n = \sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k \ .$$

Запишем уравнение второго закона Ньютона в виде

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \ .$$

Величина, стоящая в скобках (скалярное произведение массы точки на вектор её скорости) называется импульсом точки или количеством её движения.

Естественно, что эта величина векторная и её направление совпадает с направлением вектора скорости (рис. 1.70), т.е. импульс материальной точки всегда направлен по касательной в данной точке траектории по вектору скорости.

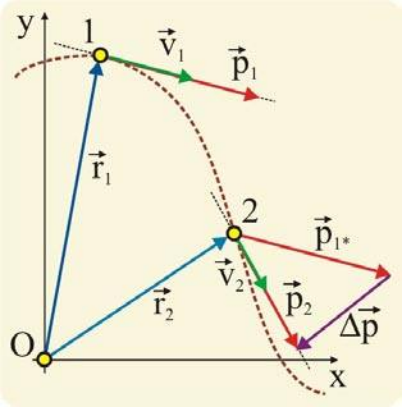


Рис. 1.70. Импульс материальной точки

Импульс материальной точки служит количественной векторной мерой механического движения

Импульс не имеет специальной единицы измерения, его размерность устанавливается его уравнением

$$[p] = \frac{кг \cdot м}{с}.$$

Как уже отмечалось, векторное уравнение второго закона Ньютона является одной из форм уравнения второго закона Ньютона, на основании которой доказывается одна из общих теорем динамики, теоремы об изменении импульса.

Теорема читается так: **«Производная по времени от импульса материальной точки равна действующей на эту точку силе».**

Умножим уравнение второго закона Ньютона на бесконечно малый промежуток времени dt

$$\vec{F}dt = d\vec{p}, \quad d(m\vec{v}) = \vec{F}dt \quad ,$$

величина $\vec{F}dt$ – называется элементарным импульсом действующей силы. Последнее уравнение выражает собой математическую запись теоремы об изменении импульса: **«Дифференциал импульса (количества движения) материальной точки равен элементарному импульсу, действующей на точку силы».**

Проинтегрируем уравнение импульса силы с учётом того, что переменными величинами являются скорость и время

$$\int_{v_1}^{v_2} d(m\vec{v}) = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt.$$

Если сила не является функцией времени, то процесс интегрирования достаточно прост

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F}(t_2 - t_1), \quad \Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t \quad .$$

Изменение импульса материальной точки за конечный промежуток времени равно вектору действующей силы. Если к точке приложена система сил

$$\sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k \cdot dt = d(m\vec{v}).$$

При решении практических задач большое значение имеет частный случай теоремы об изменении импульса. Если материальная точка не подвержена действию сил, или система сил эквивалентна нулю, то

$$\text{если} \sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k = 0, \quad \text{то} \quad d(m\vec{v}) = 0, \Rightarrow m\vec{v} = const \quad .$$

Уравнение является законом сохранения импульса материальной точки. **Если система сил, действующих на движущуюся материальную точку эквивалентна нулю, то вектор импульса остаётся неизменным как по модулю, так и по направлению**.

Ввиду постоянства массы точки, уравнение указывает на неизменность вектора скорости, т.е. точка движется равномерно и прямолинейно.

Использование закона сохранения импульса при решении практических задач, в ряде случаев, позволяет существенно упростить процесс, т.к. в этом случае отпадает необходимость составлять дифференциальные уравнения второго закона Ньютона и интегрировать их.

Механической системой называется совокупность взаимодействующих между собой материальных точек или тел. Вследствие взаимодействия точек положение и движение каждой из них зависит от положения и движения остальных.

Определение количества точек или тел, входящих в состав данной системы определяется исходя из удобства решения, поставленной задачи.

Рассмотрим простейшую механическую систему, состоящую всего из трёх материальных точек (рис. 1.71), на которые, в общей сложности, действуют десять сил. Все эти силы целесообразно поделить на две категории.

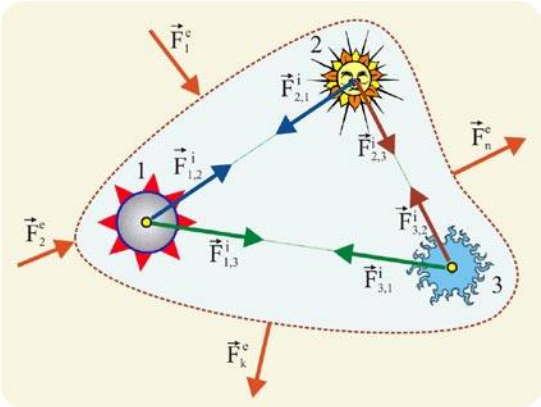


Рис.1 .71. Система материальных точек

Силы, вызванные взаимодействием точек системы между собой объединить понятием внутренние силы данной системы.

На основании третьего закона Ньютона, все шесть внутренних сил проявляются попарно, причём можно выделить силы с одинаковыми модулями (силы действия и противодействия равны по модулю, и направлены в противоположные стороны).

Внутренние силы принято обозначать верхним индексом i. Силы, вызванные взаимодействием данной системы с внешними объектами, называются внешними силами и обозначаются верхним индексом e.

Для внутренних сил, на основании третьего закона Ньютона можно записать следующие соотношения

$$\begin{cases} \vec{F}_{1,2} + \vec{F}_{2,1} = 0, \\ \vec{F}_{2,3} + \vec{F}_{3,2} = 0, \\ \vec{F}_{1,3} + \vec{F}_{3,1} = 0, \end{cases} \Rightarrow \quad \vec{F}_{1,2} + \vec{F}_{2,1} + \vec{F}_{1,3} + \vec{F}_{3,1} + \vec{F}_{2,3} + \vec{F}_{3,2} = 0 \quad .$$

Уравнение распространяется на механические системы любой сложности. Геометрическая сумма (главный вектор) всех внутренних сил любой механической системы равна нулю

$$\vec{R}^{\,i} = \sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k^{\,i} = 0 \,.$$

Совмещая уравнение внутренних сил с законом сохранения импульса материальной точки, получим

$$\text{если} \sum_{k=1}^{k=n} \vec{F}_k^{\,i} \equiv \vec{R}^{\,i} = 0, \quad \text{то} \quad d\left(m\vec{v}\right) = 0, \Rightarrow m\vec{v} = \text{const} \qquad ,$$

другими словами, внутренние силы не могут изменить импульс материальной системы.

С позиций создания PERPETUUM MOBILE, это обстоятельство закрывает возможность создания устройств, принцип действия которых основывается на том или ином взаимодействии элементов, составляющих данную механическую систему в виде колёс или взаимодействующих тел.

Рис. 1.72. Мюнхгаузен

Когда хотят привести наглядный пример справедливости уравнений закона сохранения импульса, то вспоминают «правдивую» историю барона Мюнхгаузена о способе доставания своего боевого коня (рис. 1.72) и себя самого из болота.

Вспомните, как барон, ловко обхватив лошадь своими крепкими прусскими ногами, с огромной

силой рванул себя за косичку. Рывок (импульс) был настолько силён, что лошадь вместе с седоком оказалась на суше.

Красивая история, слов нет, но при всём уважении к природной честности барона, следует отметить всё же, что лошадь, рука барона и его знаменитая косичка, всё это тела, принадлежащие одной механической системе. В соответствии с уравнением закона сохранения импульса любое изменение силового взаимодействия между телами одной и той же системы не приведёт к изменению её импульса, потому как силы – внутренние.

Ещё один пример. Взрыв топливно-воздушной смеси в цилиндрах автомобильного двигателя, преобразование возвратно-поступательного движения поршней во вращение коленчатого вала, трансформация движения в коробке передач, вращение карданного вала и приводов – всё это происходит под действием внутренних сил (рис. 1.73) которые не могут изменить механического состояния системы (автомобиля).

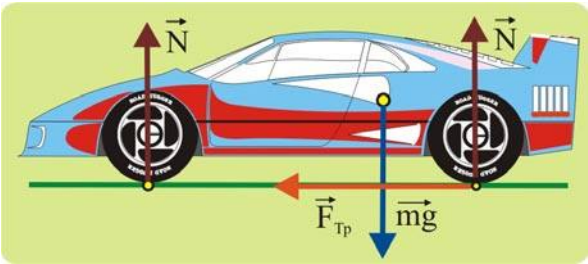


Рис. 1.73. Система сил, действующих на автомобиль

И только наличие внешней силы трения, которая, по сути, является силой взаимодействия автомобиля с поверхностью дороги, делает возможным его движение.

Если автомобиль поставить на гладкую поверхность, то несмотря на то, что коленвал будет делать несколько тысяч оборотов в минуту, спидометр показывать много километров в час, движение не будет наблюдаться.

Каждый, кто управлял автомобилем зимой, это состояние, сопряжённое с участками дороги, покрытым льдом, хорошо себе представляют. Внутренние силы появляются во всех своих возможностях, но изменения в движении не происходит.

Масса конструкций ранних PERPETUUM MOBILE своим появлением своим появлением пытается протестовать против уравнений закона сохранения импульса, являющихся, по большому счёту, следствием третьего закона Ньютона, который кажется всем, начинающим изучать естествознаение, необыкновенно простым и понятным.

Однако появление на протяжении нескольких столетий, как до открытия этого закона, так и поле, конструкций вечных двигателей, эксплуатирующих внутренние силы, говорит об обратном. Не так этот закон прост и уж совсем не ограничен непосредственным толкованием своего уравнения.

Отметим, что все многочисленные в настоящее время отрасли человеческих научных знаний физического характера начинались с механики. Первоначально была построена механическая картина мира, а уж потом в эту картину вплетались элементы термодинамики, молекулярной физики, электричества, магнетизма, оптики и т.д.

Не следует думать, что индийские и арабские механики, работали только над неосуществимыми прожектами. Отнюдь. Например, в XII в. с.л. некто ал-Джазари, прославившийся изобретением механических и гидравлических автоматов, опубликовал шести томное сочинение «Книга о познании хитроумных механических приспособлений», в котором рассмотрел множество вполне реальных механизмов и устройств, предназначенных, в большинстве своём для практического использования.

К хитроумным приспособлениям автор относил насосы для перекачивания жидкостей, мельницы для помола зерна, водяные часы (клепсидры), солнечные часы (гномоны).

Большое внимание в своей работе ал-Джазари уделил механическим и гидравлическим автоматам – игрушкам, предназначенным для услады взоров восточных владык.

Многие элементы машин и механизмов, приведенные в книгах ал-Джазари впоследствии были использованы европейцами в Эпоху Возрождения. Описанные конструкции предполагали использование литья металлов, которое вошло в обиход европейской промышленности только в конце XV в. с.л.

Европейская механика, как впрочем, и некоторые другие научные направления отставала от достижений ученых Востока, не менее чем на 300 лет.

Арабским механикам был известен принцип передачи вращательного движения зубчатыми колёсами и шарнирные соединения.

В одном из вариантов PERPETUUM MOBILE арабские авторы (рис. 1.74) применили деревянные бруски, соединённые шарнирными петлями, которые в настоящее время широко распространены при изготовлении различного рода дверей и окон, всего того, что должно вращаться вокруг неподвижной оси вращений, проходящей через ось симметрии шарнира.

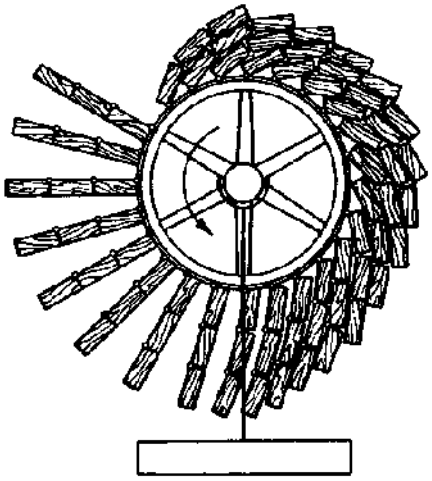


Рис. 1.74. Двигатель с шарнирными соединениями элементов

В конструкции двигателя с шарнирно соединёнными элементами налицо всё та же попытка эксплуатации разности моментов сил тяжести относительно оси вращения.

С позиций механики конструкции рассматриваемых PERPETUUM MOBILE представляют собой простые механические системы с одной степенью свободы.

Как отмечалось ранее, первые публикации о двигателях, энергетически не зависимых от внешней среды, появились в начале XII с.л., но это совсем не значит, что до этого проблема вечного движения не интересовала древних философов и изобретателей.

Надо сказать, что основы теории машин и механизмов были заложены в античный период. В Древней Греции проблемой движения вообще, судя по принятой в научной литературе версии, впервые на систематической основе начал заниматься под руководством Платона, незабвенный Аристотель (рис. 1.75).

Рис. 1.75. Аристотель и Александр

Аристотель считал круговое движение совершенным. По мнению древнего мыслителя круговые движения могли быть вечными, если они инициируются перводвигателем, под которым понималась некая высшая, неподвластная человеку энергия.

Небесные тела, совершающие круговые движения Аристотель считал постоянными, неизменными и вечными. По-

скольку авторитет Аристотеля у современников был огромен, плюс он был наставником Александра Македонского, то идея вечного движения активно обсуждалась.

Рис. 1.76. Витрувий

В Древней Греции появились наставления по использованию простейших механизмов и было дано определение понятию «машина». Античный математик, изобретатель и архитектор Витрувий (рис. 1.76) в одном из своих сочинений даёт следующее определение: «Машина есть взаимно связанное соединение деревянных частей, обеспечивающее наибольшую выгоду при поднятии тяжестей. Она приводится в действие искусственно, а именно круговым движением».

Определение Витрувия конечно весьма ограничено, но концовка фразы об искусственном приведении в действие машины круговым движением даёт основание полагать, что наличие вечного внутреннего движения не предполагалось

Вместе с тем многие научные школы Древней Греции оставили после себя инструкции по постройке и использовании машин и механизмов. У Аристотеля можно встретить описание машин, действие которых основано на использовании простейших элементов, таких как рычаг, клин, наклонная плоскость, колесо и блок, причём наиболее распространены были именно колёса, блоки и полиспасты.

Конечно, как и подобает великому преобразователю энергии, и в древние времена человечество любило придаваться любимой забаве – войне.

А чтобы в процессе забав преобразовывать энергию наиболее эффективно, были нужны разнообразные средства обороны и нападения. Широкое распространение получили боевые колесницы и разного рода метательные орудия. Как для колесниц, так и для метательных орудий, луков, арбалетов, баллист, катапульт, онагров были нужны источники энергии. При этом пред конструкторами ставились конкретные задачи, решать которые было необходимо в установленные промежутки времени. Тут не до фантазий на лирическую тему об источниках вечной энергии. Можно и головы лишится. Наряду с военной техникой, в древности произошла революционная смена источников энергии.

С начала своего осознанного поведения человечество использовало для своих преобразовательных целей только свою мускульную силу и нехитрые приспособления из подручных материалов. Затем к процессу преобразований в качестве источников энергии были привлечены одомашненные животные. Следующими источниками энергии стали ветер и вода. Появление водяных и ветряных мельниц ознаменовало собой начало нового энергетического периода.

Отвлекаясь от Древних Греков, отметим, что, судя по последним археологическим находкам, на территории нашей Родины жили племена, которым за долго до греков были доступны технологии массового строительства боевых колесниц, для этого даже организовывались специальные городища – мастерские.

По одной из гипотез таким древнейшим заводом по производству средств передвижения гражданского и военного назначения являлся открытый недавно на Южном Урале древнейшее на планете поселение Аркаим.

Многовековое и целенаправленное уничтожение исторических памятников славянского наследия и отрицание официальной исторической наукой наличия Древнейшей Северной Цивилизации сделали своё дело. На протяжении достаточно длительного времени считалось, что культура, включая комплекс технических и

технологических знаний, славянским племенам была привита ранними христианами путём распространения знаний Древних Греков и Древних Римлян.

Однако в последнее время археологические находки благодаря вмешательству первых лиц России удалось сделать достоянием общественности и в который уже раз пытаться восстановить истинное положение вещей.

Греции и Риму в этом смысле повезло больше. Их естественнонаучные памятники, в отличие от России, вытаптывали только в средние века, а потом воздали должное.

Таким образом, состояние техники и технологий до начала современного летоисчисления вполне располагало к размышлениям о вечном источнике энергии. Энергии во всех её известных видах требовалось всё больше и больше а теоретического осмысления невозможности построения PERPETUUM MOBILE повсеместно ещё не наступило, поэтому попытки поиметь в своё распоряжение нечто неиссякаемое, были более чем вожделенными.

Технология постройки и эксплуатации водяных и ветряных мельниц, распространившихся во всей Европе в ранние периоды средневековья, в течение длительного времени не изменялись, потому что конструкторское творчество находилось под запретом.

За этим строго следила христианская церковь. Проекты устройств с источниками энергии длительного использования начали обнаруживаться в немногочисленных сочинениях европейских естествоиспытателей сразу после распространения арабских цифр, которые, кстати сказать, родом из Индии, куда они попали вместе с племенами Ариев в период Великого Переселения Древних Славян в связи с глобальными климатическими изменениями.

Начиная с XIII в. с.л. страны феодальной Европы начинают интенсивно развиваться. Причина развития проста как, правда. Войны на религиозной почве приняли невиданные масштабы. Для войны нужна армия, оружие, амуниция, транспортные средства и провиант.

Чтобы это всё обеспечивать в достаточных, количествах нужна, как бы сейчас сказали, развитая промышленность и сельское хозяйство. На ограниченных площадях европейских государств это было возможным только при интенсификации развития процессов производства и преобразования энергии.

Инквизиция была вынуждена уже в который раз ослаблять свои запреты в области интеллектуальной и культурной деятельности своих верующих чад, речь шла о безопасности многих европейских государств, тут не до чрезмерного контроля чистоты веры.

Как только прекратились преследования модернизаторов старинных инструментов и приспособлений, так начали обнародоваться накопившиеся за долгие годы вынужденного затворничества идеи и рационализаторские предложения, включая и источники энергии продолжительного срока действия.

Научно технический и технологический потенциал европейских государств в период раннего средневековья и века, предшествующие Эпохе Возрождения находился под определённым влиянием достижений стран Востока.

Свидетельством тому являются конструкции PERPETUUM MOBILE. Европейские учёные и инженеры стали активно участвовать в развитии хозяйственных потенциалов своих стран. В Европе оживилось строительство, поэтому были востребованы самой жизнью архитекторы, прорабы и квалифицированные рабочие строительного профиля. Именно среди архитекторов появились первые предложения о создании вечных двигателей.

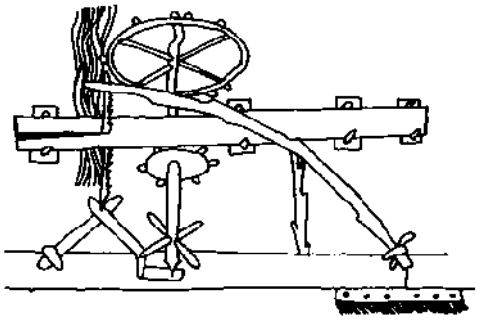


Рис. 1.77. «Вечная» водяная пила

Архитектор из Пикардии, некто Вийяр д Оннекур, создавший себе имя на проектировании соборов, опубликовал сочинение о самодвижущихся машинах.

В его коллекции приведен вполне реальный проект водяной лесопилки, предназначенной для распускания брёвен на доски (рис. 1.77). Как видно из приведенной схемы принцип действия пилы такой же как и у водяной мельницы, с той разницей, что у Вийярда вращательное движение рабочего колеса, движимого потоком воды, преобразуется в возвратно-поступательное перемещение самой пилы и поступательное перемещение бревна.

Человек все происходящие вокруг него события склонен автоматически соизмерять с продолжительностью собственной жизни. Что мог подумать средневековый человек, родившийся на берегу реки или речушки и на тех же самых берегах отошедший в миры иные, о конструкции, предложенной Вийярдом, ярким представителем начала инженерного возрождения Европы?

С позиций жизненного цикла отдельно взятого человека устройство обладает неограниченным сроком службы. Чем не вечный источник энергии? Пока течёт речка брёвна теоретически можно пилить. Другое дело, что с позиций основной задачи человека в этом Мире такой источник в ограниченный промежуток времени станет неэффективным. Но это уже совсем иная история.

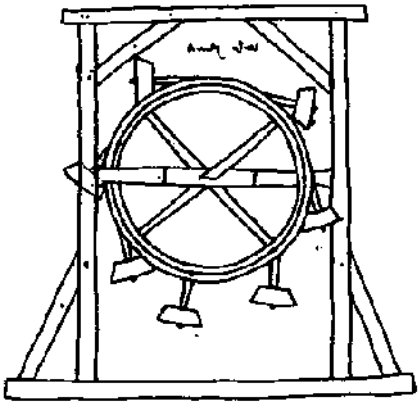


Рис. 1.78. «Молотковый» источник вечного движения

В этом же сборнике откровений знаменитого архитектора приводятся схемы PERPETUUM MOBILE в их «классическом» варианте. На рис. 1.78 приведен проект двигателя, подобно индийским и арабским образцам, использующим для своей реализации разность моментов сил тяжести относительно оси вращения колеса.

Европа в очереди желающих осчастливить человечество энергетическими изысками была не первой и даже не второй. Лидировали в своих стремлениях победить законы сохранения, которые им ещё даже были, судя по всему, не известны, индусы, арабы и китайцы. Европейцы только творчески перерабатывали варианты предшественников.

Действительно, если схему устройства Вийярда сравнить с арабскими колёсами, то не составит труда обнаружить, что во все устройства заложен один и тот же принцип разности моментов сил тяжести относительно оси «вечного вращения».

В одном случае на эту идею работают сосуды заполненные ртутью и определённым образом закреплённые на колесе. В другом случае в полый обод колеса помещены жидкости с разной плотностью. В третьем, который особенно напоминает схему Вийярда, для достижения обсуждаемого эффекта используются шарнирно соединённые деревянные бруски. У Вийярда деревянные бруски заменены опять же на шарнирно закреплённые молоточки.

Как уже отмечалось ранее, все эти схемы пытаются эксплуатировать изменения внутренних сил механических систем. Интересным является ещё и то, что Вийярд

в своём опусе демонстрирует осведомлённость в конструктивных особенностях аппаратов своих восточных предшественников и критикует за неминуемую несбыточность их устремлений.

А что касается двигателя с шарнирно закреплёнными молоточками, то успех этого «предприятия» рекомендован автором как неминуемый.

Схему своего PERPETUUM MOBILE он снабдил такой многообещающей ремаркой: «Долгое время мастера спорили о создании колеса, которое вращалось бы само по себе. Смотри здесь, как привести такое колесо в движение с помощью нечетного числа молоточков или посредством ртути».

Обратите внимание, долгое время, как-то не сподобились, всё спорили, а тут вот так просто, молоточков на колёсико навесили шарнирно, и пожалуйста. Готов благодетель человеческий. Этот пассаж лишний раз показывает насколько неистребимо стремление и навязчива уверенность в несбыточном, в общем-то грамотного для своего времени специалиста и не последнего архитектора. Вийярда почитали за честь копировать и модернизировать его конструкции.

Так, например, тоже архитектор Александр Капра посвятив свою книгу «Новая военная архитектура» в общем-то, строительству, не преминул уже в 1683 г. сослаться на Вийярда и предложить конструкцию с иным числом и иной формой молоточков.

В районе 1270 г. с.л. в Пьер де Марикур, занимавшийся опытами с магнетизмом и оставивший после себя сочинение «Послание о магните», впервые в Европе предложил конструкцию магнитного вечного двигателя.

Как станет ясно из дальнейшего рассмотрения, появление на естественнонаучной арене новых источников энергии или новых типов взаимодействия материальных объектов в большинстве своём приводило к появлению новых вариантов PERPETUUM MOBILE (рис. 1.79).

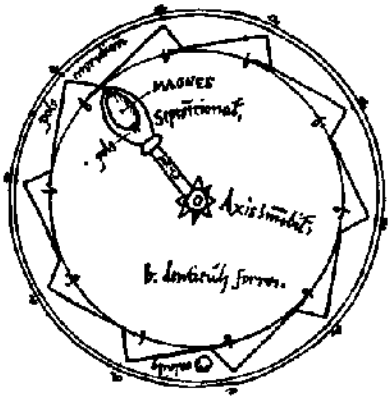


Рис. 1.79. Магнитный вариант

По представлениям Марикура в природе существуют магнитные полюса, естественно божественного происхождения, которые взаимодействуя с магнитной «ложкой», обеспечивают вечное движение, т.е. земной магнит в проекте Марикура получал «силу вращения» от небесных полюсов.

Поскольку Марикур всю свою сознательную жизнь занимался магнетизмом, то к природным магнитам он питал благоговейные чувства, считая, что их поведением управляют высшие небесные силы. Марикур при конструировании своих двигателей пытался копировать вечное вращение небесных сфер.

Начало общего подъёма интеллектуального уровня в Европе в XIV – XV вв. с.л. сопровождалось бурным развитием всех сфер человеческой деятельности.

Смена экономических формаций в рассматриваемый период времени сопровождалась возникновением противоречий между производительными силами и производственными отношениями, так, по крайней мере, считали почитаемые до недавнего времени, классики диалектического материализма.

В этом что-то есть. Самым главным отличительным элементом феодального строя является собственность на землю и не такие всеобъемлющие права на работников, как в рабовладельческом строе.

Крепостные крестьяне были вынуждены состоять при феодалах, потому что у последних в собственности была земля. Кроме того, феодалы владели скотом и, хоть примитивными, но все же, орудиями производства.

Феодальные хозяйства, в большинстве своём, были натуральными. От гвоздей до мыла, включая самогонную водку, всё производилось и потреблялось внутри этого образования.

Исключение составляли сельхозпродукты, ими обменивались, а иногда даже продавали. Такая простота никак не стимулировала развитие новых технологий и уж тем более науки, как таковой.

Сельскохозяйственные орудия труда, которые использовались в раннем феодализме мало, чем отличались оттого, что применялось на полях Древней Греции и Египта. Всё та же соха, правда, чаще с железным лемехом, всё тот же серп; косы, лопаты, заступы, мотыги, цепи для обмолота, система земледелия – первые семь веков новой эры практически не менялись. Примитивные инструменты устраивали примитивные по своей сути феодальные хозяйства. Всем было тепло и сыро, как в южных болотах.

Естественно, фундаментальные исследования оставались поначалу, практически, невостребованными, а вот прикладные науки в этой связи стали всё более и более обслуживать потребности развивающихся технологий.

Строительство, металлургия, судостроение, транспортные средства, цеховое оборудование – все это требовало определенного уровня знаний. Новые технологии и конструкции машин сделали необходимым использование новых материалов и компонентов.

В средневековой Европе, появились трактаты по медицине, географии, астрономии, правда, в переводах с греческого языка. Эти источники древней мудрости стимулировали научные интересы учёных. Возобновились астрономические наблюдения, повысился интерес к математике и механике. Однако все задачи учёных этого периода истории были весьма отдалены от нужд практики. Одним словом наука развивалась исключительно для науки.

С целью более полного контроля над интеллектуальной сферой человеческой деятельности церковь была вынуждена в области естествознания ввести некие каноны, которых следовало бы придерживаться всем любопытствующим.

Прежде чем перейти к рассмотрению наиболее распространённых и интересных схем вечных источников энергии, основанных на использовании тех или иных механических принципов и законов, целесообразно на наш взгляд охарактеризовать общий уровень естественнонаучных знаний Эпохи Возрождения.

Именно период Ренессанса характеризовался массовым появлением прожектов PERPETUUM MOBILE. Это было удивительное с точки зрения естествознания (математики, физики, химии, биологии, астрономии, географии, зоологии, геологии) время.

Бок обок с гениями, память о которых будет существовать пока дееспособна теперешняя цивилизация, «творили» многочисленные маги, чародеи, колдуны и прорицатели. Они были, конечно, во все времена, и сейчас, в наш, якобы, просвещённый век, в них человечество не испытывает дефицита, а даже совсем наоборот.

Достаточно вспомнить легендарного «психо-тэрапэвта» Кашпировского, на оздоровительные сеансы которого всего лишь несколько лет назад народ собирался на стадионы тысячами.

Чего же изумляться контрастам Эпохи Возрождения, когда на одном заседании Королевской Академии наук в Кембридже великий Ньютон рассказывал о своих

гениальных прозрениях и открывал перед учёными мужами тайны движения планет

$$\vec{F}_{gr} \approx \frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r},$$

и вполне серьёзно, тут же дискутировался вопрос: «О количестве чертей способных поместится на булавочном острие».

Выдавать желаемое за действительное люди начали с незапамятных времен, и практиковали такое занятие не только люди обыкновенных ума и смысла жизни, но и яркие представители интеллектуальной элиты своего времени.

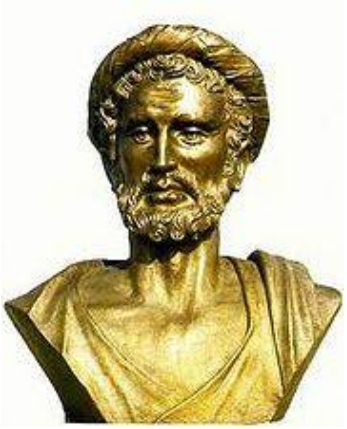


Рис. 1.80. Архит Тарентский

Современник Платона и Аристотеля, Архит Таренский (428 – 347 гг. до с.л.) прославился своими успехами в математике, механике и военном деле (рис. 1. 80). Он впервые привлёк математические методы к описанию механических движений.

Архит был уверен в бесконечности Вселенной: «Окажись я на краю Вселенной, то есть на сфере неподвижных звёзд, мог бы я вытянуть вовне руку или палку в ней? Допущение, что не мог бы вытянуть, нелепо. Но если вытяну, тогда то, что вовне, окажется либо телом, либо местом (что совершенно безразлично). Таким образом, сколько раз не допускай границу Вселенной, всякий раз мы будем аналогичным образом подходить к ней и задавать тот же самый вопрос».

Вместе с тем, в одном из его сочинений упоминается факт создания, им летающего деревянного голубя, который помимо прочего умел хлопать крыльями.

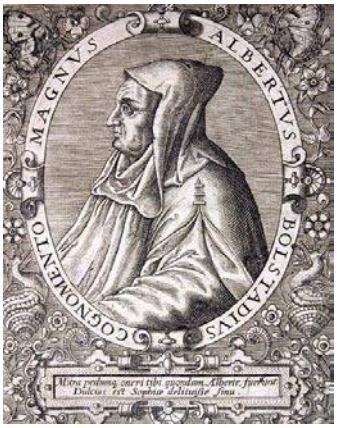


Рис. 1.81. Альберт Великий

Много лет спустя (1193 – 1280 гг. с.л.), в славные средневековые времена, когда церковь уже стала приветствовать, научные увлечения, в дозволенных рамках, своих иерархов разного уровня, один из служителей культа, Альберт Великий (рис. 1.81) помимо теологии и богословия занимался логикой, ботаникой, географией, астрономией, минералогией, зоологией и даже психологией.

Одним словом – универсал, энциклопедист. Особое внимание Альберт уделял химии, а ещё больше – алхимии, опубликовав «Малый алхимический свод», который в какой-то мере соответствует современному учебнику по технологии постановки опытов в химической лаборатории.

Алхимический свод в переводе В.Я. Рабиновича содержит, в частности, такое откровение: «Вот почему я, ничтожнейший из философов, вознамерился ясно изложить истинное искусство, свободное от ошибок, для моих единомышленников и друзей; но таким, однако, образом, чтобы они увидели и услышали то, что для них самих сокрыто и остается невидимым, неслышимым и не умопостигаемым. Вот почему я прошу тебя и заклинаю тебя именем Творца всего сущего утаить эту книгу от невежд и глупцов.

Тебе я открою тайну, но от прочих утаю эту тайну тайн, ибо наше благородное искусство может стать предметом и источником зависти. Глупцы глядят заискивающе и вместе с тем надменно на наше Великое Деяние, потому что им самим оно недоступно.

Поэтому они и полагают наше Великое Деяние отвратительным, но верят, что оно возможно. Снедаемые завистью к делателям сего, они считают тружеников нашего искусства фальшивомонетчиками.

Никому не открывай секретов твоей работы! Остерегайся посторонних! Дважды говорю тебе: будь осмотрительным, будь упорным в трудах твоих и при неудачах не расхолаживайся в рвении своем, помня о великой пользе, к коей ведет твой труд».

Однако славу и восторги современников он снискал не за свои научные работы и многочисленные печатные труды, а за слух о якобы изобретённом им говорящем механическом человеке.

Именно благодаря механическому говорящему человеку Альберт не только в пределах Баварии, но и её европейских окрестностях стал почитаться как знаменитый маг и чародей, наделённый особыми способностями, не доступными обывателям. В средние века были среди народа, включая и венценосных особ, были популярны всевозможные механические устройства, эмитирующие своим внешним видом и издаваемыми звуками человека и животных. Поющие птицы, танцующие человеческие фигурки, гавкающие и мяукающие первороботы вызывали у людей уважение страх и почитание одновременно.

Рис. 1.82. Подводная лодка Дреббеля на Темзе

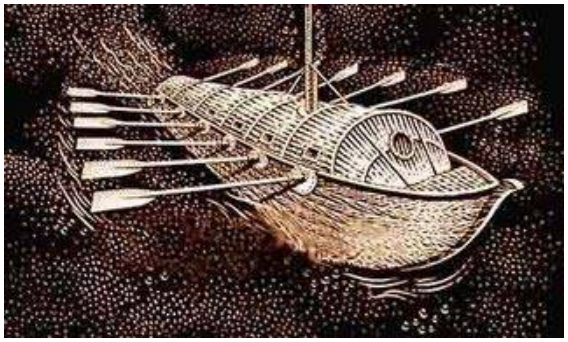


Рис 1.83. Конструкция подводной лодки

Показателен в этом смысле пример Нидерландского учёного и искусного мастера Корнелия ван Дреббеля (1572 – 1633 гг.), который построил по своему проекту первую в мире действующую подводную лодку и успешно испытал её на Темзе (рис. 1.82, 1.83).

По этому поводу летописец Алкмаара Корнелис ван дер Вуде писал: «Он (Дреббель) сделал судно, которое могло передвигаться под водой посредством весел, и проплыл на нем расстояние в две нидерландские мили – от Вестминстера до Гринвича. А мог бы проплыть, если бы захотел, даже пять или шесть миль; на судне все можно было видеть без свечи и читать библию или любую другую книгу».

Немецкий ученый Иоганн Фабер, это знаменательное событие в области покорения человечеством водной стихии описал так :«Люди, которые плавали под водой на этом судне, изобретенном замечательным нидерландским гением Корнелисом Дреббелем и сконструированном в Лондоне (Англия), где корабль можно увидеть даже и сейчас, торжественно клялись мне, что в то время, как на поверхности реки бушевал шторм, они, находившиеся глубоко под водой, не испытывали никаких затруднений.

На судне могли находиться 24 человека, восемь из которых гребли, а остальные оставались в своих маленьких каютах; отсутствие воздуха на протяжении 24 часов не доставляло им страданий, и они довольствовались тем воздухом, что был

заключен в малом сосуде; по истечении этого срока они поднимались на поверхность, сняв верхнюю крышку судна и оставив его открытым на некоторое время, запасались свежим воздухом, после чего, закрыв судно крышкой, могли погрузиться в воду столь глубоко, сколь этого желал капитан — даже на глубину 50 морских саженей (около 91 м).

Но вот что удивит вас еще в большей степени: они вели судно по компасу и знали, где находятся, а судно с большой легкостью перемещали посредством весел. Совершенно невероятным кажется следующее обстоятельство: та часть судна, где сидели гребцы, не имела дна, так что они все время видели воду; и, тем не менее, это не приводило их в ужас, поскольку, находясь на своих местах чуть повыше воды, они никогда не касались ее ногами».

Так вот, всенародную признательность Корнелис Дреббель получил вовсе не за свои гениальные изобретения, а за проект вечного двигателя. Дреббель написав в 1606 г. трактат «О природе элементов и о том, как они вызывают ветер, дождь, молнию, гром и чем они полезны», посвятил его королю Англии Иакову I, на страницах сочинения описывались подробности конструкции PERPETUUM MOBILE.

Став известным и популярным благодаря об упоминании, о вечном источнике энергии, Корнелис закрепляет успех, написав в 1626 г. сочинение под недвусмысленным заглавием «Об изобретении PERPETUUM MOBILE».

На страницах трактата, в частности, описывается двигатель, приводимый в действие движущей силой космоса, проявляющейся в форме «Вечного Огня».

Дреббель полагал, что только сила «Вечного Огня» способна стать источником вечного движения. Для ограниченного промежутка времени в развитии цивилизации он оказался совершенно прав. Освоив энергию пара и перейдя в конечном счёте к тепловым машинам типа ДВС (двигатель внутреннего сгорания) человечество на долго связало своё благополучие с «Огненной Стихией» о которой так много рассуждали ещё древние греки.

По мере углубления знаний об окружающем мире и совершенствовании материаловедения и технологий в Европе в большом количестве начали появляться автоматы (греч. αυτόματος – самодействующий, самодвижущийся), часто выдаваемые авторами проектов за PERPETUUM MOBILE.

В частности, за источник вечного движения часто выдавались обыкновенные механические часы. Такие механизмы были известны и ранее, например, ходячая статуя Дедала в Афинах и летающий деревянный голубь Архиты Тарентского, но массово первороботы появились в средние века.

Рис. 1.84. Страсбургские часы

Большую популярность приобрели часы, совмещённые с различными движущимися фигурками животных и людей. В Страсбурге на соборе были установлены часы с 12 движущимися фигурками и даже с поющим петухом (рис. 1 84).

Наибольшую популярность приобрели автоматы, изобретенные и изготовленные Вокансоном из Гренобля (1709-1782 гг.). Вокансон (рис. 1.85) пиарил свои, несомненно весьма совершенные изделия, покровами вечного движения исключительно для придания им популярности. Всё вечное, начиная от движения небесных

тел и кончая сменой дня и ночи, вызывали у многих людей суеверный страх и уважение.

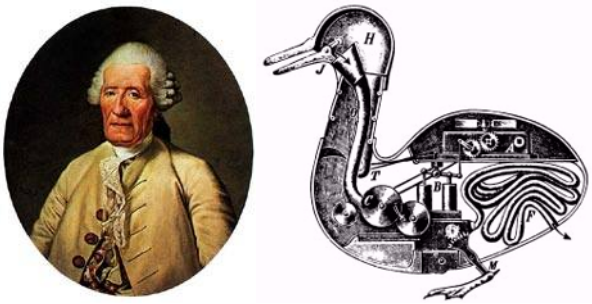


Рис. 1.85. Вокансон и устройство его утки

PERPETUUM MOBILE, изготовленные умелым французом дожили до настоящего времени. Многие из них в целостности и рабочем состоянии хранятся в парижском музее искусств. Один из шедевров позднего средневековья представляет собой ходящую и крякающую, и не только, утку (рис. 1.85).

Появление часовых механизмов, приводимых в периодическое движение потенциальной энергией сжатой пружины или опускающихся под действием силы тяжести грузов, способствовало продвижению в народ идеи вечного источника энергии, причём со ссылками на примеры вечного движения небесных тел.

Часы завораживали народ. Периодичность действия гномонов (солнечных часов) и клепсидр (водяные часы) была практически всем людям очевидна (рис. 1.86), хотя принцип действия сложных клепсидр часто скрывали от наблюдателей, а вот нескончаемое перемещение стрелок по циферблату без знания основ естественного устройства Природы казалось фантастикой.

Следует отметить, что до изобретения храповика с собачкой – устройства, обеспечивающего периодическое порционное снабжение механизма энергией, использовали различные оригинальные принципы. Так, например, в Древнем Китае, судя по всему, первые в мире механические часы приводились в действие сложной гидротехнической системой (рис. 1.86) со сложной системой регулирования скорости привода. Время отмечалось звоном колокольчиков, интенсивность и спектр их звучания был связан со значением текущего времени.

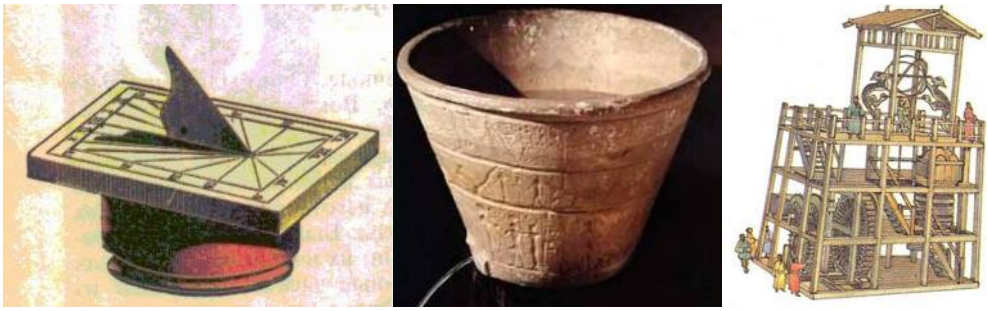


Рис. 1.86. Гномон), Клепсидра и механические с водяным приводом часы

В качестве временного эталона использовались законы движения тел в поле земного тяготения. Французский дворянин Никола Гролье придумал отмечать временные интервалы в 60 с скатывающимися по наклонным винтовым направляющим стальными шариками. Из объёмного резервуара (рис. 1 87) запасённые предварительно там, в изобилии одинаковые шары с помощью механического дозатора управляемого обратной механической связью попадали на направляющие, скатывались в течении примерно одной минуты и падая перемещали на определённый угол стрелки часов и приводили в действие обратную связь, которая освобождала для скатывания очередной шар.

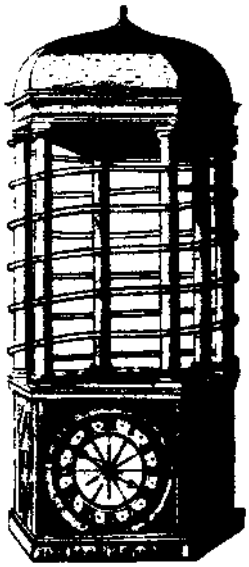


Рис. 1.87. Вечные часы Николы Гролье

Это устройство успешно выдавалось за PERPETUUM MOBILE. От многочисленных любопытствующих, процесс перемещения шаров с нижнего приёмного устройства в верхний резервуар, естественно, скрывался. В этом и был весь фокус вечностью этого движения.

Как уже неоднократно отмечалось ранее, идеи неопределённо продолжительного движения, как правило, возникали на почве передовых естественнонаучных идей. Появились успехи в области механики, возникли PERPETUUM MOBILE с механическими принципами, начали осваивать энергию пара, появились вечные тепловые машины.

Аналогичные всплески возникали в периоды успехов электричества и магнетизма. Первыми во временном ряду стали появляться вечные двигатели с механическими принципами организации движения. Несмотря на многообразие конструкций различного рода колёс, снабжённых рычагами и коромыслами с перемещающимися грузами и резервуарами их объединяет гравитационная идея использования эффекта разности моментов сил тяжести при прямом и обратном ходе рабочего органа PERPETUUM MOBILE.

В ряде случаев в механических устройствах использовалась положительная разность между силой Архимеда и силой тяжести, т.е. выталкивающая сила. По сути, практически все конструкции механических двигателей представляют собой полеты фантазий авторов, в основе которых лежат всё те же простые стремления получить пресловутую и вожделенную разность механических моментов.

Рассмотрим это обстоятельство более подробно, для чего воспользуемся общим векторным уравнением для момента силы относительно некоторой произвольной точки О

$$\vec{M}_O(\vec{F}) = (\vec{r} \times \vec{F}) \ ,$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, соединяющий моментную точку и точку приложения силы $\vec{F}$. Скалярную форму уравнения можно представить следующим образом

$$\left|\vec{M}_O(\vec{F})\right| = |\vec{r}||\vec{F}|\sin(\vec{r};\vec{F}) \ .$$

Как видно из уравнения, модуль момента силы зависит от угла между радиус-вектором и линией действия силы.

Рассмотрим колесо, способное только вращаться вокруг горизонтальной оси (рис. 1.88). Если в различных точках обода колеса прикладывать одну и ту же по модулю и направлению силу $\vec{F}$, то момент этой силы относительно оси вращения, проходящей через точку О перпендикулярно плоскости чертежа будет различным.

Всё дело в значении $\sin(\vec{r};\vec{F})$. Естественно, что синус будет равен единице, когда линия действия силы с горизонталью, пересекающей ось вращения, будет составлять 90^0, момент силы в этих двух точках будем максимальный.

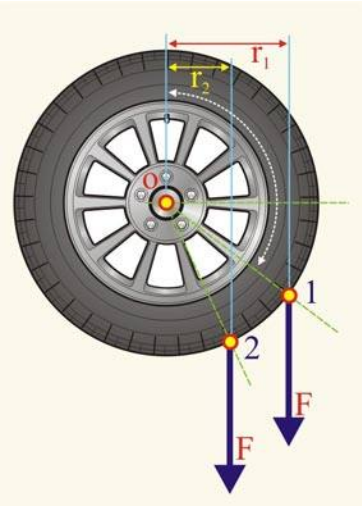


Рис. 1.88. Момент силы относительно оси вращения колеса

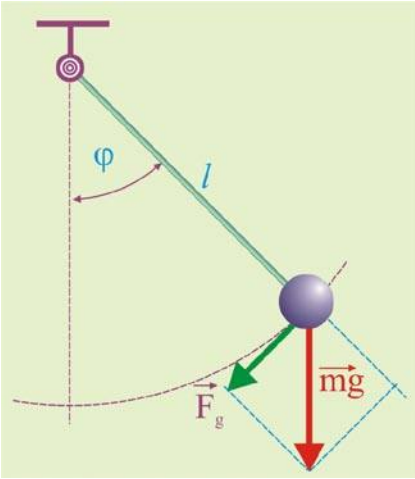


Рис. 1.89. Математический маятник

Момент будет равен нулю при $\sin(\vec{r};\vec{F})$ =0, т.е. при совпадении линии действия силы с перпендикуляром к оси вращения.

Показательным, в этом смысле, может быть пример с колебаниями математического маятника (рис 1.89). Если нить маятника отпустить из положения, характеризуемого углом, скажем, $\varphi = 104^0$, то в отсутствии потерь, чего по известным причинам быть не может, нить, пройдя положение статического равновесия ($\varphi = 180^0$), должна подняться до крайнего положения, определяемого углом $\varphi = 256^0$.

По идее, в этом случае должен начаться бесконечный колебательный процесс. На самом деле, процесс колебаний будет вследствие потерь затухающим (рис.1.90), за каждый период качаний некая часть предварительно запасённой потенциальной энергии будет трансформироваться в виде работы против сил сопротивления, что приведёт к затуханию колебаний, протекающих в воздухе, по экспоненциальному закону.

Аналогичным образом станут вести себя и колёса механических PERPETUUM MOBILE. В случае колебательной системы момент силы тяжести на уровне симметричных углов будет иметь одинаковый модуль.

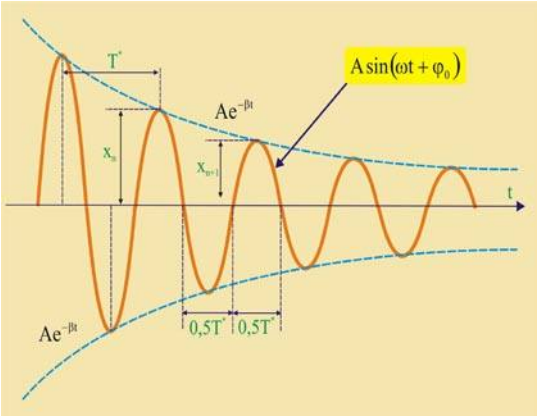


Рис. 1.90. Затухающие колебания

При конструировании PERPETUUM MOBILE авторы проектов пытаются конструктивными ухищрениями добиться разности величин таких моментов. Причём арсенал предлагаемых способов не так уж велик.

Естественно самое простое, это прикладывать внешнюю силу, не являющуюся внутренней силой для данной механической системы.

Когда такая сила используется при пуске, то это одно дело, а когда она действует постоянно, то идея вечности как-то пропадает и конструкция превращается в обычный преобразователь одного вида энергии в другой.

Поскольку момент силы определяется наряду с её модулем и плечом, то были предложены конструкции, позволяющее изменять плечи приложения сил на прямом и обратном ходу активного элемента, чаще всего разнообразных колёс.

Как правило, это достигается соответственным перемещение груза за счёт особенностей конструкции. Жаль, что все мыслимые относительные перемещения тел и их отдельных частей вызваны внутренними силами, которые, как известно не могут изменять импульс любой механической системы, включая и PERPETUUM MOBILE.

Разности моментов можно достигать, так же, изменением массы грузов путём скатывания, отсыпания, истечения и т.д. При всех известных вариантах масса грузов возрастает скачком или плавно в верхних точках рабочего колеса, а в нижних точках масса уменьшается. Основная трудность реализации такой захватывающей

идеи PERPETUUM MOBILE заключается в необходимости вещество, изменяющее массу, доставлять в верхние области колеса для организации нового цикла.

В некоторых известных конструкциях плечо и действующая сила меняются одновременно. Это приводит к существенному усложнению конструкции и результату эквивалентному всем предыдущим.

Помимо чисто механических принципов построения двигателей за всю многолетнюю историю несостоявшихся попыток их реализации были испробованы и варианты использования сил не только гравитационного происхождения.

Чаще других пытались заставить работать на идею силы инерции и силы Архимеда. В более поздние времена под знамёна вечного движения призывали силы электрического и магнитного происхождения.

Теорема моментов сил для случая рычага была доказана ещё великим Архимедом из Сиракуз (287 – 212 до с. л), на протяжении многих веков в бесконечном количестве вариантов её пытались применить в своих конструкциях изобретатели PERPETUUM MOBILE.

На рис. 1.91 приведены три конструкции двигателей, использующие постоянные по массе грузы и изменяемые плечи гравитационных сил.

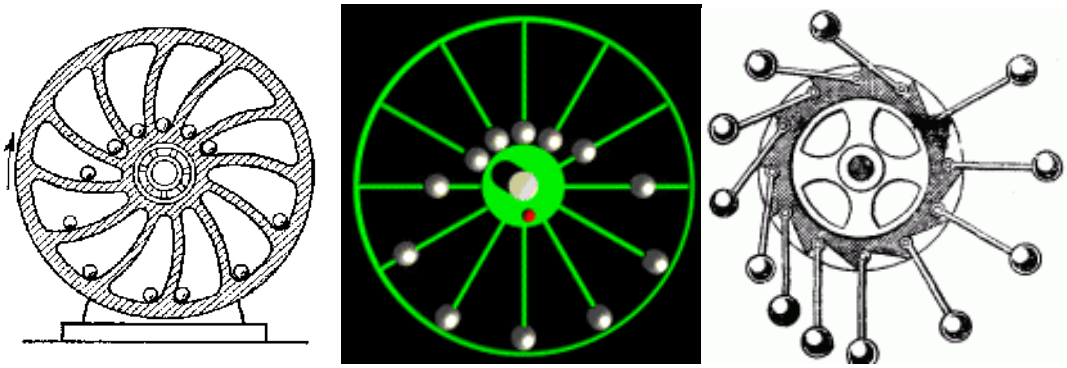


Рис. 2.62. Варианты PERPETUUM MOBILE, использующие гравитационный принцип

В первом случае изменение плеча достигается за счёт особой конструкции лабиринтов, по которым перемещаются стальные или свинцовые шары. Во втором случае шары с диаметральными сквозными отверстиями нанизаны на радиально расположенные спицы. В основу «вечности движения» третьего типа двигателя положен принцип шарнирно закреплённых грузов, положение которых фиксируется дополнительным косозубым колесом.

С каждой конструкцией связана своя захватывающая история, сопряжённая, как правило, с элементами авантюризма и профессионального пиара. Так например, во времена короля Англии Карла I Эдуарду Сомересту маркизу Вустерширскому, достаточно зрелому пятидесятилетнему дворянину вздумалось получить дополнительную известность на поприще изобретения и постройки вечно движущегося механизма.

Естественно, затея была посвящена горячо любимому королю. Строили с размахом. Колесо имело диаметр более 4 м. По 14 камерам специальной формы могли перемещаться под действием силы тяжести и наложенным связям шары массой по 22,5 кг каждый. Строительство механизма, судя по летописным данным, сопровождалось многочисленными публичными демонстрациями и разъяснениями особенностей конструкции.

Неоднократно строительство посещал король Карл I, что придавало затее особый шарм и популярность. Насколько в подробностях в различных письменных

источниках был отражен этап строительства, настолько скудны сведения об испытаниях. Такие сведения попросту отсутствуют. Известно, что после испытаний сэр Сомерест, он же маркиз Вустерширский резко переключился на строительство сухопутного парусного экипажа, что тоже было затеей с некотором смысле вполне авантюрной.

Даже у великих учёных всех времён и народов были ученики, которые пытались приумножить сои научные багажи путём участия в создании PERPETUUM MOBILE.

Например, Клеменс Септимус, один из учеников самого Галилео Галилея. Несмотря на то, что Галилей, как известно, не очень то жаловал идеи вечного движения, Септимус опубликовал проект источника вечной энергии, принцип действия которого основан на использовании барабана с подвижной непроницаемой перегородкой, пространство по обе стороны которой заполнено жидкостями с различными плотностями.

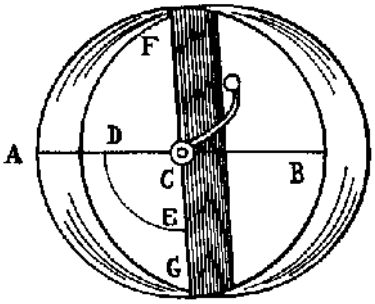


Рис. 1.92. Идея Клеменса Септимуса

Пространство FAG по намерениям Септимуса (рис. 1.92) заполнялось ртутью, а в объём FBG помещалось, например, масло. Сила тяжести, сосредоточенная, первоначально в точке D по модулю будет больше аналогичной силы тяжести объёма FBG, заполненного маслом.

Центр масс левого «ртутного» объёма начнёт, как полагал конструктор перемещаться по линии DE, увлекая за собой всю конструкцию. На самом деле в этой конструкции следует иметь в виду, что начальное положение механической системы обладает избыточной потенциальной энергией. В связи, с чем возникнут затухающие гармонические колебаний, т.к. в соответствие с законом сохранения энергии, система будет стремиться к минимизации потенциальной энергии. Никакого вечного движения не возникнет, а возникнут тривиальные затухающие по экспоненциальному закону колебания.

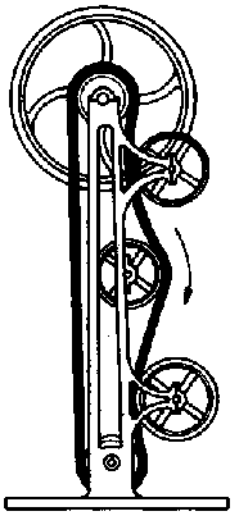


Рис. 1.93. Ассиметричный ремень

На рис. 1.93 приведена схема ещё механизма, действие которого основано на использовании ассиметричного ремня, левая часть которого соединяет шкивы напрямую, а правая часть проходит через систему роликов. Как полагали энтузиасты вечного движения, по причине того, что правая часть ремня тяжелее, то справа возникнет дополнительная вертикальная сила, под действием которой ремень станет всё время опускаться. В ряде конструкций ремень замещался цепью, что, собственно, смысла не изменяло.

После массовых неудачных попыток реализации механических проектов взоры некоторых романтиков вечного движения были устремлены на законы гидростатики и гидродинамики.

Понимая, что в жидкостях сила Архимеда многократно по модулю больше, чем в воздухе, изобретатели PERPETUUM MOBILE изощрялись в методах её использования для своих сокровенных целей.

Когда развитие цивилизации достигло уровня использования энергии ветра и воды, когда в массово начали строиться ветряные и водяные мельницы, идея вечного движения начала рассматриваться в плоскости текущей воды или всплывающих и тонущих тел.

Наблюдения за работой водяных мельниц привели к мысли организовать замкнутый цикл, создать такую конструкцию, которой бы не требовалось близость реки, пруда, озера.

На рис. 1.94 приведены три характерные конструкции водяных мельниц для помола зерновых, работающие по замкнутой траектории движения энергоносителя, т.е. воды.

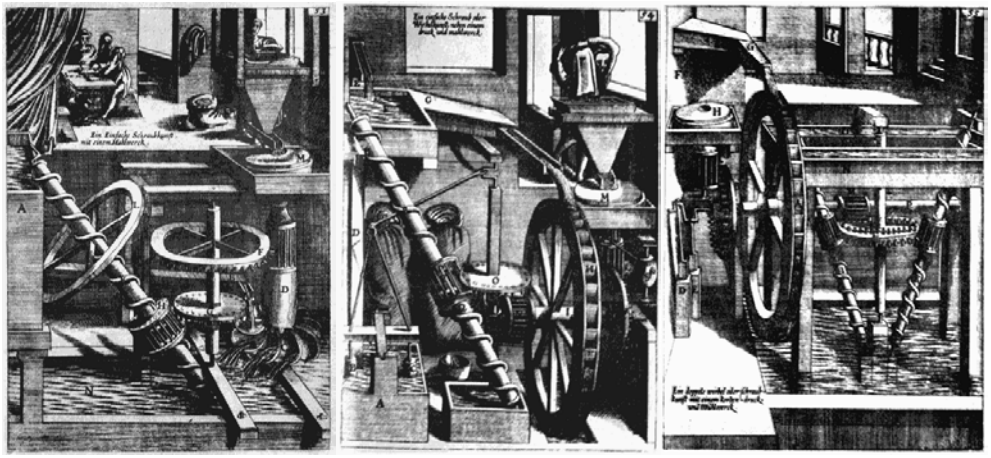


Рис. 1.94. Варианты гидравлических двигателей с сухими водяными мельницами

По большому счёту все они представляют собой сочетание винта Архимеда, который и был изобретён великим греком исключительно для подъёма воды. Правда ходят упорные слухи, что винт имени Архимеда из Сиракуз был известен ранее в Египте и Месопотамии. Но кто же теперь это установит точно, был в употреблении или не был у египтян шнек? Для данного рассмотрения не важно, кто у кого позаимствовал, важно, что его при влекли для создания PERPETUUM MOBILE.

Предполагаемый принцип работы устройств рассмотрим на примере левого рисунка. Вода из большого резервуара N шнеком (он же винт Архимеда) поднимается в резервуар A, из которого по специальному лотку B падает на турбину D.

Турбина одновременно приводит в движение рабочий орган мельницы M и вращает посредствам двух косозубых колёс G и F винт Архимеда.

Следует обратить внимание, что в рассматриваемой конструкции впервые появляется активный элемент, напоминающий колесо водяной пропеллерной турбины, более эффективно, чем прочие устройства преобразующей поступательное движение потока во вращательное движение вала.

Конструкция, показанная на среднем рис. отличается от предыдущей устройством активного элемента, здесь используется традиционное колесо с плоскими лопатками, расположенными под некоторым углом к падающему на них потоку. Кроме того используется иная схема привода.

Правая конструкция дополнена вторым винтом Архимеда, для увеличения объёма воды, поднимаемой из большого резервуара наверх. Понятно, что основная заморочка при попытке запуска таких гидравлических машин заключалась в способе поднятие отработанной воды наверх. Тут нужно было некое устройство с КПД, превышающим 100 %, иначе вечного движения не получить.

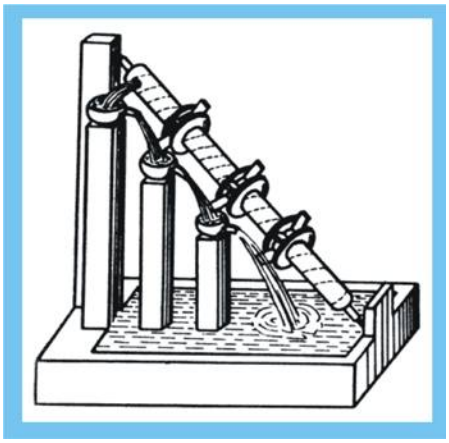


Рис. 1.95. Каскадная конструкция

Обмануть неумолимость закона сохранения энергии пытались, применяя каскады рабочих колёс. На винт Архимеда (рис. 1.95) насаживались несколько колёс, расположенных на разной высоте.

Архимедов винт имел спиральные лопасти на внутренней поверхности основного цилиндра. По замыслу авторов винт Архимеда должен был поднимать воду на уровень самого верхнего резервуара, из которого она должна была попадать не в основной нижний резервуар, а вряд промежуточных.

Струи, истекающие из промежуточных резервуаров, должны были по мысли конструкторов дополнительно раскручивать винт, повышая тем самым вероятность возникновения вечного движения.

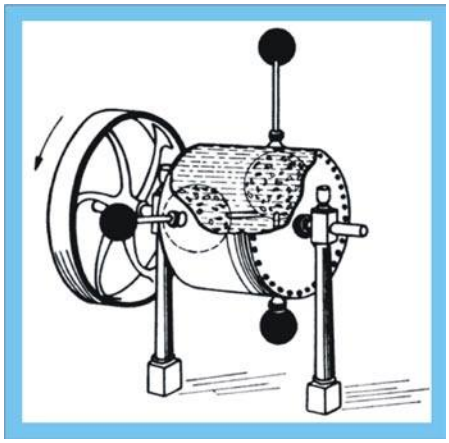


Рис. 1.96. Поплавковая схема

Коэффициент полезного действия лучших образцов турбин современных гидроэлектростанций не на много превышает 80%, а колёса, используемые в рассматриваемых конструкциях PERPETUUM MOBILE, имели КПД ниже 50%. Естественно, что при таком раскладе трудно рассчитывать на успех заманчивого предприятия.

Известны попытки непосредственного использования силы Архимеда (рис. 1.96). Внутри герметичного, заполненного жидкостью барабана располагались пересекающиеся тяги, с насаженными на них пробковыми поплавками сферической формы.

Тяги через специальные уплотнения выступали над внешней боковой поверхностью цилиндрического барабана. На внешних концах тяг были закреплены грузы, которые по замыслу разработчиков должны были перемещаться всплывающими поплавками, создавая необходимую разность моментов силы тяжести относительно оси вращения барабана. Таким образом, сила Архимеда в данном случае использовалась в качестве регулятора величины момента сил тяжести.

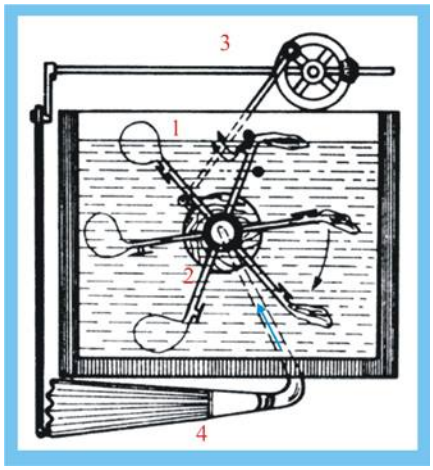


Рис. 1.97. Гидравлика и пневматика

Изменяющаяся сила Архимеда использовалась в проекте двигателя, схема которого изображена на рис. 1.97. В жидкости *1* находится ротор, снабжённый шестью полыми стержнями *2*, входящими в трубу с продольной щелью, являющуюся одновременно приводным валом.

На периферии полых стержней располагались эластичные ёмкости, которые через щель в полом приводном валу могли заполняться воздухом, для чего предназначалось устройство, состоящее из кривошипа *3* и воздушного меха *4*.

Работа этого двигателя представлялась ав-

торами происходящей по следующей схеме. После внешнего пуска механизма, за счёт периодического сжатия и растяжения меха, снабжённого ниппелем, в нём создавалось избыточное давление воздуха. Воздух периодически поступал через полые стержни *2*, пузыри надувались, создавая дополнительную силу Архимеда, которая и обеспечивала необходимый вращающий момент.

Специальный кулачёк, находящийся над поверхностью жидкости *1*, был соединён с кривошипом. Этот кулачёк соприкасался с клапанами на полых стержнях, они открывались, и воздух их ёмкостей выпускался. Другой кулачёк, находящийся под поверхностью жидкости клапаны закрывал, эластичные ёмкости снова заполнялись воздухом.

В описанной выше конструкции, авторами, опять таки не учитывается то обстоятельство, что ко всему прочему, для наполнения эластичных ёмкостей воздухом необходимо преодолеть давление столба жидкости.

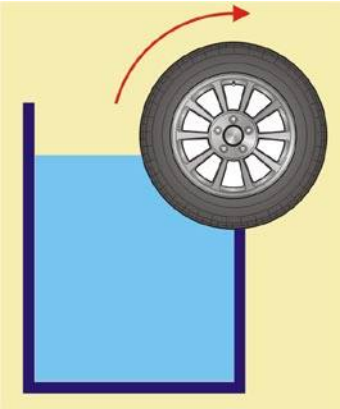


Рис. 1.98. Вращающееся Силой Архимеда колесо

Следующая конструкция гидравлического двигателя (рис. 1.98) должна была обеспечить, по мнению автора, вечное движение, за счёт превышения момента силы Архимеда над моментом сил трения колеса. Движение, естественно, не возникало, потому что вектор архимедовой силы направлен не перпендикулярно поверхности жидкости, а перпендикулярно касательной, проведенной к поверхности образующей колеса, т.е. сила Архимеда в данном случае составляет перпендикуляр с осью вращения колеса. Радиальная сила, как известно, не может вызвать движения.

В особую группу гидравлических PERPETUUM MOBILE можно выделить устройства, использующие капиллярный эффект. Идея, положенная энтузиастами вечного движения в основу этих устройств достаточно проста.

Жидкость, как правило, это вода, по фитилям или капиллярным трубкам поднимается в некий резервуар (верхний фрагмент рис. 1.99), а оттуда падает на турбину (водяное колесо), приводя её во вращательное движение по обычной схеме.

Имелись конструкции каскадных устройств с промежуточными резервуарами, расположенными на разной высоте. Резервуары гидравлически замыкались капиллярными устройствами. Двигатели, как и следовало ожидать, оказывались не работоспособными. Дело в том, что конструкторы не учитывали, что капиллярный подъём жидкости не может сопровождаться её истечением из капиллярной трубки, силы поверхностного натяжения будут удерживать уровень жидкости на срезе капиллярной трубки, так же как и из капиллярах тканей жидкость стекать не будет.

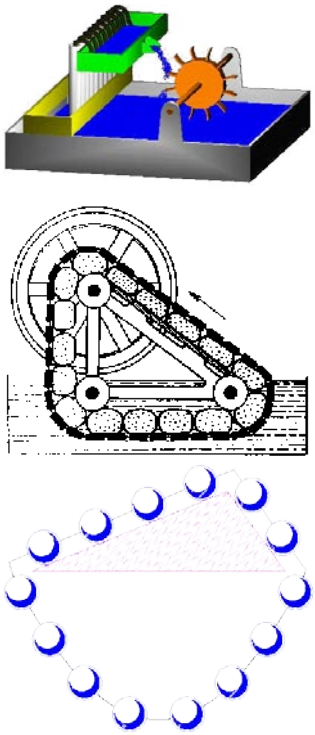


Рис. 1.99. Использование капиллярного и гравитационного эффектов

В 1832 г. в свет вышла книга Иоганна фон Поппе , изданная в Тюбингене «PERPETUUM MOBILE и искусство управления». В этом сочинении был описан двигатель Вильяма Конгрева активным элементом

которого являлась бесконечная лента из пористого вещества с цепочкой грузов по её внешнему контуру. Лента натягивалась на три ролика (средний фрагмент рис. 1.99), верхний из которых сочленялся с традиционным колесом.

Погружение двух нижних роликов в воду, по разумению изобретателя, погруженная часть ленты должна была пропитаться водой. Капиллярные силы должны были поднять воду вверх по вертикальной части ленты.

Предполагалось так же, что грузы в области наклонной плоскости своим весом должны выдавливать воду из пористой ленты. Напомним, что идея наклонной плоскости и соединённых цепью грузов не нова.

Стевин Симон сотней лет ранее предлагал эту идею (нижняя часть рис. 1.99), но, как и предыдущая гидравлическая схема была неработоспособной, по причине наступление через непродолжительное время состояние равновесия.

Неудачи на протяжении нескольких веков в строительстве PERPETUUM MOBILE ни как не поумерили пыл энтузиастов. К благородному ордену изобретателей энергетического эльдорадо время от времени примыкали и признанные классики естествознания.

Времена эпохи среднего и позднего Возрождения принесли огромное количество проектов вечных источников энергии, что в исторической ретроспективе не представляется удивительным.

Дело в том, что, как уже отмечалось ранее, эпоха Возрождения стала возможной благодаря смене политики церковного руководства в Западной Европе, выразившейся в пересмотре своего отношения к интеллектуальной деятельности человека.

Многие запреты, существовавшие в течение длительного времени были постепенно сняты. Достаточно вспомнить, что Галилео Галилей подвергался репрессивным преследованиям со стороны Инквизиции только за то, что он осмелился своим студентам фрагментарно изложить гелиоцентрическую теорию Николаса Коперника (1473 – 1543 гг.) и высказаться о ней позитивно, а Исаака Ньютона (1642 – 1727 гг.) уже не преследовали, хотя по средневековым представлениям крамолы в его гравитационном законе было куда как больше, чем у Коперника, Джордано Бруно и Галилея вместе взятых.

Другие времена, другие нравы. Послабление в запретах на научно-техническую деятельность привело к взрывообразному процессу познания окружающего Мира. Были сделаны основополагающие открытия в математике.

Ньютон и Лейбниц разработали основы дифференциального и интегрального исчисления, положенные в основу современного математического анализа. Введенные в обиход Ньютоном законы классической механики позволили осознанно подойти к формулировке законов сохранения.

Вместе с тем за короткий промежуток времени было обнаружено множество новых явлений и эффектов, которые начали интенсивно привлекать к идее создания вечных двигателей, основанных на механических, гидравлических, электрических и магнитных принципах.

2. Структура вещества

2.1. Творцы новых теорий

Творцом идеи структурного строения материи, как отмечалось ранее, принято считать Демокрита, хотя его учитель Левкипп тоже интересовался строением и структурой предметов и ставил соответствующие задачи перед свим учеником.

Дата рождения Демокрита неизвестна, а похоронен он был в 370 г. до н.э. Демокрит прожил долгую жизнь, много путешествовал, учился у халдеев и персидских магов. Все сведения об этом удивительном греке к настоящему времени обросли многочисленными легендами и домыслами.

Благодаря тому, что многочисленные сочинения Демокрита сохранились, достаточно полно в цитатах его многочисленных учеников можно представить состояние атомистики того далёкого и славного времени, времени, когда просвещение было в очень большом почёте.

Мысли Демокрита о сути Мироздания на много опережали время и лишь через несколько веков его идеи находили своё отражение в трудах потомков. Так, например, Демокритом, по сути, был сформулирован закон сохранения энергии: «Ничто не возникает из ничего и ничего не переходит в ничто».

Демокрит учил, что во всей вселенной существует бесчисленное количество миров, одни из которых только формируются, другие достигли расцвета, третьи разрушаются и гибнут. Возникновение миров, по Демокриту, происходило от вихрей, возникающих при столкновении атомов, движущихся во всех направлениях в «великой пустоте».

Демокрит занимался не только философией и естествознанием, он проводил многочисленные наблюдения над животными, вскрывал их трупы, в частности, ему принадлежит сочинение по анатомии хамелеона.

Легенда рассказывает, что однажды Демокрит сидел перед учениками на камне у моря, держал в руке яблоко (опять яблоко!) и размышлял: «Если я сейчас это яблоко разрежу пополам - у меня останется половина яблока; если я дальше опять половину разрежу на две части, то у меня останется четверть яблока; но если я буду продолжать такое деление, всегда ли у меня в руке будет оставаться 1/8,16 и т.д. часть яблока? Или же в какой-то момент очередное деление приведёт к тому, что оставшаяся часть уже не будет обладать свойствами яблока?».

Рассуждая, таким образом, греческий мудрец, по сути, внедрил в сознание своих учеников два фундаментальных понятия мироздания, **понятие молекул** (когда остающееся в руке ещё является яблоком) **и атомов** (когда остаток уже не обладает свойством яблока).

Как в последствии оказалось, сомнение Демокрита, как и почти всякое бескорыстное сомнение, имело под собой самые серьёзные основания. По этому случаю и родился термин - $\alpha\tau o\mu o\varsigma$ – «не разрезаемый» и появилось сочинение « Малый диакосмос».

Более чем две тысячи лет назад Демокрит писал: « Начало Вселенной – атомы и пустота, всё же остальное существует лишь в мнении. Миров бесчисленное множество, и они имеют начало, и конец во времени. И ничто не возникает из небытия, не разрешается в небытие. И атомы бесчисленны по величине и множеству, носятся же они во вселенной, кружась в вихре, и таким образом рождается всё сложное: огонь, вода, воздух, земля. Дело в том, что последние суть соединения некоторых атомов. Атомы же не подчиняются никакому воздействию и неизменны вследствие твёрдости».

Когда умер Демокрит, Аристотелю, учителю и наставнику Александра Филипповича Македонского, было всего 14 лет. В отличие от Демокрита Аристотель учил обратному: процесс деления яблока можно продолжать бесконечно, по крайней мере, в принципе.

Учение Аристотеля, как более естественно выглядящее и понятное неискушённым умам, стало господствующим в мире. Демокрита забыли на долгие времена, а его сочинения начали уничтожаться с рвением достойным иного употребления. Интеллектуальный уровень человечества не соответствовал яркому проявлению необоснованного практикой гения древнегреческого учёного.

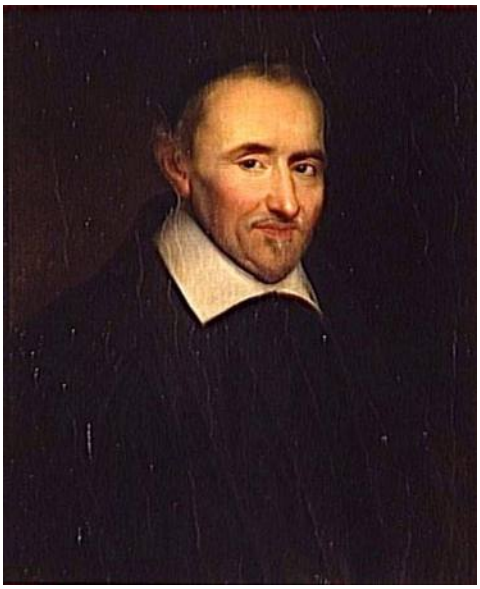


Рис. 2.1. Пьер Гассенди

После почти двадцати веков забвения идею об атомах возродил французский философ и просветитель Пьер Гассенди (1592 – 1655 гг.). Он написал специальную книгу об атомизме.

Учитывая специфику времени – это был довольно смелый поступок. Мрачные традиции средневековья могли обернуться трагедией для автора, если его идеи противоречили общепринятым догмам. Кстати, в 1626 г. в «просвещённом» Париже учение об атомах запретили под страхом смертной казни.

Однако, как шило в мешке, так и прогрессивную идею утаить довольно сложно. Даже великий Ньютон (1642 – 1727 гг.) с его девизом: «Hypothesis non fingo» проникся атомистическими настроениями и в конце третьего тома своей «Оптики» изложил эту идею в своей интерпретации: « Мне кажется вероятным, что Бог вначале создал материю в виде сплошных, массивных, твёрдых, непроницаемых, движущихся частиц таких размеров и форм и с такими другими свойствами и с такими пропорциями к пространству, которые наилучшим образом служат той цели, для которой Он их создал, и что эти простейшие частицы, будучи твёрдыми, несравненно прочнее, чем любые другие тела, составленные из них; даже настолько прочны, что никогда не изнашиваются и не разбиваются на куски: никакие обычные силы не в состоянии разделить то, что Бог создал сам в первый день творения».

Говоря о средневековье нельзя не упомянуть первого русского учёного Михайло Васильевича Ломоносова (1711 – 1765 гг.), который был последовательным сторонником атомистики и непримиримым противником теплорода (о нём речь впереди).

За 40 лет до Лавуазье Ломоносов систематически использовал весы в химических исследованиях. За 30 лет до Гершеля он открыл атмосферу на Венере. Причину тепла и холода Михайло Васильевич объяснял «взаимным движением нечув-

ствительных физических частичек». Диссертационная работа Ломоносова называлась: «Размышления о причине тепла и холода».

В протоколах Академии по этому поводу отмечено: «Адъюнкт Ломоносов слишком рано принялся за сочинение диссертаций». Наукой заправляла наёмная немчура.

Труды Ломоносова настолько были не востребованы, что даже в России его считали в большей степени придворным поэтом, а не великим учёным, создавшим отечественную научную школу и организовавшим первый университет, носящий ныне его имя.

Как замечает Я. К. Голованов, о Ломоносове писали знаменитые учёные Л. Эйлер, Д. Менделеев, К. Тимирязев, С. Вавилов, П. Капица и известные литераторы Г. Державин, А. Радищев, Н. Карамзин, В. Белинский, А. Герцен и А. Пушкин. Александр Сергеевич считал, что Ломоносов сам является первым русским университетом.

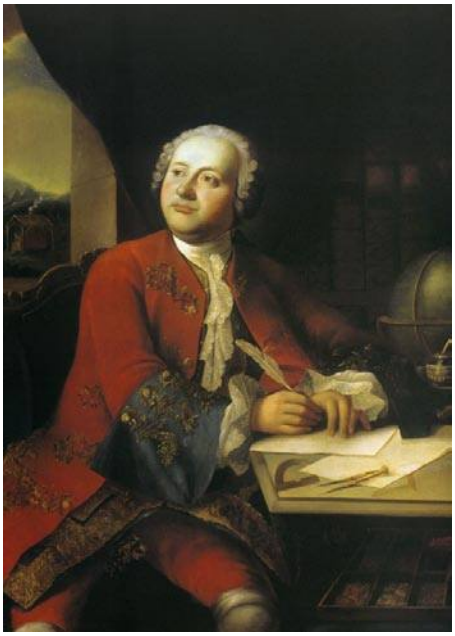


Рис. 2.2. Михайло Ломоносов

Жизнь Ломоноса не всегда была полна счастья и изобилия. Бывали времена, когда не хватало средств на пропитание. Будучи в Германии в одном из писем на Родину он жаловался: «Нахожусь болен, и при том не только лекарство, но и дневной пищи себе купить на что не имею, и денег достать взаймы не могу».

Михайло Васильевич Ломоносов ещё в середине XVII в. чётко сформулировал молекулярную гипотезу, основные элементы которой используются и в настоящее просвещенное время.

По Ломоносову частицы вещества, корпускулы – это сферические образования с шероховатой поверхностью. Ломоносов, совершенно справедливо, предполагал, что корпускулы находятся в состоянии непрерывного непредсказуемого наперёд движения.

Сталкиваясь друг с другом, корпускулы вследствие шероховатости получают вращательные составляющие движения. Идея вращательного движения оказалась весьма плодотворной при развитии энергетических подходов при анализе таких фундаментальных понятий как внутренняя энергия и температура. Эта идея является основополагающей в современной кинетической теории газов.

Во времена Михайло Васильевича при объяснении тепловых явлений активно использовали понятие теплорода, особого вещества, по сути, эфира, который якобы содержался в телах и определял их температуру.

Гипотеза теплорода эксплуатировалась ещё в Древней Греции, греки называли теплород флогистоном. Гипотеза была на удивление проста и использовала аналогию с сообщающимися сосудами. Пытаясь объяснить нагревание и охлаждение тел при их контакте, предположили, что процессы определяются количеством особой жидкости, содержащейся в телах.

При соприкосновении тел, эта мифическая жидкость подобно жидкости в сообщающихся сосудах перетекает из одного тела в другое, выравнивая их температуру. Несмотря на простоту и наивность, идея теплорода – флогистона позволила получить знаменитое уравнение теплового баланса, которое стало своеобразной ступенькой к вершинам современной термодинамики.

Ломоносов же объяснял тепловые явления вращением молекул и атомов, утверждая, что «должна существовать наибольшая степень холода, состоящая в полном покое частичек, в полном отсутствии вращательного движения их», т.е. в природе должен присутствовать абсолютный ноль температуры.

Бдения Ломоносова в области молекулярно-кинетической теории не были востребованы современниками. Только во второй половине XIX в. идеи Ломоносова нашли отражение в трудах Клаузиуса, Максвелла, и других классиков естествознания.

В июле 1749 г. Ломоносов сдал в набор свой главный термодинамический трактат «Размышления о причинах тепла и холода». Трактат составляли 34 параграфа текста, которые отчётливо раскрывали позиции автора на физические особенности термодинамических взаимодействий тел.

В первом параграфе Михайло Васильевич обосновывает развиваемые далее подходы. «Очень хорошо известно, что теплота возбуждается движением: от взаимного трения руки согреваются, дерево загорается пламенем; при ударе кремня об огниво появляются искры; железо накаливается от проковываниия частыми и сильными ударами, а если их прекратить, то теплота уменьшается произведенный огонь в конце концов гаснет…… Из этого совершенно очевидно, что достаточное основание теплоты заключается в движении. А так как движение не может происходить без материи, то необходимо, чтобы достаточное основание теплоты заключается в движении какой-то материи».

Из этого фрагмента работы, очевидно, что причиной «тепла» и «холода» Ломоносов считает преобразование механической работы в тепло. Все приведенные примеры указывают на это.

В третьем параграфе автор обращает внимание читателей на то, что теплота может возникать без видимых механических изменений состояния тела: «Так как тела могут двигаться двояким движением – общим, при котором все тело непрерывно меняет своё место при покоящихся друг относительно друга частях, и внутренним, которая есть перемена места нечувствительных частиц материи, так как при самом быстром общем движении часто не наблюдается теплоты, а при отсутствии такового движения наблюдается большая теплота, то очевидно, теплота состоит во внутреннем движении материи».

В шестом параграфе Ломоносов даёт исчерпывающие определения внутреннего движения: «Внутреннее движение мы представляем себе происходящим трояким образом:

1) нечувствительные элементы непрерывно меняют место;

2) вращаются, оставаясь на месте;

3) непрерывно колеблются взад и вперёд на нечувствительные промежутки времени.

Теперь следует рассмотреть, которое же из этих движений производит теплоту. Чтобы это выяснить, мы примем за основу следующие положения:

1) то внутреннее движение не есть причина теплоты, отсутствие которого будет доказано в горячих телах;

2) не является причиной теплоты и то внутреннее движение, которое имеется у тела менее горячего, чем другое тело, лишенное этого движения».

Заключает свой трактат Ломоносов реквием теплороду и гимном эфиру, которые в те времена были популярны среди учёного люда, особенно немецкой национальности: «…. мы утверждаем, что нельзя приписывать теплоту тел сгущению какой-то тонкой, специально для этого предназначенной материи, но что теплота состоит во внутреннем вращательном движении связанной материи нагретого те-

ла. При этом мы не только говорим, что такое движение и теплота свойственны и той тончайшей материи эфира, которой заполнены все пространства, не содержащие чувствительных тел, но и утверждаем, что материя эфира может сообщать полученное от Солнца тепловое движение нашей Земле и остальным телам мира и их нагревать, являясь той средой, при помощи которой тела, отдалённые друг от друга, сообщают теплоту без посредничества чего-либо ощутимого».

Таким образом Ломоносов, допуская существование мирового эфира, как особой субстанции, посредством которой передаётся тепло без непосредственного контакта между источниками и потребителями, отвергает гипотезу теплорода (флогистона), как специфической жидкости, определяющей количество «тепла» или «холода», содержащихся в материи.

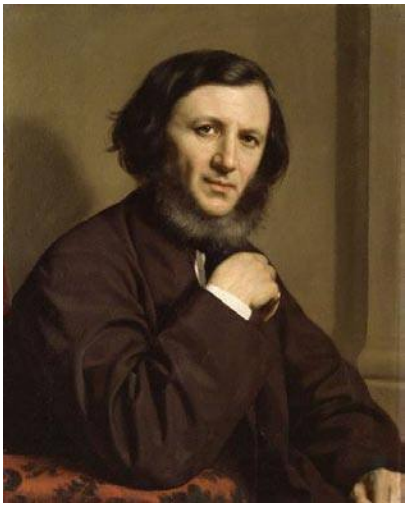


Рис. 2.3. Роберт Броун

В полной мере справедливость учений Демокрита и Ломоносова прочувствовал шотландский ботаник Роберт Броун (1773 – 1858 гг.). В 1827 г. Броун, проводя исследования под микроскопом семян хвощовых растений, обнаружил их удивительную непоседливость.

Споры сновали в капле воды, увлекаемые какими-то неизвестными силами. Статья Броуна имела типичное для того неторопливого времени заглавие: «Краткий отчёт о микроскопических наблюдениях, проведенных над частицами в июне, июле и августе 1827 г., содержащимися в пыльце растений; и о существовании активных молекул в органических и неорганических телах».

Как это принято в науке, сначала статья Броуна вызвала недоумение, чему способствовали разглагольствования самого ботаника на предмет «живой силы», присущей органическим молекулам. Тем не менее, сам факт заинтересовал учёных и голландец Карбонель (1880 г.) и француз Гуи (1888 г.) предприняли тщательные опыты и выяснили, что на степень суетливости частичек очень влияет температура и масса частичек, а проезжающие кэбы (повозки для перевозки пассажиров), положение Луны и Солнца решительно не оказывают никакого действия.

Как это ни странно, но за двадцать веков до того, такое же движения на уровне микромира представил себе и описал Лукреций Кар. А современники Броуна, специалисты в области физики целых 20 лет делали вид, что эти данные не имеют никакого отношения к их интересам. Но всё же о Броуне вспомнили.

До Броуна тоже были попытки возродить атомистические воззрения. Учитель из Манчестера Джон Дальтон (1766 – 1844 гг.) сформулировал понятие химического элемента, как вещества состоящего из атомов одного типа. Правда, при этом возникал вопрос: «Ввиду многообразия веществ, существует ли многообразие атомов?» Вскоре выяснилось, что элементов в природе всего 40 (к теперешнему времени уже более 100).

Большой вклад в развитие наук о строении вещества внёс наш соотечественник Дмитрий Иванович Менделеев (1834 – 1907), уроженец г. Тобольска. После более чем успешного окончания гимназии Дмитрием, семья Менделеевых отправилась в Петербург. К тому времени отец будущего физика и химика умер, и все заботы о будущем детей легли на мать.

В виде исключения Менделеева осенью 1850 г. приняли на физико-математический факультет Петербургского Главного педагогического института.

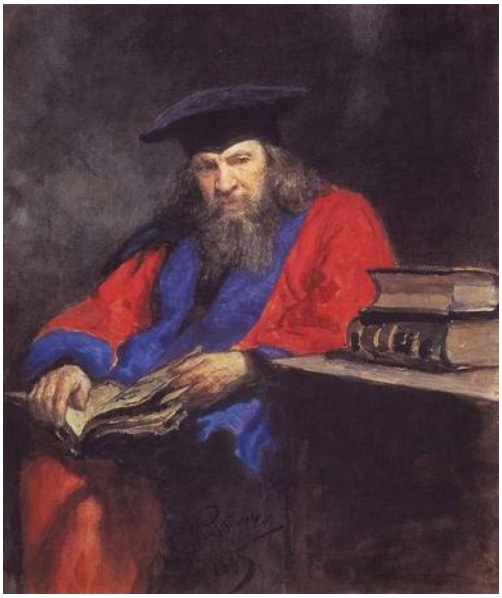


Рис. 2.4. Д.И. Менделеев

По теперешним понятиям студенты находились на казарменном положении. Выход в город разрешался только на непродолжительное время и с разрешения смотрителей.

В Педагогическом институте Менделеев слушал лекции математика – Остроградского, физика – Ленца, химика – Воскресенского и других научных светил того времени.

Дмитрий Иванович закончил институт с золотой медалью в 1855 г. После успешной защиты через год магистерской диссертации Дмитрий Иванович аттестовался на звание приват-доцента.

Аттестационная работа «О строении кремнезёмных соединений», которая была высоко оценена учёным советом Петербургского университета, и послужила основанием для утверждения автора в звании доцента. Менделеев стал преподавать в университете органическую химию.

В 1859 г. Менделеев был командирован в Гейдельберг на стажировку, где, производя «домашние» опыты в области физической химии, открыл существование критической температуры, т.е. температуры при которой вещества могли существовать только в газообразном состоянии.

По возвращении из Германии Менделеев не смог в середине учебного года найти преподавательской работы. Образовавшееся свободное время он потратил на написание учебника по органической химии, который опубликовал в 1861 г.

В 1864 г. Менделеев был избран профессором кафедры химии Петербургского технологического института. В январе 1865 г. Дмитрий Иванович защитил докторскую диссертацию. В своём квалификационном исследовании на основании анализа изменения удельного веса от процентного содержания спирта в воде, Д.И. Менделеев установил, что самую большую плотность имеет раствор, в котором соотношение между молекулами спирта и воды составляет один к трём, т.е. в объёмном соотношении это составляет 60 % воды и 40% спирта. Знакомое соотношение, не правда ли?

Работая в области химии, Дмитрий Иванович понял, что химические свойства веществ зависят от их физических характеристик. Он тщательно изучил имеющиеся описания свойств элементов и их соединений. Никакой упорядоченной системы химических элементов не существовало. Заготовив по количеству известных на то время элементов, Менделеев записал на каждую из них соответствующие названия, атомные веса, формулы основных соединений и свойства. Анализируя всю совокупность карточек, учёный пришёл к выводу, что свойства элементов меняются в соответствии с изменением их атомного веса. Расположив элементы по мере нарастания атомного веса, Менделеев получил свою знаменитую периодическую таблицу элементов (рис. 2.5), которая стала самой яркой страницей в творческой биографии исследователя.

Далее Дмитрий Иванович заинтересовался состояние газов при высоких давлениях. Председатель русского технического общества П.А. Кочубей изыскал средства на оборудование лаборатории и содержание сотрудников. Результат работы лаборатории под руководством профессора Д.И. Менделеева, наряду с прочим,

ознаменовался созданием знаменитого и в наши дни уравнения состояния идеального газа.

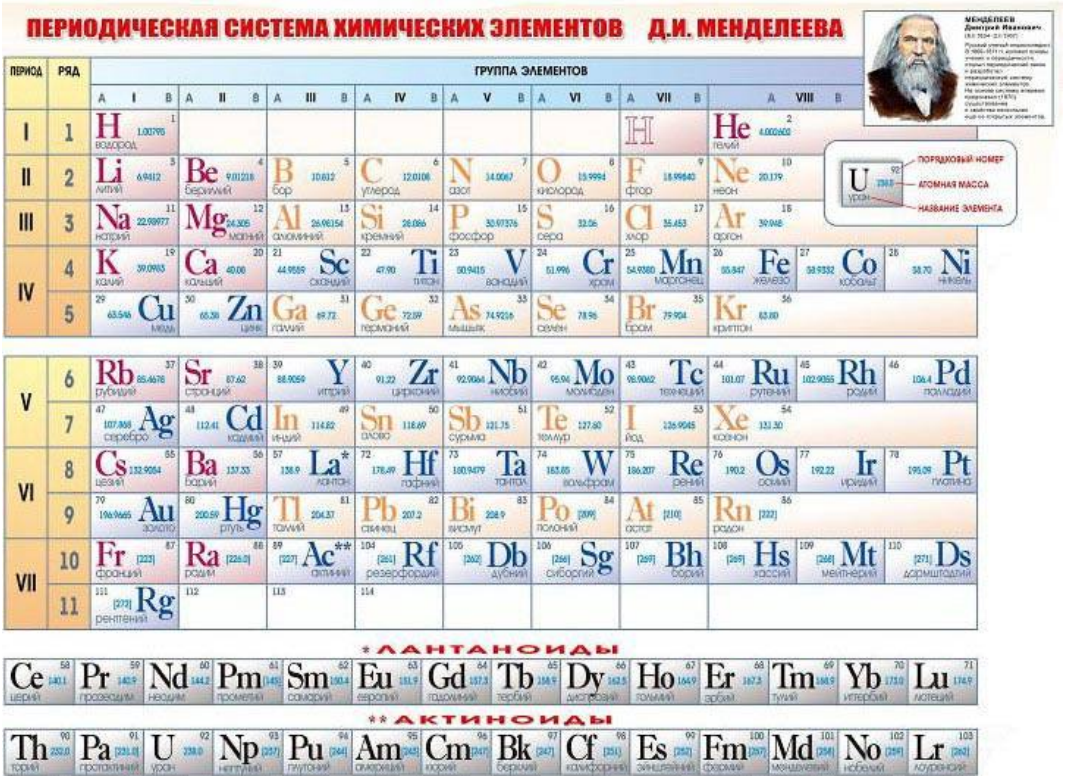


Рис 2.5. Периодическая таблица элементов Д.И. Менделеева

Использующееся широко на практике уравнение Бенуа Поля Эмиля Клапейрона (рис. 2.6)

$$PV = BT \quad ,$$

где P – давление, V – объём, T – абсолютная температура, B – постоянная Клапейрона было весьма неудобным.

Неудобство этого уравнение заключалось в том, что для каждого газа необходимо было экспериментально определять величину B.

Другими словами, в этой размерной постоянной величине были зашифрованы все индивидуальные физические свойства газа.

Менделеев на основании своих физико-химических представлений о свойствах веществ, записал в простой и логически обусловленной с позиций молекулярного строения вещества форме

$$PV = \frac{m}{\mu} RT ,$$

где R – универсальная для всех газов постоянная величина, m – масса газа, μ – молярная масса. О глубоком физическом смысле этого уравнения состояния идеального газа разговор впереди.

Рис. 2.6. Клапейрон

Несмотря на мировую известность в своём отечестве Д.И. Менделеев официально настоящим учёным не считался, ему несколько раз под разными предлогами было отказано в приёме в действительные члены российской академии наук, хотя он состоял в этом звании в более чем десять иностранных академий.

В 1890 г. министр просвещения граф Делянов настоял на увольнении профессора Менделеева Д.И. из университета. Причиной такой неслыханной несправедливости стали высказывания профессора об умственных способностях чиновников от просвещения, которым подчинялись институты и университеты.

Закончил свою научную карьеру Дмитрий Иванович хранителем палаты мер и весов, где он не преминул блеснуть своим универсальным талантом, создав точнейшие эталоны веса. Учреждённая после смерти Менделеева медаль его имени считается самой престижной наградой среди учёных, занимающихся физикой и химией.

Долгое время в молекулярной физике и термодинамике существовала путаница между двумя фундаментальными понятиями, **количеством тепла и температурой**. Произвольное манипулирование этими понятиями затрудняло оценку достоверности выдвигаемых теорий молекулярной физики и термодинамики.

Ясность была внесена английским исследователем Дж. Блэком (1728 – 1799 гг.), изложившим свои взгляды в курсе лекций по химии, где присутствовал раздел «Об особенностях тепловых явлений».

Исследуя линейные характеристики шкал термометров, учёный пришёл к идее физического различия двух характеристик термодинамических явлений: теплоты и температуры.

Для подтверждения своей идеи Блэк обнаружил вначале срытые теплоты и охарактеризовал вещества удельными теплоёмкостями. Блэк был последовательным сторонником теплорода, поскольку отказывался верить в подвижность структурных элементов в твёрдых телах.

Рис. 2.7. Дж. К. Максвелл

Во всей истории физики таких универсальных гениев было меньше, чем пальцев на одной руке. Имя Джеймса Клерка Максвелла (1831 – 1897 гг.) можно смело ставить в один ряд с Ньютоном, потому что широта его научных интересов, где обнаружились, оставленные им, гениальные результаты, трудно поддаётся воображению.

Он работал в области небесной механики, теории молекулярного строения вещества, теории газов, теории цветового зрения, электродинамики и ещё ряде других смежных областей физики.

Родился Максвелл в Эдинбурге в семье состоятельного юриста, имеющего в собственности поместье в Шотландии. Отец, будучи образованным и культурным человеком, старался всячески способствовать развитию творческого потенциала сына.

В пятнадцать лет юный Максвелл, увлечённый геометрией, выполнил первую в своей жизни научную работу. Он представил на суд общественности простой, но неизвестный ранее способ вычерчивания овальных фигур.

Затем было образование в Эдинбургском и Кембриджском университетах. После окончания Кембриджа Максвелл получил приглашение на должность профессора колледжа города Абердина, где научная работа продолжилась в области теоретической и прикладной механики.

В этот же период Максвеллом решена задача о происхождении колец Сатурна, в которой он теоретическими методами доказал, что кольца состоят из отдельных частиц.

Приобретя определённую известность в академических кругах, Максвелл возвращается в Лондон заведовать кафедрой физики Королевского колледжа. Именно в лондонский период Максвеллом выполнены фундаментальные работы по кинетической теории газов.

Кембриджский университет пригласил своего бывшего студента возглавить кафедру экспериментальной физики и организовать при ней исследовательскую лабораторию названную в честь Генри Кавендиша, учёного впервые «взвесившего» Землю, т.е. определившего экспериментально с помощью крутильных весов точное значение гравитационной постоянной.

Работа, которая принесла Максвеллу широкую известность, относилась к молекулярной физике. В 1859 г. он выступил на заседании Британской ассоциации содействия развитию наук с докладом, в котором дал теоретический вывод уравнения, характеризующего распределение молекул газа по скоростям.

Уравнение позволяло определить «среднее число частиц, скорости которых лежат между определёнными пределами, хотя скорость отдельной частицы изменяется при каждом столкновении».

По сути, Максвелл уточнил Роберта Клаузиуса, который при построении своей версии молекулярно-кинетической теории оперировал только среднеквадратичными величинами скоростей.

На основании теоретических исследований Максвелл заключил: «Скорости между частицами распределяются по тому же закону, по которому распределяются ошибки между наблюдениями в теории метода «наименьших квадратов» т.е. в соответствии со статистикой Гаусса».

Это было первое введение в методику исследования динамики молекул статистических методов, что стало прологом использования статистических и вероятностных методов при описании состояния сложных физических систем.

Максвелл пришёл к выводу, что единичные акты столкновения молекул подчиняются механике Ньютона, т.е. к ним применимы законы Ньютона и законы сохранения, потому что процессы строго детерминированы. Ввиду невообразимо огромного числа одновременно взаимодействующих частиц, необходимо привлекать для их интегрального описания вероятностные методы.

На основе развитых теоретических представлений Максвеллу удалось объяснить, полученный экспериментально, закон Авогадро, определить среднюю длину свободного пробега молекул и построить теорию явлений переноса (диффузии, внутреннего трения, теплопроводности).

Жозеф Луи Гей-Люссак (1778-1850 гг.) всегда считал себя химиком, хотя открытый им закон простых объёмных соотношений сыграл значительную роль в формировании молекулярно-кинетических представлений о строении вещества.

Рис. 2.8. Гей-Люссак

Получив строгое католическое образование в небольшом французском городке Сен-Леонар, Жозеф продолжил образование в Париже в пансионе Сансье, где раскрылись его незаурядные

математические способности. Далее была Парижская Политехническая школа, где Гей-Люссак встретился с Клодом Луи Бертолле, который преподавал химию.

Эта встреча определила судьбу молодого человека, решившего посвятить себя науке. В 1802 г. Гей-Люссак получил должность ассистента в Политехнической школе. В этом же году, независимо от Джона Дальтона открыл закон теплового расширения газов, с изучения которого начинаются многие школьные и университетские икурсы молекулярной физики.

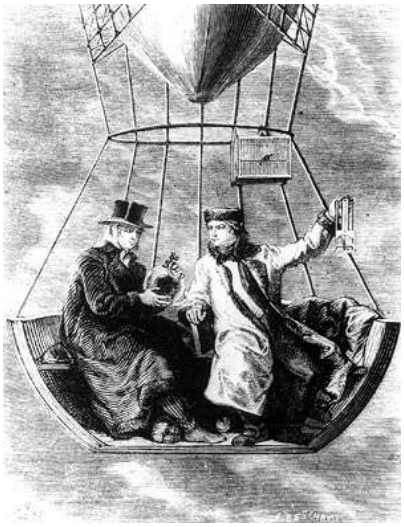


Рис. 2.9. Гей-Люссак и Био на воздушном шаре

Чтобы установить распределение температуры по высоте земной атмосферы и её влажность Гей-Люссак вместе Жаном Батистом Био в 1804 г. поднялся на воздушном шаре и провёл оригинальные измерения (рис. 2.9).

В 1805 г. Гей-Люссак совместно с Александром фон Гумбольдтом, изучая отношения объёмов реагирующих газов, установили, что один объём кислорода соединялся с двумя объёмами водорода.

Результаты многочисленных экспериментов Гей-Люссак опубликовал в 1808 г. в работе «О соединении газообразных тел друг с другом», где на основе эксперимента доказал, что газы соединяются друг с другом в достаточно простых соотношениях, а уменьшение объёма после соединения закономерно.

Используя сформулированный закон, представлялась возможность расчётным путём получать ещё неизвестные плотности газообразных веществ. Гей-Люссак по этому поводу писал: «Наблюдение, что разные виды горючих газов соединяются с кислородом в простых отношениях 1:1, 1:2, даёт нам в руки средство определять плотности паров горючих веществ или покрайней мере найти её приближённо. Если мысленно попытаться перевести все применяемые вещества в газообразное состояние, определённый объём каждого из них будет соединяться с равным или двойным объёмом кислорода.».

Обсуждаемая закономерность широко использовалась современниками Гей-Люссака. Так, например, Берцелиус определил физические характеристики многих неизвестных соединений.

В заключении отметим, что рассмотрение особенностей структурного строения материи с позиций классической механики не совсем корректны, потому что законы Ньютона и многочисленные следствия из них не в состоянии описать движение вещества на уровне атомов или молекул.

Для микромира справедливы квантовые законы, так по крайней мере принято считать. Вместе с тем рассмотрение молекулярных явлений на макроуровне классической механике вполне пол силу, хотя на определённой глубине рассмотрения, квантовые эффекты всё же проявляются, например, при исследовании теплоёмкости или при рассмотрении свойств веществ вблизи абсолютного нуля.

Накопленные знания в области механического устройства мира не безуспешно переносились исследователями на смежные области исследований, в частности, на электричество и магнетизм, молекулярную физику и термодинамику.

2.2. Состояния и параметры вещества

Изучение поведения физических тел при изменении внешних условий показало, что механические величины многие возникающие явления не в состоянии описать. Так, например, таяние льда при повышении температуры, замерзание жидкости при понижении давления изменениями механических характеристик тел не объясняется.

При описании таких явлений потребовало введения новых физических величин, не характерных для механики. Одной из основных таких характеристик явилась температура, характеризующая величину внутренней энергии рассматриваемого материального объекта. Появление на арене научных исследований температуры позволило придать наблюдаемым явлениям количественный смысл.

Тепловые процессы, составившие основу термодинамики, изучались по началу на феноменологической основе, когда по экспериментальным проявлениям тех или иных эффектов пытались сформулировать некие обобщающие закономерности. Таким, образом, в основу термодинамики легли три основополагающих принципа (три начала), однако физическую сущность начал термодинамики удалось выявить только при использовании молекулярных представлений о строении вещества с использованием статистических и вероятностных методов.

Термодинамический метод исследования обладает достаточно большой общностью, формальной простотой и наглядностью. Статистический метод, использующий математику более высокого уровня, позволил термодинамические законы обосновать, дать им теоретическую интерпретацию, что, несомненно, расширило возможности самой термодинамики.

Содержание науки о молекулах можно представить в идее следующей структурной схемы (рис.2. 10).

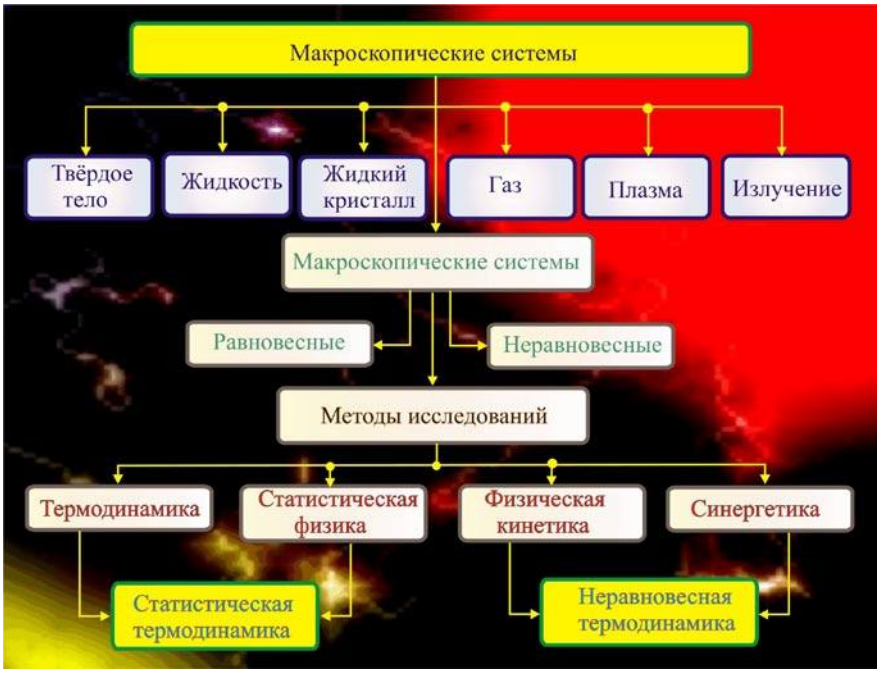


Рис. 2.10. Структура молекулярной физики

Все вещества в макросостоянии при феноменологическом рассмотрении могут в зависимости от внешних условий находиться в различных агрегатных состояниях. Макроскопические состояния характеризуются, так называемыми, макропараметрами: давлением p, объёмом V, температурой T, внутренней энергией U.

Все из известных веществ, в зависимости от значений макропараметров {p,V,T} могут находиться в различных агрегатных состояниях, основными из которых являются шесть: **твёрдое, жидкое, жидкокристаллическое, газообразное, плазменное и состоянии излучения**.

Твёрдые тела характеризуется стабильностью формы и объёма. Структурные элементы вещества в твёрдом состоянии расположены относительно близко друг к другу, они совершают колебательные движения около равновесного состояния и характеризуются достаточно интенсивными связями, имеющими электродинамическое происхождение.

Энергия взаимодействия частиц много больше энергии их теплового движения. Твёрдые тела принято делить на кристаллические и аморфные. В кристаллических телах существует дальний порядок расположения атомов и молекул. В аморфных телах такой строгой упорядоченности нет, колебания частиц происходят вокруг хаотически расположенных центров.

В кристаллических структурах между частицами действуют разные типы связей: ионные, ковалентные, металлические и др., что обеспечивает разнообразие физических и химических свойств твёрдых тел.

Так например, вещества с ионным типом связей хрупки, а металлическая связь обеспечивает веществам пластичность. Физические свойства твёрдых тел зависят от характера взаимодействия валентных электронов с ионами.

Наличие в кристаллических телах большого количества свободных электронов, не связанных с определённым объёмом кристалла, обеспечивает высокую степень теплопроводности и электропроводности, это, как правило, проводники. Аморфные тела имеют малое количество свободных электронов, поэтому обладают незначительной электропроводностью и теплопроводностью.

Жидкое состояние характеризуются тем, что атомы и молекулы расположены менее плотно, чем в твёрдых телах. Молекулы вещества в жидком состоянии сочетают свойства твёрдых тел и частично газов.

Частицы жидкости в большинстве своём совершают колебательные движения, однако некоторые из них, получив результате столкновения порцию энергии, приобретают поступательную составляющую движения.

Если это происходит вблизи поверхности, то поступательно движущаяся молекула может преодолеть силы поверхностного натяжения и перейти в парообразное состояние, чем и объясняется явления текучести и испарения.

Для жидкой фазы веществ характерно примерное равенство кинетической энергии теплового движения молекул или атомов потенциальной энергии межмолекулярных или межатомных связей. Жидкости образуют поверхности и принимают форму объёма, в который они помещены.

Жидкие кристаллы представляют собой особое состояние некоторых органических веществ, в котором они обладают реологическими свойствами жидкости – текучестью, но при этом сохраняют упорядоченность структуры, характерную для твёрдого состояния.

Жидкие кристаллы демонстрируют анизотропию ряда физических свойств, характерную для кристаллических структур. Жидкие кристаллы были открыты в 1889 г. немецким ботаником Ф. Рейницером и немецким физиком О. Леманом.

К настоящему времени обнаружено более нескольких тысяч модификаций жидких кристаллов. Жидкие кристаллы наблюдаются в виде веществ, молекулы которых имеют удлиненную цилиндрическую форму. Жидкие кристаллы благодаря своим уникальным электрооптическим анизотропным свойствам широко применяются в системах обработки и отображения информации.

Так называемые холестерические жидкие кристаллы способны изменять свой цвет в достаточно широком оптическом спектре под действием переменного электромагнитного поля, что широко используется в последнее время в телевизионных и компьютерных технологиях.

Газообразное состояние. Даже его название происходит от греческого и французского слова «хаос». Частицы веществ, находящихся в газообразном состоянии либо не взаимодействуют друг с другом вообще, либо взаимодействуют очень слабо.

Молекулы и атомы в газообразном состоянии от столкновения до столкновения движутся поступательно, взаимодействие с соседями происходит только в момент сближения. Это даёт возможность при анализе газообразного состояния учитывать только кинетическую энергия теплового движения атомов и молекул, что существенно упрощает процесс аналитического описания состояния.

Вещества в газообразном состоянии занимают весь предоставленный им объём. Газы широко распространены в природе, они составляют атмосферу Земли, газы входят в состав, практически всех жидкостей и твёрдых тел в растворённом или свободном состоянии.

В значительных количествах газы содержатся в земных горных породах, растворены в водах Мирового океана и рек. Солнце, межпланетное пространство и атмосферы планет тоже состоят из веществ в газообразном состоянии.

В отличие от твёрдых тел и жидкостей объём газов в сильной степени зависит от давления и температуры. Коэффициент объёмного расширения газов на два порядка выше, чем у жидкостей. В принципе, любое из известных к настоящему времени веществ, путём подбора соответствующих значений давлений и температур может быть переведено в газообразное состояние.

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов примерно одинаковы. Газы в состояние плазмы можно перевести внешними воздействиями, например, при увеличении температуры интенсивно происходит термическая ионизация, т.е. молекулы вначале распадаются на атомы, которые затем превращаются в ионы.

Процесс принудительной ионизации может протекать под действием электромагнитного излучения, особенно коротковолнового (γ – излучение, излучение рентгеновского диапазона, ультрафиолетовое излучение).

Можно ионизировать газ бомбардировкой заряженными частицами. Свободные электрические заряды, присутствующие в плазме, скомпенсированы суммарным положительным зарядов ионов, это непременное условие отсутствие внутри плазмы электрического поля.

Если же при внешнем воздействии такой дисбаланс возникает, то сопутствующее этому электрическое поле стремится восстановить электростатическое равновесие.

Принято классифицировать плазму как низкотемпературную и высокотемпературную. Низкотемпературная плазма характеризуется температурами порядка $T \leq 10^5$ К (0° К $\cong$ –273,15 ^{o}C), высокотемпературная плазма характеризуется температурами $T \cong 10^6 - 10^8$ К.

В масштабах галактики плазма распространена более других агрегатных состояний. Солнечный ветер в окрестностях нашей планеты так же представляет собой плазму, заполняющую магнитосферу в виде радиационных поясов и ионосферы. Именно плазмой обусловлены такие явления как северные сияния, магнитные бури и отражение радиоволн ионосферой.

В лабораторных условиях плазма получается при разного рода электрических разрядах в газах: дуговых, искровых и тлеющих. Плазма возникает в процессах горения и взрыва. Молния, включая шаровую, тоже представляет собой плазменное состояние газообразных веществ.

Излучение представляет собой способ передачи энергии посредствам электромагнитных волн в широком диапазоне длин волн. Наибольший энергетический интерес представляют излучения:

- инфракрасного диапазона $\lambda \cong 10^{-3} - 10^{-}6$ м;
- видимого света $\lambda \cong 10^{-6} - 10^{-7}$ м;
- ультрафиолетового диапазона $\lambda \cong 10^{-7} - 10^{-9}$ м;
- мягкого рентгеновского излучения $\lambda \cong 10^{-9} - 10^{-12}$ м;
- жёсткого γ – излучения $\lambda \cong 10^{-12} - 10^{-14}$ м;
- космического излучения $\lambda \leq 10^{-14}$ м.

Изучение электромагнитного излучения привело к возникновению квантовой механики.

Состояние макросистем принято делить на равновесные и на неравновесные. Статистическое равновесие замкнутой термодинамической системы предполагает, что её физические параметры, характеризующие состояние системы не изменяются во времени. Статистическое равновесие не является равновесным в механическом смысле, т.к. в системе допускается возникновение флуктуаций физических величин около равновесных значений.

Термодинамическое равновесие является состоянием системы, в которое она самопроизвольно переходит за длительный промежуток времени при условии изоляции от внешней среды.

При достижении термодинамического равновесия в системе прекращаются все необратимые процессы, связанные с рассеянием (диссипацией) энергии: теплопроводность, диффузия, химические реакции и др.

В отсутствии внешних полей и вращения системы достаточным условием её механического равновесия станет постоянство давления во всём объёме, предоставленного данной системе.

Необходимым условием равновесия является постоянство температуры и химического потенциала. Термодинамическая система находится в состоянии устойчивого равновесия в том случае, когда термодинамический потенциал системы в данных условиях минимален.

Неравновесное состояние термодинамических систем характеризуется протеканием в них необратимых процессов, ход которых направлен на возвращение системы в равновесное состояние.

Достижение состояния равновесия возможно только в том случае, если внешние энергетические источники не дестабилизируют систему, т.е. отсутствуют внешние источники и стоки энергии.

В неравновесных состояниях возможны неравновесные процессы. Так, например, если в изолированной системе имеется градиент температуры, то с течением времени этот градиент будет уменьшаться, со временем, определяемым физическими свойствами системы. Через определённое время температура во всех микрообъёмах системы станет одинаковой.

Для исследования равновесных и неравновесных состояний термодинамических систем используются несколько отличных друг от друга теоретических подходов.

Термодинамический метод исследований ставит своей целью выявление наиболее общих свойств макроскопических физических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия и особенностей процессов перехода между равновесными состояниями.

Как отмечалось ранее, термодинамический метод строится на нескольких фундаментальных принципах, являющихся обобщением большого числа экспериментальных фактов, повторяющихся для широкого круга физически неоднородных термодинамических систем, находящихся в различных физических условиях.

В этой связи соотношения между физическими величинами, полученные термодинамическими методами обладают определённой универсальностью и применимы к смежным областям знаний.

Статистический метод изучения термодинамических процессов ставит своей целью обоснование термодинамических законов равновесного состояния вещества на основании статистической механики Дж. Гиббса и вычисления термодинамических характеристик физических систем, таких как термодинамические потенциалы, уравнений состояния и др.

По сути, статистические подходы позволяют устанавливать некие общие свойства термодинамических систем, состоящих из большого числа взаимодействующих структурных элементов, электронов, атомов, ионов и молекул.

Физические параметры вещества, как например, теплоёмкость, коэффициент вязкости и другие, могут быть в рамках термодинамических подходов (феноменологическая методика) измерены экспериментально в каждом конкретном случае, а статистические методы позволяют, в принципе, эти параметры вычислять на основе анализа сил взаимодействия между отдельными атомами и молекулами.

Другими словами статистические методы используют закономерности микроскопического строения вещества и особенности взаимодействия между структурными элементами.

Физическая кинетика представляет собой микроскопическую теорию термодинамических процессов в статистически неравновесных системах. В физической кинетике используются методы классической и квантовой статистической механики для исследования процессов переноса энергии, импульса, момента импульса и вещества в разнообразных физических системах, таких как твердые тела, жидкости, газы, плазма, а так же влияния внешних физических полей.

Синергетика объединяет комплекс знаний, выявляющих общие закономерности процессов возникновения, устойчивости и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной природы, физической, химической, биологической, экологической и др.

Если сравнить природу и цивилизацию, вернее системы, созданные природой и творения ума и рук человеческих, то сразу бросится в глаза даже не специалистам, они поразительно отличаются.

Характерными свойствами природных систем является их устойчивость к различного рода внешним воздействиям, самообновление и самоусложнение.

Искусственно созданные системы, особенно в последние столетия, будучи исполненные якобы рационализма демонстрируют ухудшение своих эксплуатационных характеристик даже при незначительных изменениях внешних условий.

Возникает естественное желание перенести опыт организации сложных природных систем на повседневный человеческий опыт. Это одна из основных задач

синергетики – **выявление закономерностей построения организации и возникновения упорядоченности**. В рамках синергетики описываются процессы, где целое обладает свойствами не присущими его составным частям.

Наряду с прочим синергетика изучает особенности возникновения организованного поведения структур систем под влиянием воздействий внешних физических полей, а так же зарождение и развития упорядоченности поведения вследствие протекания внутренних процессов в виде локальных неустойчивостей.

Возникновение упорядоченности вследствие неустойчивости внутренних процессов называется **самоорганизацией**, которая связана с особенностями коллективного поведения подсистем.

Синергетика, таким образом, изучает процессы организации и дезорганизации сложных систем, возникновение «порядка» из «беспорядка» и наоборот.

Так, например, в гидродинамике из хаотического турбулентного движения при определённых условиях могут возникать, так называемые, вихри Тейлора, движение в области которых более упорядочено, чем в остальном турбулизированном пространстве движущейся жидкости.

В синергетике, как правило, рассматриваются модели нелинейных неравновесных с термодинамических позиций систем, подверженных флуктуациям. При перегреве чистых жидкостей причиной возникновения конкурентной фазы (кипения) являются температурные флуктуации, обуславливающие локальные переходы жидкости в пар с образованием паровых кластерных структур.

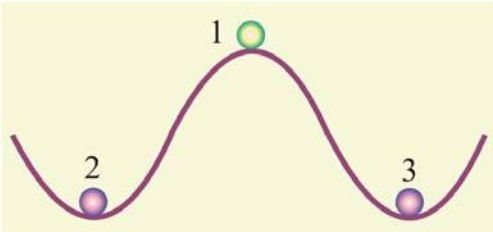


Рис. 2.11. Влияние флуктуаций на устойчивость системы

Ещё одним примером влияния флуктуаций на упорядоченность системы может служить сферическое тело, расположенное в верхней точке шероховатой синусоидальной поверхности (рис. 2.11).

Теоретически шарик может неопределённо долго находиться в точке 1, однако на практике это положение равновесия будет неустойчивым.

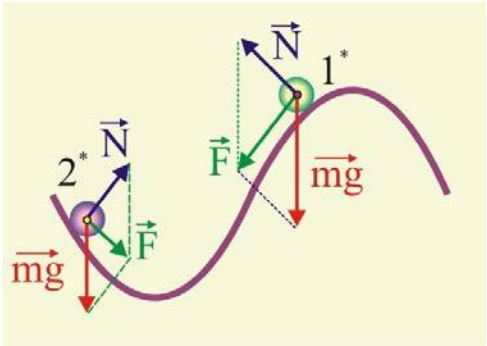


Рис. 2.12. Возникновение условий стабилизации

Под действием разного рода флуктуаций, термодинамических в частности, шарик потеряет устойчивость и под действием силы тяжести переместится либо в точку 2, либо в точку 3. Ввиду шероховатости поверхности и наличию сопротивления движению, шарик после нескольких циклов колебаний положение устойчивого равновесия.

Почему так происходит? Всё дело в возвращающей силе, которая отсутствует в положении 1 и имеет место в положениях 1 и 2 (рис. 2.12). Действительно, при нарушении состояния неустойчивого равновесия 1^* геометрическая сумма силы тяжести и нормальной реакции связи даёт результирующую силу, которая стремится переместить шарик в данном случае в положение устойчивого равновесия 2 или 3. При попадании по инерции шарика в положение 2^* возникает упомянутая возвращающая сила, приводящая к возникновению гармонических затухающих колебаний шарика, финалом которых станет состояние его устойчивого равновесия.

2.3. Атомы и молекулы

Всякий взглянувший в ночное небо может невооружённым взглядом обнаружить множество объектов от относительно большого диска Луны до далёких скоплений мириад звёзд, сливающихся в туманную дымку. Это мегамир с его огромными расстояниями и массами.

Пределы макромира, умещающиеся в масштабах нашей планеты вообразимы более легко, т.к. человек привык к таким масштабам и свободно в них ориентируется. Атомы и молекулы составляют микромир, масштабы которого тоже не соизмеримы с привычным макромиром, но в меньшую сторону.

Примерно 26 веков назад люди начали задавать вопросы о строении окружающего их мира и получать более или менее правильные ответы. Если учесть, что полных на эти вопросы ответов нет до настоящего времени, то смелость мысли Древних Греков их последовательность заслуживают самых восторженных похвал.

Упоминавшийся ранее Демокрит (460 – 370 гг. до с.л.) сделал существенный вклад в создание картины микромира. Однако такие попытки, может менее успешные, делали и до него.

Учитель всех учителей – Фалес милетский (625 – 547 гг. до с.л.) считал, что в этом мире всё состоит из воды, Анаксимен (584 – 525 гг. до с.л.) полагал, что мир состоит исключительно из воздуха, а Гераклит Эфесский (544 – ?) главенствующую роль приписывал огню.

Да, да Гераклит действительно считал огонь единственной первоосновой (строительным кирпичиком из которого построено всё остальное). Со временем, естественно, подобные упрощения сути материи заставили подобные взгляды пересматривать.

Материальный мир был не так прост. Эмпедокл (490 – 430 гг. до с.л.) апеллировал уже к четырём основным элементам, это были: земля, вода, воздух и огонь. Одним словом, всё самое главное, что окружало человека и без чего он, по мнению древних мудрецов, существовать в этом прекрасном земном мире не мог.

Эстафету любомудрия перехватил Аристотель, поучавший, что всё окружающее людей на плоской неподвижной Земле состоит из одного и того же вещества, которое, в зависимости от условий, может принимать различные свойства.

По Аристотелю фундаментальных элементов тоже было четыре: холод, тепло, влажность и сухость, однако смысл их был более философичен и туманен. Если сухое и холодное соединить, то непременно возникнет земля. При соединении горячего и холодного непременно должен воспроизвестись огонь. Влажное и холодное синтезировалось в воду. Соединяя влажное и горячее можно получить воздух.

Естественно и при такой философской зауми объяснить всё многообразие мира не удавалось, на помощь привлекалась извечная палочка-выручалочка в виде «божественной квинтэссенции».

Последнее обстоятельство особенно пришлось по вкусу ранним и средневековым теологам, что, собственно, и обеспечило теориям Аристотеля необоснованно длинную во времени жизнь.

Как это происходило в механике, астрономии и других областях знаний, которые освятил своим вниманием Аристотель, мало кто отваживался ставить под сомнение его умозаключения.

На стаже стоял мощный репрессивный аппарат всемогущей христианской церкви. Иных изгоняли из цивилизованного мира, а иных попросту жгли на кострах инквизиции. Джордано Бруно, например.

Однако была неугомонная когорта любознательных и смелых людей – алхимиков, которые, несмотря на религиозный мораторий, ставили перед собой запретные вопросы и находили на них правильные, как им казалось, ответы.

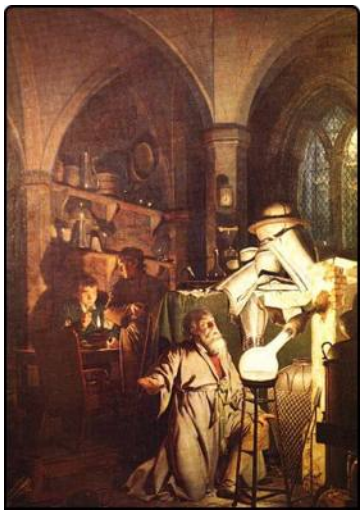


Рис. 2.13. Алхимики

Алхимики (рис. 2.13) установили, что тела могут превращаться в другие и не по воле всевышнего. Руды при плавлении превращались в металлы. При совместном нагревании меди и олова получался новый металл – бронза, свойства которого совершенно не походили ни на медь, ни на олово.

Это обстоятельство вдохновляло тружеников алхимии на смелые мечты. Они хотели найти способы превращения распространённых веществ в вожделенное золото или на худой конец в «философский камень», дающий владельцу славу, богатство, силу и продолжительную молодость.

Золота, как и следовало ожидать, алхимики не получили, хотя ставили свои бесчисленные эксперименты в течение нескольких веков на просторах Европы, Китая, Ближнего Востока.

Стремясь постичь принципы синтеза элементов, несмотря на неудачи с золотом и «философским камнем» как и с «эликсиром молодости» алхимики открыли много методов и средств трансформации одних тел в другие, тем самым, обеспечив приговор со стороны официоза себе и своей любимой науке.

Божественное то начало испарялось вовсе. Главное – продвинутые алхимики поняли, что четырёх Аристотелевых элементов явно маловато для получения всего многообразия веществ, с которыми им приходилось встречаться.

Многие вещества оказались не разлагаемыми ни на холод, ни на влажность и уж тем более ни на сухость. К таким веществам относились: ртуть, свинец, серебро, золото, сурьма и многие другие. Список элементарных составляющих требовалось расширять, не разлагаемые вещества было необходимо причислять к составным элементам мира.

В Эпоху Возрождения стали появляться исследования, имеющие более серьёзные теоретические обоснования, нежели у алхимиков. В 1668 г. английский учёный Роберт Бойль (1627 – 1691 гг.) обнародовал своё откровение «Скептический химик, или сомнения и парадоксы относительно элементов алхимиков».

На основе анализа многочисленных средневековых публикаций алхимиков Бойль приходит к выводу, что элемент – это вещество, составляющая часть тел.

Элементов по Бойлю было тоже не много, не более полутора десятков, в составе структурных составляющих вещества были по-прежнему и экзотические, такие как огонь, ему тоже приписывалась самостоятельность.

Лавуазье (1743 – 1794 гг.), французский учёный – универсал, к списку Бойля добавил новые элементы, развенчал как элементарную, субстанцию огнь, но ввёл новые абстракционизмы: теплород и световое вещество.

К концу XVIII века в списке основ мироздания уже насчитывалось 35 элементов, правда, действительных среди них насчитывалось только 23. Среди реальных элементов были и такие как едкий натр и едкий калий, которые, как оказалось, не являются элементарными.

В середине XIX в учёных фолиантах обсуждался список из 50 неразложимых веществ. Прорыв в осмыслении структурного строения наступил после открытия Д.И. Менделеевым своего знаменитого периодического закона, используя который можно было предсказывать ещё не открытые элементы.

В начале XX века учеными уже были установлены более 80 элементов и было известно, что все делимые вещества состоят из элементарных. Началось планомерное погружение в микромир. Было установлено, что простое, не разлагаемое вещество состоит из атомов одного сорта, из атомов одного химического элемента. Сложные вещества имеют в своём составе два или более простых химических элементов.

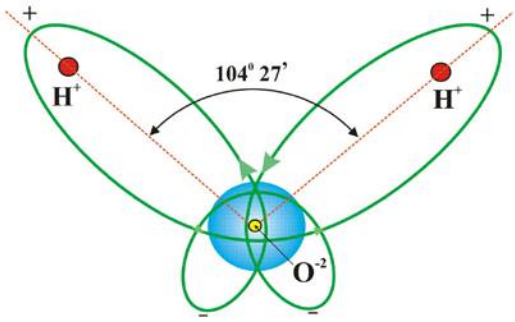


Рис. 2.14. Молекула воды H_2O

Например, молекула воды, которую в древности многие мыслители считали неделимым химическим элементом (рис. 2.14) состоит из атомов двух сортов: одного атома кислорода и двух атомов водорода.

После Демокрита и иже с ним, атомы в научную терминологию ввёл английский учёный Джон Дальтон (1766 – 1844 гг.), который в своих работах показал, что только на атомном уровне можно объяснить химические закономерности превращения веществ.

Кроме всего прочего, исследователями было обнаружено, что с точки зрения структуры вещества молекулы следует делить на два сорта. На физические и химические молекулы. Поясним в чём тут дело.

Если растворять в воде сахар, что вы делаете по несколько раз на дню, то в воде будут плавать молекулы сахара, вредного для организма, но вкусного органического вещества. А если такое же проделать с солью, NaCl, то молекулы вещества, растворившись в воде, распадутся на составляющие – на натрий и хлор.

Органические молекулы, как оказалось, в большинстве подобных экспериментов остаются сами собой, потому что атомы образующие молекулу вещества достаточно прочно связаны друг с другом. О молекулах неорганических веществ можно говорить только в химическом смысле. В парах веществ молекулы тоже существуют как самостоятельные образования.

Чтобы оценить масштабы микромира приведём такой показательный на наш взгляд пример. Тренированный человек может увеличить объём своих лёгких при вдохе примерно на $V \cong 5$ л. Принимая плотность атмосферного воздуха при нормальных условиях $\rho \cong 1{,}3$ кг/м^3 можно определить массу вдыхаемого воздуха $m = \rho V \cong 6{,}5 \cdot 10^{-3}$ кг . Далее, воспользовавшись понятием количества вещества ν, введённого в обиход уравнением состояния можно оценить количество молекул N_x, содержащихся в найденной массе воздуха

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N_x}{N_A}, \quad \Rightarrow \quad N_x = \frac{mN_A}{\mu} \cong \frac{6{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{3 \cdot 10^{-2}} \cong 1{,}3 \cdot 10^{23} \quad ,$$

где ν – количество вещества, измеряемое в молях, $\mu \cong 3 \cdot 10^{-2}$ кг/моль – молярная масса воздуха при нормальных условиях ($p_0 \cong 10^5$ Па, $T_0 \cong 273{,}16$ К), $N_A \cong 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ – число Авогадро. Оценим далее массу одной молекулы

$$m_0 = \frac{m}{N_x} \cong \frac{6{,}5 \cdot 10^{-3}}{1{,}3 \cdot 10^{23}} \cong 5 \cdot 10^{-26} \text{кг} \quad .$$

Масса молекул воздуха не является на микромире уникальной, молекулы всех известных химических элементов имеют соизмеримо малые массы. В табл. 2.1 приведены данные о массах атомов и молекул широко распространённых элементов

Таблица 2.1

№	Атом	$m_0 \cdot 10^{-27}$ кг		№	Молекула	$m_0 \cdot 10^{-27}$ кг
1	Азот	23,2		1	Азот	46,5
2	Алюминий	44,8		2	Аммиак	28,3
3	Водород	1,67		3	Вода	29,9
4	Гелий	6,64		4	Водород	3,3
5	Железо	92,8		5	Воздух	48,1
6	Золото	327		6	Гидроксид натрия	66,4
7	Кислород	26,6		7	Карбонат цинка	208
8	Кремний	46,6		8	Кислород	53,2
9	Медь	105		9	Метан	26,6
10	Натрий	38,1		10	Нитрат серебра	282
11	Ртуть	333		11	Озон	80
12	Свинец	344		12	Оксид алюминия (III)	169
13	Сера	53,2		13	Оксид ртути (II)	360
14	Серебро	179		14	Оксид углерода (II)	46,5
15	Углерод	19,9		15	Оксид углерода (IV)	73
16	Уран	395		16	Оксид урана (IV)	448
17	Фтор	31,5		17	Сульфат меди	265
18	Хлор	58,9		18	Сульфат свинца	503
19	Цинк	109		19	Хлорид натрия	97

Как видно из приведенных данных, массы молекул и атомов не разительно отличаются от массы молекулы воздуха, т.е. это весьма малые величины в масштабах нашего привычного килограммового мира.

Так, например, земля тяжелее яблока средних размеров во столько же раз во сколько атом водорода легче самого яблока. Химиками, в этой связи, было предложено массу атомов и молекул исчислять в специальных единицах массы, так называемых, **атомных единицах массы.**

В качестве эталона первоначально использовалась масса самого лёгкого элемента – водорода, однако позже договорились за эталон взять двенадцатый изотоп углерода ^{12}C и относительные массы атомов исчислять от 1/12 массы этого атома.

Атом азота в таком исчислении имеет относительную массу 14; кислорода –16; хлора – 35,5; золота – 197. Таким образом, единицу атомной массы можно представить в следующем виде

$$m_A = (1{,}66043 \pm 0{,}00031) \cdot 10^{-27} \text{кг} \quad .$$

В 1971 г. XIV Генеральной конференцией по мерам и весам в систему СИ была введена новая единица – **количество вещества**, единицей измерения которой является моль.

Моль является количеством вещества, содержащим такое же количество структурных элементов (молекул, ионов, атомов, электронов др. частиц), сколько атомов содержится в 0,012 кг изотопа углерода ^{12}C. Экспериментально это значимое для молекулярной физики число N_A определил итальянский физик и химик Авогадро (рис. 2.15)

$$N_A = 6{,}02213 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1} \quad .$$

Рис. 2.15. Амадео Авогадро

Удобство количества вещества как единицы измерения заключается в том, что один моль любого вещества содержит в своём составе N_A структурных элементов.

Число Авогадро величина обратная атомной единичной массе, измеренной в граммах т.е.

$$\frac{1}{m_A} = N_A = \frac{1}{1{,}66043 \cdot 10^{-24}} \cong 6{,}022 \cdot 10^{23} \quad .$$

Массу одного моля называют **молярной массой** и определяют численно как

$$M = N_A \frac{M_x}{\frac{1}{12} M\left(^{12}C\right)} m_0 .$$

Дробь в уравнении называется **относительной молекулярной массой вещества**

$$M_r = \frac{M_x}{\frac{1}{12} M\left(^{12}C\right)},$$

где M_x – масса молекулы или атома искомого вещества. Относительная молекулярная масса безразмерна, это видно из уравнения. Молярная же масса, будучи выраженной, в граммах на моль станет численно равной относительной молекулярной массе, однако следует не забывать, что молярная масса имеет размерность кг/моль, а относительная масса – безразмерная величина.

Для оценки характерного размера молекул лучше взять вещество в твёрдом или жидком состоянии, потому что молекулы в них более плотно упакованы, поэтому если мы будем считать, что молекулами в виде сфер заполнен весь объём образца, то ошибка в расчётах будет меньше.

Наиболее просто такую оценку провести на примере воды, которая обладает молярной массой $\mu(H_2O) = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Учитывая, что плотность воды равна $\rho(H_2O) = 10^3$ кг/м^3, определим объём занимаемый одни молем воды $V_\mu \cong 18 \cdot 10^{-6}$ м^3. В одном моле любого вещества, как известно, содержится N_A молекул, поэтому на одну молекулу приходится объём

$$V_0 \cong \frac{V_\mu}{N_A} \cong \frac{18 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{23}} \cong 3 \cdot 10^{-29} \text{м}^3, \quad \Rightarrow \quad d_0\left(H_2O\right) \cong \sqrt[3]{V_0} \cong 3{,}1 \cdot 10^{-10} \text{м}.$$

Чтобы убедиться, что порядок размеров молекул для других веществ имеет незначительный динамический диапазон, оценим размер молекул свинца, имеющего молярную массу $\mu(Pb) \cong 207{,}2\ 10^{-3}$ кг/моль и плотность $\rho(Pb) \cong 11{,}3 \cdot 10^3$ кг/м^3. Масса одного моля свинца определится из следующих соображений

$$\nu = \frac{m}{\mu}, \quad \Rightarrow \quad m\left(Pb\right) = 1\text{моль} \cdot \mu\left(Pb\right) \cong 0{,}2\,\text{кг} \quad .$$

Определим далее объём, занимаемый одним молем свинца

$$V_\mu = \frac{m(Pb)}{\rho(Pb)} \cong 1{,}77 \cdot 10^{-5}\,м^3 \quad .$$

Оценим размер молекулы свинца

$$d_0(Pb) = \sqrt[3]{\frac{V_\mu}{N_A}} \cong 3{,}1 \cdot 10^{-10}\,м \quad .$$

Подтверждением выполненных оценочных расчётов могут служить данные табл. 2.2, где приведены справочные данные о размерах молекул

Таблица 2.2

№	**Вещество**	**d_0, нм**	**№**	**Вещество**	**d_0,нм**
1	Азот (N_2)	0,32	6	Оксид серы 1V	0,34
2	Вода (H_2O)	0,30	7	Оксид углерода1V	0,33
3	Водород (H_2)	0,25	8	Оксид углерода II	0,32
4	Гелий (He)	0,20	9	Хлор (Cl_2)	0,37
5	Кислород (O_2)	0,30	10	Хлороводород	0,30

Атомы, образующие молекулы, расположены друг от друга на расстояниях, соизмеримых с размерами атомов. В табл. 2.3 приведены межатомные расстояния в молекулах некоторых веществ

Таблица 2.3

№	**Вещество**	**b_0, нм**	**№**	**Вещество**	**b_0,нм**
1	Азот (N_2)	0,11	6	Ртуть (He_2)	0,33
2	Водород (H_2)	0,07	7	Сера (S_2)	0,19
3	Гидрид натрия (NaH)	0,19	8	Фосфор (P_2)	0,19
4	Кислород (O_2)	0,12	9	Углерод (C_2)	0,13
5	Натрий (Na_2)	0,31	10	Вода (H_2O)	0,109 0,087

2.4. Температура

Повседневный опыт указывает на то, что два тела, холодное и горячее, будучи приведёнными в соприкосновение с течением времени приходят в состояние теплового равновесия. Поскольку одно из тел нагревается, а другое охлаждается, то можно сделать вывод об энергетическом обмене.

Такие понятия как «более холодное» или « менее нагретое» удовлетворяют ситуации только на бытовом уровне, да и то не всегда. Вместе с тем понятие температуры появилось в физике на основе чувственных восприятий.

Качественное восприятие температуры нашими органами чувств позволяет фиксировать относительное тепловое состояние. Но эти ощущения часто носят весьма субъективный характер, часто не отражающие действительности.

Пить чай из алюминиевой кружки кажется менее комфортно, чем из фарфоровой чашки, даже при одинаковой температуре напитка. С другой стороны, человеческий организм спокойно выдерживает в течение нескольких минут пребывание в сауне с температурой в 100 ^{0}С и более.

Даже у самых отчаянных не возникнет желание, вместе с тем, сунуть палец в кипящую воду, хотя температура воды одинакова с сауной. Субъективные восприятия температуры даже в быту обладают информативностью в достаточно узком динамическом диапазоне.

Родители грудных детей, готовя ванну для малыша, «измеряют» температуру погружением в воду локтевого сгиба, который, оказывается, может «работать термометром» с точностью ± 0,1 ^{0}С. При всех достоинствах и простоте перцепционного (чувственного) метода восприятия температуры, он слабо пригоден для количественных характеристик термодинамических и молекулярных процессов.

Первыми, кому в практической деятельности потребовалось оперировать с понятиями тепла и холода были древние врачи, занятые приготовлением лекарственных снадобий. Врачам была нужна шкала температурной градации, в частности градации температуры человеческого тела.

Врачеватели заметили, что температура тела является индикатором состояния организма. Холод по их понятиям характеризовался влажностью, а теплота тела – сухостью. Галеном во II в. с.л. была введена шкала, состоящая из 12 температурных режимов.

Чтобы оценить температуру количественно необходимо привлечь к этому процессу какой-нибудь подходящий физический процесс, ход которого бы зависел от температуры, желательно линейно.

Судя по историческим публикациям первому, кому пришла такая идея Филону Александрийскому, жившему в Древней Греции в районе 250 г. до н.э.[8]. Филон опубликовал обширный трактат «Механика», где в разделе «Пневматика» описал устройство и принцип действия первого термоскопа (рис. 2.16).

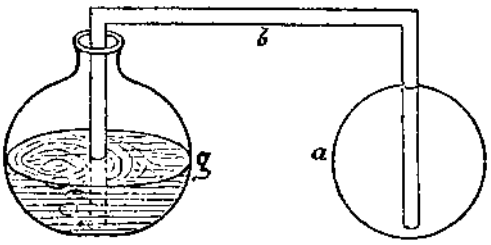


Рис. 2.16. Термоскоп Филона

Термоскоп представлял собой две связанные трубкой сферы, одна из кото-

рых была «пустой», а вторя частично заполнена водой. При помещении шара *а* на солнце из трубки во втором шаре начинают появляться пузырьки воздуха. Если затем поместить «пустой» шар снова в тень, то жидкость частично заполняет трубку.

Проводя такие опыты Филон пришёл к выводу, что объем газа зависит от температуры, хотя до написания уравнения Клапейрона – Менделеева было ещё далеко, тем не менее. Древние Греки всех удивляют соей прозорливостью.

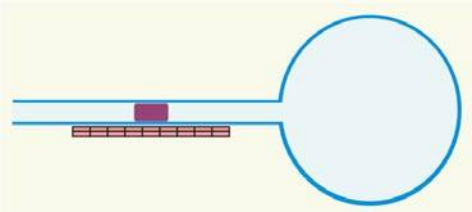


Рис. 2.17. Термоскоп Герона Александрийского

Следующим был Герон, опять же Александрийский. Он упростил термоскоп Филона, заменив сосуд с водой стеклянной трубкой с капелькой окрашенной жидкости (рис. 2.17). При нагревании или охлаждении воздуха в сферической колбе, капелька перемещалась по трубке. Для получения полноценного измерителя температуры осталось сделать последний шаг, проградуировать перемещение капли, совместив её движение со шкалой.

Количественная история науки о теплоте началась с Галилео Галилея. Галилей (1564 – 1642 гг.) был одним из первых, кто писал о механической природе тепла. Во времена Галилея в небе Европы появились две кометы . Интерес простого люда к этим небесным явлениям был огромен.

По поводу природы комет в обществе разгорелась нешуточная дискуссия, заставившая Галилея взяться за перо. Он, в отличие, от простолюдинов понимал, что свечение небесных тел связано с их нагреванием в результате механического взаимодействия со средой.

Во времена Галилея с измерениями любых физических величин была большая неопределённость. Трудности возникали даже при измерении длин, объёмов и промежутков времени. Каждая, уважающая себя местность имела свои эталоны веса, длины и времени, сравнивать которые было делом более чем хлопотливым.

Время измеряли гномонами (солнечными часами) и клепсидрами (водяными часами), были ещё песочные часы, но эти «хронометры» не обеспечивали измерения, как длительных промежутков времени, так и коротких интервалов.

Галилей придумал самый первый и простой измеритель. Наблюдая колебания паникадила в соборе в студенческие времена, он измерял период качания периодом собственного пульса. Этот же «секундомер» он использовал при определении величины уравнения свободного падения. Бросая скреплённые цепочкой чугунные ядра и равноразмерные деревянные шары с Пизанской башни, наклонное положение которой как будто специально было для этого предназначено, Галилей со своими ассистентами – студентами, обнаружил, что частота пульса представляется грубым инструментом для измерения малых промежутков времени. Пытаясь «продлить» свободное падение, Галилей стал катать шары с наклонных плоскостей с малыми углами наклонами к горизонту.

После совершенно блестящих механических экспериментов, Галилей осознал, что начинать термические исследования нужно с создания количественного измерителя температуры, попросту говоря, термометра.

Итальянский врач, физиолог и анатом С. Санторио (1561 – 1636 гг.) начал развивать биомеханический подход при изучении живых организмов. Профессорствуя в университетах Падуи, Польши, Венгрии и Хорватии при исследовании обмена веществ у человека изобрёл ряд оригинальных измерительных приборов, в частности, первый ртутный термометр.

До этого использовался термоскоп Галилео Галилея (рис. 2.7), который представлял собой сосуд *1*, с водой, с погруженной частично заполненной жидкостью тонкой стеклянной трубкой *2*, заканчивающейся расширительным объёмом *3*. Идея Галилея заключалась в том, что его прибор позволял судить о температуре по изменениям физического состояния вспомогательных сред, в частности, по изменению объёма воздуха

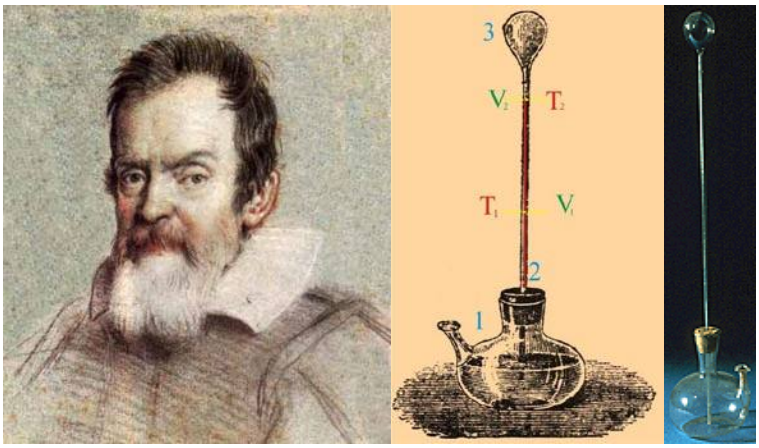


Рис. 2.18. Галилей и его термоскоп

Первые образцы термоскопов Галилея были не надёжно изолированы от атмосферного давления, поэтому меняли свои показания в зависимости от колебаний внешнего давления. Действие термоскопа подчинялось уравнению Клапейрона – Менделеева, которое во времена Галилея ещё не было написано, но как видно уже вовсю использовалось.

Такое положение вещей при изучении температуры встречается достаточно часто. Первым кто придумал использовать вместо воды и воздуха ртуть был С. Санторио.

Описание своей идеи и результаты испытаний биомеханик отправил на рецензию Галилею, который повёл себя более чем странно. Он обвинил врача в плагиате, заявив, что идея использования ртути принадлежит именно ему, хотя официальных письменных заявлений по этому поводу никогда не делал.

Как бы там ни было, но ртутный термометр появился и получил широчайшее распространение (рис. 2.19) при исследовании разнообразных физических и физиологических процессов.

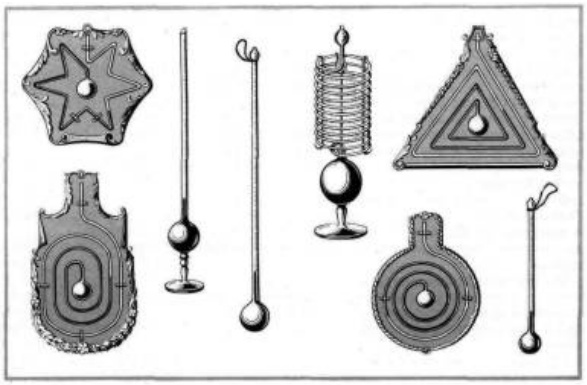


Рис. 2.19. Конструкции первых термометров

Появление такого универсального инструмента позволило установить целый ряд фундаментальных свойств окружающего мира.

Спустя всего 50 лет, после появления первого термометра, который от термоскопа отличался наличием градуированной в определённых единицах шкалы, шкалы начали градуировать, иногда весьма экзотическим образом.

Был такой период в истории молекулярной физики и термодинамики, когда каждый уважающий себя исследователь предпочитал использовать температурную шкалу имени себя любимого.

По первости температуру «измеряли» по высоте столбика воды или ртути, деления наносились произвольным образом. В 1724 г. стеклодув Габриэль Фаренгейт установил, что температура фазовых переходов воды не изменяется, при постоянстве внешнего давления.

Родилась идея использовать эти температурные точки в качестве реперных, т.е. с их помощью проградуировать температурную шкалу. Точка таяния льда по этой шкале соответствовала температуре + 32 ^{0}F (при нормальном атмосферном давлении), вода по этой шкале закипала при температуре + 212 ^{0}F, причём один градус определялся как 1/180 полного размаха.

Нулевое значение температуры Фаренгейт определил как точку замерзания смеси воды льда и нашатыря, за привычные нам 100 ^{0}F была принята нормальна температура человеческого тела, хотя как потом выяснилась эта температура соответствует 97,9 ^{0}F.

На уровне слухов известно, что эталоном нормальной температуры послужила жена Фаренгейта, которая на момент измерений была несколько нездорова, отсюда и погрешность в 2,1 ^{0}F Эти две постоянные температурные точки дали возможность прокалибровать термоскоп, что и превратило его в термометр.

Рис. 2.20. Цельсий

Спустя некоторое время, в 1742 г. шведский исследователь Цельсий (рис. 2.20) рационализировал все экзотические изыски Фаренгейта и предложил температуру таяния льда принять за 100 ^{0}C, а за нулевую – температуру кипения воды 100 ^{o}C. Поработав с этой шкалой, Андерс выяснил, что более уместно выбранные реперные точки поменять местами. Оказалось, что это удобно и практично.

Кроме того, такой подход обеспечивал сопоставление измеряемых температур вне зависимости от места изготовления и градуировки термометра. Нагреть воду до кипения или охладить её до замерзания было делом в то время совсем не трудным.

Однако, несмотря на изобретение термометров различных конструкций, практически, три сотни лет толком не знали, что измеряли, только в конце XIX в. фундаментальное во всех отношениях понятие температуры обрело теоретический смысл, обросло соответствующими уравнениями, которые не противоречили существующим теориям мироздания.

Не следует думать, что только понятие температуры рождалось долго и в муках. До настоящего времени современный научный организм так и не разрешился теориями, из которых бы стало ясно, откуда берётся элементарный электрический заряд и гравитация. Не зная, по большому счёту, что такое электрический ток, сколько всего с ним связанного придумали. А электричество это основа и перспективы современной цивилизации. Так, что ситуация с понятием температуры скорее правило в современном естествознании, чем исключение.

Тернистый путь познания сути температуры находился под постоянным воздействием следующих обстоятельств: с помощью случайно выбранного свойства веществ изменять время от времени свой объём, и посредствам вещества, оказавшегося под рукой, которое можно было заливать в трубки (ртуть), по шкале, раз-

меченной между двумя характерными состояниями другого вещества – воды (не ртути), измеряли некую физическую величину.

По вполне объяснимым причинам слёту дать определение температуры не получилось. Толком никто не понимал, что это такое и от чего «это» зависит, чем определяется. Установить взаимосвязь между «этим» и высотой столбика нагретой ртути было весьма затруднительно.

Один из первых вопросов, который задавали себе учёные: « Если ртуть заменить веществом, находящимся в газообразном или твёрдом состоянии, то, что при этом произойдёт?».

Пробовали. Термометры давали разные показания. Особенно удивила всех вода. В передах температур 0 – 4^0С, при нагревании фиксировалось уменьшение температуры. Фантастика! Однако несмотря на многочисленные непонятки, человечество пройдя через понятия флогистон и теплорода, определило таки, что есть температура и как её можно измерять.

Оказалось, что для целей измерения температуры, строго говоря, подходит любой физический параметр, для которого установлена однозначная зависимость от температуры

С измерениями температуры были связаны ещё и чисто метрологические трудности. Если имеется тривиальная линейка, градуированная в миллиметрах и сантиметрах, то ей можно измерять всё, что крупнее 1 мм, хоть непосредственно расстояние до г. Москвы от Урюпинска.

Возможности термометра любого типа сильно ограничены температурным диапазоном, в котором зависимость используемого параметра сохраняется в удобоваримых пределах. Например, чтобы измерять ртутными термометрами высокие температуры необходимо создавать в герметичной капсуле повышенное давление.

В конце концов, ученые пришли к выводу, что самым подходящим веществом для измерения температуры по теоретическим термодинамическим показателям является идеальный газ.

Термометр на его основе был бы самым точным, но есть один пустячок на пути практической реализации этой идеи, идеального газа в природе нет. Определение газа было введено в оборот Йоханисом ванн Гельмонтом в 1620 г. Слово «газ» фламандского происхождения и обозначает понятие, сходное с хаосом.

Наряду с температурой немаловажное значение для исследования физических свойств окружающего мира, термодинамических, в частности, имеет давление. При разговоре об изменении температуры мы постоянно вынуждены были поминать давление.

Атмосферное давление, как известно, тесным образом связано со свойством воздуха быть тяжёлым. А это было понято не сразу. Ещё во времена Аристотеля были изобретены насосы. Сам Аристотель объяснял подъём воды за поршнем тем, что природа не терпит пустоты и стремится при всяком удобном случае пустоту заполнить.

Дело в том, что древние атомисты принимали воздух в качестве одного из начал мира, считая эту субстанцию более духовной, нежели материальной. Такое объяснение продержалось в науке до времён Галилео Галилея, как впрочем, и все теоретические воззрения Аристотеля, включая геоцентрическую систему мира.

Практика, однако, подтачивала существовавшие в незыблемости теоретические основы, созданные давным-давно. Так, например, при строительстве фонтанов во Флоренции инженеры столкнулись с тем, что вода более чем на 34 фута (1 фут = 12 дюймам = 0,305 м), т.е. выше 10 м уровень воды насосами поднять не удава-

лось. Инженеры и строители ударили челом к непререкаемому авторитету, Галилео Галилею. Почему так, если природа по Аристотелю не терпит пустоты?

Маститый учёный по этому поводу съязвил, заметив, что вероятно природа после 34 футов перестаёт бояться пустоты. Следует заметить, что Галилей, в силу естественных обстоятельств не объявляя об этом, всю свою сознательную жизнь боролся с теоретическим наследием Аристотеля, опровергая открытыми им законами, насаждаемое церковью теоретическое наследие древнего грека.

Рис. 2.21. Э. Торричелли

Галилей поручил своим ученикам Торричелли (рис. 2.21) и Вивиани разобраться с этим «парадоксом». Торричелли (1608 – 1647 гг.) провёл серию лабораторных экспериментов, в результате которых выяснил, что ртуть за поршнем поднимается ещё на меньшую высоту, чем вода.

Вывод напрашивался сам собою. Ртуть в 13 раз плотнее воды и высота её подъёма за поршнем тоже в столько же раз меньше чем у воды. Дальше Торричелли и его ассистент Винченцо Вивиани провели совершенно простой и гениальный опыт.

Они взяли тонкую стеклянную трубку метровой длины с запаянным концом, заполнили её ртутью, зажали пальцем свободный конец трубки и перевернули её в чашку с налитой ртутью и убрали палец. Ртуть вылилась из трубки частично.

Столбик ртути около полуметра высотой трубку не покинул. Торричелли и его коллега рассудили так: если ртуть не вылилась вся, значит, имеется некая сила, которая уравновешивает силу тяжести столбика ртути, сила могла быть обусловлена только весом столба воздуха над поверхностью жидкого металла в чашке.

Рис. 2.22. Открытие атмосферного давления

Вот как об этом повествует сам Торричелли 11 июня 1644 г.: «Нами было изготовлено много стеклянных пузырьков с трубкой длиною в два локтя; мы наполняли их ртутью, придерживая отверстие пальцем; когда затем трубки опрокидывали в чашку с ртутью, они опоражнивались, но лишь отчасти: каждая трубка оставалась наполненной ртутью до высоты локтя и одного пальца».

Так состоялось **великое открытие атмосферного давления и изобретение прибора для его измерения, барометра.** Пространство между запаянным концом трубки и ртутью стали называть «торричеллиевой пустотой». Эксперимент Торричелли поставил окончательную точку в давнем споре о весе воздуха. Воздух оказался весом, после этого начались серьёзные исследования атмосферы.

Исследования Торричелли и Рене Декарта не положили конец спорам о весомости воздуха и пустоте. Серию блестящих экспериментов по изучению свойств атмосферы провёл бургомистр г. Магдебурга Отто фон Герике (1602 – 1686 гг.),

получивший добротное образование в Лейпцигском, Гельмштадском, Йенском и Лейденском университетах (рис. 2.23).

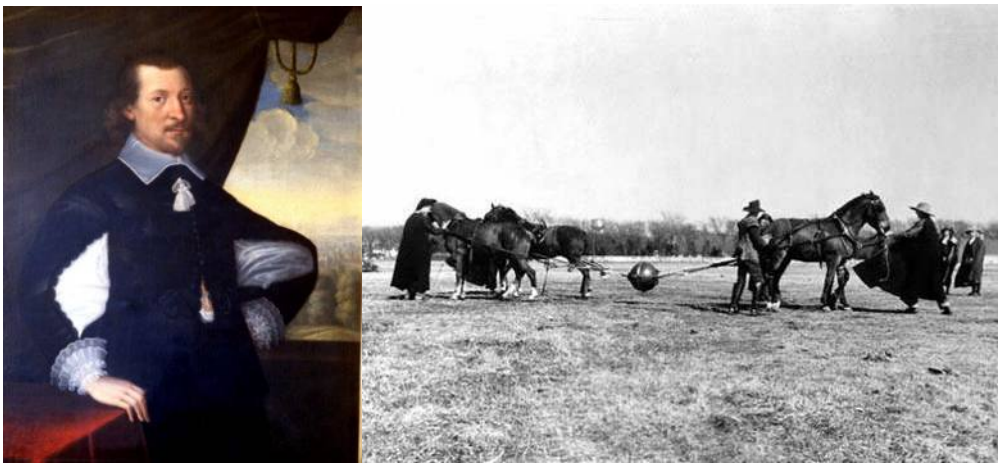


Рис. 2.23. Отто фон Герике и его знаменитый опыт с полушариями

Для начала он усовершенствовал воздушный насос, способный более эффективно, чем прежде откачивать воздух из закрытых объёмов. Герике опытным путём решил продемонстрировать наличие давления воздуха, для чего в 1654 г. были подготовлены два металлических полушария, одно из которых было снабжено штуцером для соединения с воздушным насосом.

Полушария соединили, поместив меду ними кожаную прокладку, пропитанную маслом, и откачали воздух. Сферы безуспешно попытались разъединить лошадьми. Когда же через штуцер впустили внутрь полушарий воздух, то они распались сами, без всякого усилия со стороны.

Опыт Магдембургского бургомистра показал, что если в изолированном объёме создать относительное разряжение, «пустое пространство», то за счёт разности возникших давлений, на него, со стороны внешней среды будут действовать распределённые силы, столь значительные по величине, что их невозможно преодолеть даже несколькими лошадиными силами.

Отто фон Герике продемонстрировал своими опытами материальность воздуха, его свойство вести себя, при определённых обстоятельствах, подобно жидкостям. Это послужило очередной ступенькой к восприятию исследователями идеи корпускулярности газообразного состояния материи.

Эстафету Герике подхватил ирландец по происхождению Роберт Бойль (1627 – 1691 гг.), который, по сути, разработал корпускулярную теорию вещества, попутно заложив самые первые основы молекулярной физики и физической химии.

Рис. 2.24. Роберт Бойль

Бойль позиционировал химию, как самостоятельную науку, окончательно отделив её от медицины, как решающую совсем друге, более специфические задачи естествознания.

Роберт Бойль (рис. 2.24) был тринадцатым ребёнком в семье герцога Коркского, прославившегося крутым нравом и неуёмным рейдерством близлежащих территорий.

Во времена королевы Елизаветы захват чужих земель был чуть ли не делом особой доблести. После смерти отца Роберт получил солидное наследство, которое

позволяло жить ему безбедно и заниматься наукой в своих домашних лабораториях. Болйль проводил исследования по физике, химии и агрохимии.

Прочитав работы Отто фон Герике, Бойль впечатлился результатами бургомистра и решил повторить опыты. Для этой цели он перво-наперво изобрёл оригинальную конструкцию воздушного насоса, в чём ему помогал Роберт Гук.

Насос потребовался исследователям для новой попытки доказательства присутствия в откачанном пространстве таинственного эфира, о котором начали говорить учёные, с целью объяснения непонятных физических явлений. Серия экспериментов показала, что в откачанных объёмах эфир никак не проявляется, что позволило Бойлю прийти к выводу об отсутствии такового. Пустое пространство Бойль предложил называть **вакуумом**, что по латыни означает «пустой».

Экономический кризис, разразившийся в Англии в пятидесятых ходах, заставил Бойля покинуть Оксфорд и поселится в одном из родовых имений. Вдали от университетской суеты сразу два секретаря работали над научным наследием Бойля, один записывал за ним, а другой обрабатывал уже написанное ранее.

За короткое время был закончен объёмистый трактат «Новые физико-механические эксперименты относительно веса воздуха и его проявления». Книга была издана в 1660 г. Название говорит само за себя.

В этой книге было, в частности, отмечено, что под внешними воздействиями воздух может изменять свой объём обратно пропорционально давлению. Пятнадцать лет спустя Мариотт подтвердил выводы Бойля и миру явился знаменитый закон Бойля – Мариотта, который стал основой зарождающейся молекулярно-кинетической теории.

В своих дальнейших работах Бойль подверг жёсткой критике последователей Аристотеля и Декарта, строивших свои теории на присутствии во всех опытах таинственного эфира. Сторонники корпускулярной теории строения материи восприняли выводы Бойля пониманием и с энтузиазмом, в их числе был и Христиан Гюйгенс, но были коллеги, для которых эфир был своеобразной палочкой выручалочкой. За невнятным и расплывчатым понятием легко было скрыть ущербность развиваемых ими теорий.

Бойль занимался исследованиями фазовых превращений веществ. Им установлено, что при замерзании воды она меняет свой объём. Он описал, как замерзающая вода разрывает железные трубы.

После широкого распространения температурной шкалы Цельсия у ряда учёных возникло мнение, что постоянство температуры кипения воды даёт основание рассматривать эту характеристику в качестве физической константы.

Бойль экспериментально показал, что температура кипения воды не является, строго говоря, константой, а зависит от внешнего давления. Ему, в частности, удалось достичь кипения воды при комнатной температуре, поместив её под вакуумный колпак.

Некоторые явления, наблюдаемые в экспериментах, Бойль не мог правильно объяснить и идентифицировать, как открытие. Так произошло с капиллярными явлениями. Так, например, Бойль наблюдал поднятие жидкости в капиллярных трубках, а явление поверхностного натяжения было описано позже Стоксом.

В этом нет ничего удивительного, потому что Бойль стал первым, на систематической основе, проводить эксперименты и неизвестных интересных фактов было многовато для одного, даже очень пытливого и подготовленного учёного.

Привычная для нас шкала шведского физика Карла Фридриха Цельсия (1701 – 1744) появилась в 1742 г. Цельсий не стал заморачиваться на реперные точки, лежащие в области отрицательных температур. Разбив на 100 равных частей проме-

жуток температур между температурой таяния льда и температурой кипения воды, он получившуюся шкалу перевернул в обратную сторону, чисто из практического удобства. Глубокого физического смысла в этом конечно не было, зато просто и удобно.

Две основные современные бытовые температурные шкалы Цельсия и Фаренгейта, в отличие от шкалы Кельвина, находятся в достаточно сложном соотношении (рис. 2.25)

$$t_C = \frac{5}{9} t_F - 32, \quad t_F = \frac{9}{5} t_C + 32 \quad ,$$

где t_C – температура, отсчитываемая по шкале Цельсия, t_F – температура по шкале Фаренгейта.

Все описанные выше температурные шкалы, кроме шкалы Кельвина, являются эмпирическими, они построены на основе удобство пользования, не предполагая глубокого физического смысла.

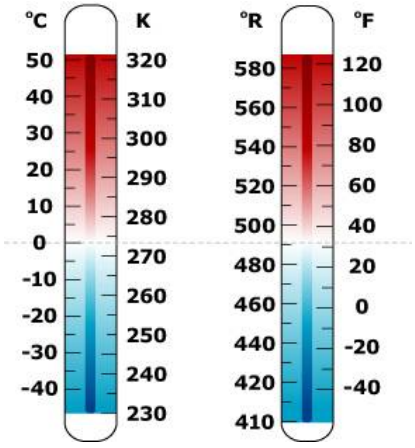


Рис. 2.25. Сравнение шкал Цельсия Кельвина и Фаренгейта

Большинство термометров в качестве принципиальной основы имеют термометрические тела, находящиеся в температурном контакте с телами, температура которых подлежит измерению. Индикатором температуры служит, так называемая, термометрическая величина. В качестве термометрического тела в современных термометрах, как правило, используют жидкость, например, – ртуть. Термометрической величиной служит объём жидкости.

В последнее время распространение получили измерители, основанные на изменении с температурой физических параметров, электрического сопротивления, ёмкости или индуктивности.

Главное чтобы зависимости используемой величины от температуры была линейной однородной функцией. В этом случае, например, для измерителя на основе термосопротивления достаточно зависимости R = f(t) сопоставить шкалу эталонного термометра.

Шкалу эталонного термометра, в свою очередь, можно получить на основе закона Бойля – Мариотта: произведение объёма газа V данной массы на его давление p зависит только от температуры

$$pV = CT \quad ,$$

Из уравнения, в частности, следует, что при $T \to 0$, должно устремляться к нулю и давление, потому что объём, связанный с массой, исчезать не может.

Это условие было принято называть абсолютным нулём температуры. Следует иметь в виду, что во многом эта величина мифическая, потому, что о ней попросту договорились.

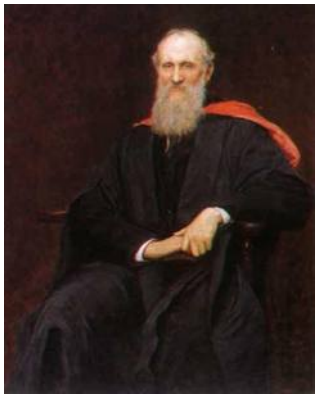


Рис. 2.26. Лорд Кельвин

Абсолютный ноль является предельно низкой температурой, которая может быть достигнута. Температуры, отсчитываемые от абсолютного нуля, называются абсолютными температурами. Единица температуры в такой шкале именуется градусом Кельвина

Термодинамическая (абсолютная) шкала температур имеет, в отличие от прочих шкал, глубокий физический смысл, так как связана с кинетической энергией теплового движения молекул, о чём будет более подробно сказано далее.

2.5. Элементы молекулярно-кинетической теории

Наблюдать воочию модель теплового движения молекул посчастливилось не физику, не химику, а ботанику, Роберту Броуну (1773 – 1858 гг.), хранителю научной библиотеки Королевской академии.

Возвратившись из очередной географической экспедиции, Броун в тиши лондонского кабинета в 1827 г. изучал посредствам микроскопа добытые экземпляры растений. Очередь дошла до цветочной пыльцы, представляющей собой, по сути, мелкодисперсные крупинки.

Капнув на покровное стеклышко капельку воды, Броун внёс туда некоторое количество цветочной пыльцы. Посмотрев в микроскоп, Броун обнаружил, что в фокальной плоскости микроскопа происходит непонятное (рис. 2.7).

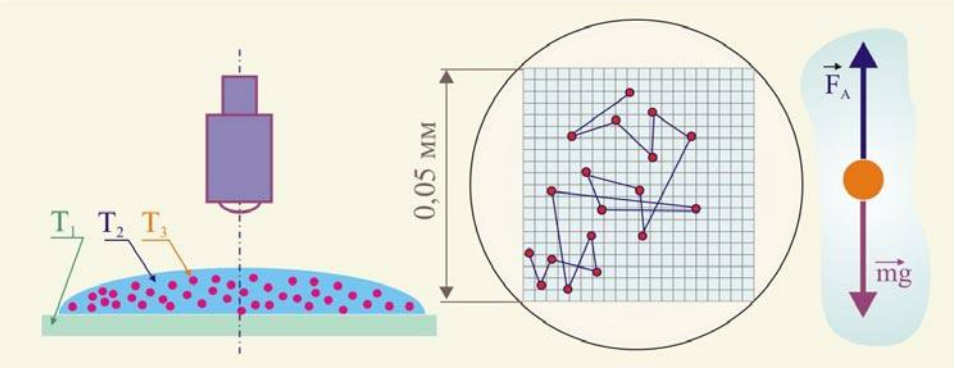


Рис. 2.27. Наблюдения Роберта Броуна

Частицы пыльцы постоянно перемещались хаотичным образом, не позволяя исследователю их рассмотреть. Первое, что пришло в голову ботанику – конвективные потоки. Разные температуры стекла T_1, воды в капле T_2 и самих частичек T_3 вполне могли вызвать конвекционные тепловые потоки, которые и увлекали объекты наблюдения.

Выждав время, когда температуры должны были сравняться, Броун снова устремил свой пытливый взор в микроскоп. Ничего не изменилось. Пыльца продолжала сновать. Пришла новая идея. На этот раз под подозрение попали английские кэбы, повозки для перевозки грузов и пассажиров, снабжённые деревянными колёсами с железными ободьями.

Как предположил Броун, катясь по брусчатке мостовой, колёса экипажей содрогали землю и здания. Было решено эксперимент перенести в загородный дом, где нет кэбов, брусчатки и вообще, там спокойнее, чем в Лондоне.

Но и эта уловка не принесла желаемых результатов. Необъяснимая суета частиц продолжалась. Исчерпав свои возможности усмирить непокорные пылинки, Броун решил поведать о своих наблюдениях коллегам.

Спустя некоторое время, факт нестандартного поведения частиц заинтересовал физиков. Голландец Корнабель в 1880 г. и француз Гуи в 1888 г. повели более тщательные наблюдения, из которых стало ясно, что степень подвижности частиц определяется их массой и температурой. Первоначально предположили, что наблюдаемые частицы движутся от ударов, получаемых от молекул окружающей их

жидкости. При несоизмеримо больших размерах частицы получают одновременно множество ударов со всех сторон, поэтому результирующий импульс должен быть равным или близким к нулю.

В этой связи заметного движения крупных частиц не наблюдается. Если рассматривать частицы мелкие, как это случилось в опытах Броуна, то количество единичных импульсов, получаемых частицей с разных направлений, будет уже не одинаковым.

Во-первых, число соударений станет несимметричным, во-вторых скорости с которыми будут подлетать молекулы жидкости к частице тоже будут неодинаковыми, поскольку они являются результатом обмена импульсами с соседними молекулами жидкости.

Такая возможная двойная асимметрия сообщает частице некий результирующий импульс, под действием которого она получает некоторое перемещение r, которое будет продолжаться, пока новый результирующий импульс не изменит направление её перемещения.

Исследователи влияние внутренних течений жидкости отбросили сразу, потому что в области течения частички должны перемещаться в одном или близком направлении, на опыте такого не наблюдалось. Соседние частицы двигались совершенно независимо.

Ботанику, можно сказать, повезло. Броун совершенно случайно в качестве объектов исследования выбрал частицы, на которые в воде действовали две силы: сила тяжести и сила Архимеда, причём модули этих сил были практически одинаковы. Частицы находились в воде в состоянии безразличного равновесия.

Физики совершенно справедливо предположили, что броуновское движение является следствием беспорядочного столкновения частиц, в результате которых они обмениваются своими импульсами и энергиями, хаотически меняя направления своих перемещений, так что средняя величина перемещения равна нулю

$$< r >= 0 \ .$$

Если перемещение броуновских частиц охарактеризовать величиной $<r^2>$, то она уже не будет эквивалентна нулю и для неё можно записать следующее уравнение движения

$$m\frac{d^2 < r^2 >}{dt^2} + \frac{1}{\zeta}\frac{d < r^2 >}{dt} - 2m < \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 >= 0 \qquad ,$$

где m – масса частицы, ζ – коэффициент подвижности частицы, связывающий её скорость v с силой сопротивления F_μ

$$v = \frac{dr}{dt} = \zeta F_\mu .$$

Сила сопротивления сферических частиц в жидкости радиусом R определяется законом Стокса

$$\zeta = \frac{1}{6\pi\eta R},$$

где η – коэффициент вязкости жидкости. Первое слагаемое в уравнении движения представляет собой удвоенное значение кинетической энергии частицы

$$2K_0 = m\frac{d < r^2 >}{dt^2} = m < v^2 > \quad .$$

Как будет показано далее, кинетическую энергию частицы можно выразить через термодинамические параметры, абсолютную температуру T и постоянную Больцмана k_B

$$\frac{m < v^2 >}{2} = \frac{i}{2} k_B T \ ,$$

где i = 3 – число степеней свободы частицы. Решение уравнение движения с учётом полученных соотношений имеет вид

$$\frac{d}{dt} < r^2 >= 2k_B T\zeta \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{mB} \right) \right\} \quad .$$

Величина $\exp(-t/mB)$ в нормальных условиях пренебрежимо мала, с учётом того, что при наблюдениях за броуновскими частицами $t >> 10^{-5}$ с. В этом случае уравнение, характеризующее квадрат среднего перемещения, перепишется следующим образом

$$\Delta < r^2 >= 2k_B T\zeta\Delta t \quad .$$

Таким образом, квадрат перемещения частицы вдоль произвольной оси r пропорционален температуре среды и промежутку времени, в течение которого перемещение происходит.

Вернувшись снова к наблюдениям Броуна и его последователей, учёные поняли, что ботаник обнаружил прекрасную физическую модель поведения молекул газа, которые, будучи предоставленные самим себе поведут подобным образом. Далее эта модель усложнялась и уточнялась, оставаясь основательным доказательным фактом теплового хаотического движения структурных элементов вещества.

Идеальные газы для проведения начального исследования молекулярно-кинетических характеристик вещества хороши уже тем, что молекулы движутся поступательно и не взаимодействуют, практически, друг с другом, как броуновские частицы.

Это существенно упрощает теоретический анализ. Молекулы газа можно считать сферическими частицами, взаимодействующими со стенками ограничивающего сосуда и друг с другом по упругой схеме.

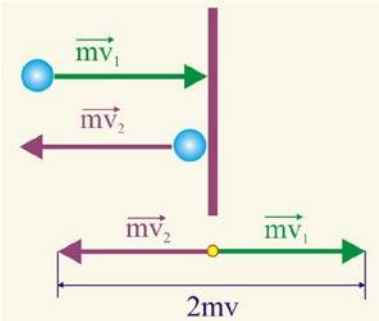


Рис. 2.28. Схема столкновения

Методы анализа столкновений абсолютно упругих шаров в классической механике наработаны, поэтому грех ими не воспользоваться.

Представим самый простой случай столкновения молекулы с твёрдой упругой стенкой (рис. 2.28), когда вектор скорости подлетающей молекулы перпендикулярен поверхности стенки. Второй закон Ньютона в этом случае представится следующим образом

$$F\tau = 2mv \quad .$$

Если молекула, что более правдоподобно, подлетает к стенке под некоторым углом α, то закон Ньютона перепишется так

$$F\tau = mv\cos\alpha - (-mv\cos\alpha) = 2mv\cos\alpha \quad ,$$

где F – сила взаимодействия, τ – время взаимодействия. Выделив единичную поверхность стенки, для единицы времени суммарный импульс представится так

$$P = 2\sum_{k=1}^{k=n} m_i v_i \cos\alpha_i \ .$$

В любом газе все направления поступательного движения молекул равновероятны, в объёме газа невозможно выделить направления, в которых бы молекулы двигались в больших количествах, а так же направления, в которых бы преобладали более быстрые или медленные молекулы.

Если бы такая ситуация практически существовала, то давление на разные стенки ограничивающего сосуда было бы различным, чего не наблюдается.

На основании проведенного анализа можно сформулировать основные положения молекулярно-кинетической теории газов следующим образом:

- Все газы состоят из структурных элементов, находящихся в постоянном хаотическом тепловом движении;
- Скорость движения молекул определяется температурой газа.
- Средние кинетические энергии молекул разных газов, находящиеся при одинаковой температуре, одинаковы.

Газ, запертый в сосуд, оказывает давление на его стенки. Это известно всем и давно. А почему это происходит и каков механизм возникновения этого явления не вполне очевидно.

Много путаницы в понимание вносят наши ощущения. Первое, что вызывает противоречивые впечатления, это ощущения атмосферного давления, вернее отсутствие его ощущений.

Действительно на поверхности моря давление атмосферного столба воздуха составляет примерно $p_0 \cong 10^5$ Па, это значит, что на каждый квадратный метр поверхности вне зависимости от её ориентации действует сила $F \cong 10^5$ Н, а на площадку $s = 1$ см^2, соответственно $F \cong 10$ Н. Это много или мало?

Достаточно, чтобы массе в 1 кг сообщить ускорение $a \cong 10$ м/с^2. Почему же в таком случае мы не чувствуем этого давления? Это не совсем объективное ощущение. Наш организм начинает болезненно ощущать атмосферное давление при взлёте и посадке самолёта, например, особенно у людей с насморком.

Это происходит от того, что давление по обе стороны барабанной перепонки (рис. 2.29) неодинаково, вследствие чего она деформируется, провоцируя дискомфортные ощущения. В нормальнром режиме носоглотки давление снаружи и внутри уха одинаково.

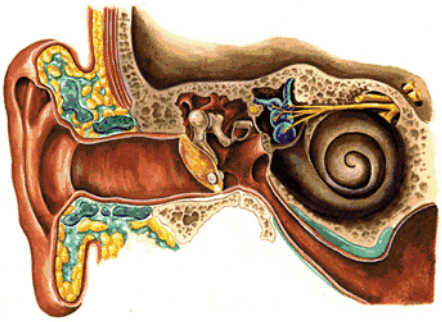


Рис. 2.29. Устройство уха

Как известно у человек, в основном, информацию об окружающем мире получает по трём независимым каналам. Мы видим, слышим и обоняем.

Последние два канала напрямую связаны с предметом настоящего рассмотрения, с молекулярной физикой. Наш слух устроен так, что волнообразные движения воздуха приводят в колебательное движение барабанную перепонку, которая подобно мембране микрофона является приёмником волн акустического диапазона 20 Гц – 20 кГц (в случае идеального слуха).

Чувствительность барабанной перепонки такова, что наши органы слуха не воспринимают отдельных ударов молекул, которые путешествуют прямолинейно со скоростями, соизмеримыми со скоростями пуль из современного огнестрельного оружия.

С пулями молекулы можно сравнивать только по скорости, то что касается массы, то тут они не совпадают примерно на 23 порядка, если принять массу пули равной 10^{-3} кг, а массу молекулы – 10^{-26} кг.

Импульс, передаваемый молекулой, будет на 23 порядка меньше, чем у пули, отсюда и столь разные эффекты. Это как при встрече комара с лобовым стеклом мчащейся автомашины. Эти два объекта получают равные импульсы, но с сильно разными последствиями для дуг друга.

Если бы наш слух, не к ночи будет сказано, стал бы «слышать» удары молекул воздуха о барабанную перепонку, то мы бы ощутили такой же звук как из телевизора, когда на него не поступает сигнала. Мы бы услышали, так называемый белый шум, состоящий из множества гармонических колебаний различных частот и амплитуд. Мы бы начали «слышать» атмосферное давление.

Закономерности поведения газа в зависимости от внешних условий определяются, так называемыми, уравнениями состояния. В простейшем случае идеального газа уравнение состояния устанавливает однозначную взаимосвязь между макропараметрами {p, V, T}. В общем виде такая взаимосвязь записывается в виде следующего уравнения

$$f(p, V, T) = 0 \quad .$$

Клапейрон экспериментально установил, что вблизи нормальных условий для многих газов справедливо соотношение

$$pV = BT \quad ,$$

где B – индивидуальная константа, пропорциональная массе газа. Это простое, но не очень удобное для практического использования соотношение выполняется для достаточно разреженных газов, когда собственный объём молекул много меньше объёма, занимаемого газом.

В этом случае молекулы при своём тепловом движении в основном движутся поступательно, взаимодействуя только при относительно редких столкновениях.

При нормальных условиях ($p_0 \cong 10^5$ Па, $T_0 \cong 273,15\ ^0$К) или вблизи них в соответствие с законом Авогадро 1 моль любого газа занимает одинаковый объём $V_\mu \cong$ 22,4 л = $2{,}24 \cdot 10^{-2}$ м^3, причём в этом объёме содержится определённое количество молекул $N_A \cong 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

Таким образом, для 1 моля любого газа постоянная B будет иметь одинаковое значение. Обозначим, как это сделал в своё время Д.И. Менделеев, константу для одного моля как R, в этом случае уравнение Клапейрона перепишется в виде

$$pV_\mu = RT \quad ,$$

константа R называется молярной или универсальной газовой постоянной. Разрешим уравнение состояния относительно R с целью определения её размерности и величины

$$R = \frac{pV_\mu}{T}, \quad \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{моль} \cdot \text{К}} = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}\right] \quad .$$

$$R = \frac{10^5 \cdot 2{,}24 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 273{,}15} \cong 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad .$$

Чтобы изменить температуру 1 моля идеального газа на 1 ^{0}К необходимо подвести или отнять у него энергию, эквивалентную 8,31 Дж.

Уравнение состояния можно записать для произвольной массы газа m, для этого умножим правую и левую часть уравнения на величину m/μ, где μ – молярная масса газа

$$p\frac{mV_\mu}{\mu} = \frac{m}{\mu}RT \quad .$$

Объём произвольной массы газа будет связан с объёма определиться в виде произведения молярного объёма V_μ на количество вещества (количество молей)

$$V = V_\mu \frac{m}{\mu},$$

следовательно

$$pV = \frac{m}{\mu}RT = \nu RT \quad .$$

Для более наглядного восприятия произведения давления на объём установим размерность левой части последнего уравнения

$$\left[\frac{m}{\mu}RT\right] = \left[\frac{моль \cdot Дж \cdot К}{моль \cdot К}\right] = Дж \qquad .$$

Таким образом, величина pV может представлять собой **либо энергию, либо работу,** потому что именно эти физические величины измеряются в джоулях. В данном случае обсуждаемая величина численно равна работе, которую необходимо совершить, чтобы ν молей газа нагреть или охладить на 1 ^{0}К, действительно

$$p\Delta V = \frac{m}{\mu}R\Delta T \, .$$

Определим значение R, приходящееся на одну молекулу газа для чего умножим и разделим правую часть уравнения (1.58) на число Авогадро N_A

$$pV = \frac{m}{\mu}N_A \frac{R}{N_A}T \, ,$$

где $\nu N_A = N$ – количество молекул, составляющих массу газа m, $R/N_A = k_B$ – постоянная Людвига Больцмана

$$k_B = \frac{R}{N_A} \cong \frac{8{,}31 Дж/моль \cdot К}{6 \cdot 10^{23} моль^{-1}} \cong 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{К} \qquad .$$

Уравнение состояния с учётом введённых величин примет вид

$$pV = Nk_BT \quad .$$

Давление газа представится следующим образом

$$p = \frac{N}{V}k_BT = nk_BT \quad .$$

С механической точки зрения давление определяется массой молекул, скоростью их взаимодействия со стенкой и концентрацией

$$p = \frac{1}{3}nm_0 < v^2 > \, ,$$

где n – концентрация молекул, m_0 = масса молекулы, <v> – усреднённое значение скорости молекул. Приравняем механическое и термодинамическое выражение давления

$$nk_BT = \frac{1}{3}nm_0 < v >^2, \quad nk_BT = \frac{2}{3}n\frac{m_0 < v >^2}{2} = \frac{2}{3}n < \varepsilon > \qquad ,$$

или

$$k_BT = \frac{m_0 < v >^2}{3}, \quad \Rightarrow \quad < v >= \sqrt{\frac{3k_BT}{m_0}} \quad ,$$

но $m_0 = \mu/N_A$, поэтому

$$< v >= \sqrt{\frac{3k_BN_AT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad .$$

Полученные уравнения раскрывают фундаментальный смысл температуры, величина которой определяется кинетической энергией молекул вещества

$$T \approx \frac{m_0 < v^2 >}{2} \approx \varepsilon_0 \, ;$$

3. Новые энергетические горизонты

3.1. Термодинамические начала

Пытаясь сформулировать суть термодинамики, можно говорить о законах обмена энергией и углубляться в их смысл и содержание, а можно сказать попроще : **«Термодинамика – это совокупность знаний, которые следуют из первого и второго начал термодинамики»**.

Первое начало термодинамики, кстати, было сформулировано до того, как учёные начали разбираться в лабиринтах молекулярно-кинетической тории, о молекулах не знали ничего или крайне мало, чтобы связывать наблюдаемые на практике процессы со строением вещества.

Внутрь вещества не заглядывали, такой подход получил название **феноменологического**, т.е. наблюдали некий феномен, описывали его и тем были неслыханно рады, потому как новые феноменологические знания приносили практические дивиденды.

Такой подход к формулировке первого начала был вполне оправдан, потому что формулируемый закон являлся продолжением закона сохранения механической энергии, к тому времени уже существовавший и не без успеха использовавшийся.

Идея, по крайней мере, была той же – энергия за здорово живешь, не появляется и бесследно не исчезает.

При формулировке закона сохранения энергии в механике по началу от термодинамических эффектов как могли, открещивались. Рассматривали только преобразование одного вида механической энергии в другой, например кинетической в потенциальную или наоборот.

Рис. 3.1. Преобразование видов энергии

Взять к примеру издревле известные песочные часы в которых песчинки, обладая избыточной потенциальной энергией приходят в движение, трансформируя её в кинетическую энергию (рис. 3.1) вследствие чего в течение определённого времени заполняется нижний резервуар.

Если бы во времена широкого распространения этого инструмента измерения времени удалось бы проследить за температурой песчинок, то обнаружилось бы, что во время перемещения в потоке они увеличивают свою температуру. Совершенно верно, потому что песчинки трутся друг о друга и об стенки колбы.

Однако, измерять нужно было время, а не температуру песка. А кирпич, пущенный умелой рукой по горизонтальной доске, в конце концов, останавливается, потому что его кинетическая энергия изна-

чально обречена обратиться в ноль. А куда же она девалась, эта самая $mv^2/2$?

Когда сообразили, что она не может исчезать бесследно, да и опыт показывал, что если кирпич запустить с приличной скоростью, то даже на ощупь в конце его скольжения можно ощутить его нагрев.

С позиций молекулярно-кинетической теории процесс преобразования механической энергии в тепло объясняется тем, что молекулы движущегося тела вследствие совершения работы против сил трения приобретают дополнительные скорости, которыми затем и обмениваются с молекулами окружающего вещества.

Впервые идея сохранения энергии возникла в эпоху владения умами исследователей философией теплорода или флогистона, особого неуловимого вещества, ответственного за процессы обмена тепловой энергией.

Рис. 3.2. Сади Карно

Сади Карно, французский военный инженер (1796 – 1832 гг.) впервые высказал идею сохранения теплорода. Механическая работа может производиться за счёт «падения» теплорода с высокого уровня на более низкий уровень.

Температура в теории Карно являлась своеобразным аналогом потенциальной энергии. Но тут возникала очередная теплородная трудность.

Теплород не имел аналога кинетической энергии, поэтому напрямую механический закон сохранения энергии перелицевать в термодинамическое одеяние не представлялось возможным.

Следует отметить, что в XVIII в. среди физиков, да и не только отсутствовало устойчивое и обоснованное понятие энергии. Осмысленно это фундаментальное понятие появилось в арсенале исследователей только в XIX в., в этой связи совершенно неудивительно, что закон сохранения энергии применительно термодинамическим нуждам впервые сформулировал судовой врач Роберт Юлиус Майер (1814 – 1827), который в своём дневнике во время плавания на остров Ява описал наблюдения корабельного штурмана, утверждавшего, что во время шторма вода в океане нагревается.

Второе наблюдение, изложенное там же, относится к цвету крови при кровопускании. Этот приём лечения, широко используемый в практике того времени, заключался во вскрытии вен и удалении из организма некоторого количества крови.

Рис. 3.3. Роберт Майер

Майер обратил внимание, что венозная кровь в условиях жаркого климата экваториальных зон отличается по цвету от крови, пускаемой в северных широтах. Уподобив человеческий организм тепловой машине, Майер предположил, что тепло, выделяемое в теле, является следствием окисления кислорода, который является своеобразным топливом для организма.

Физики идею Майера пропустили мимо своих ушей, не след прислушиваться профессионалам к гипотезам простого, хоть и образованного, судового врача.

Майер попытался в 1841 г. оформить свои идеи в виде статьи «О количественном и качественном определении силы» (под силой понималась на самом деле

энергия). Как и следовало ожидать, научные измышления в области физики доктора медицины и практикующего врача были отфутболены без комментариев.

Однако упорный доктор в 1845 г. опубликовал таки сочинение под названием «Органическое движение в его связи с обменом веществ», где помимо гипотез привёл результаты собственных экспериментов по определению механического эквивалента тепла.

Коллеги Майера – биологи, те вообще ничего в его работах не поняли, потому как находились в длительном плену идеи «жизненной силы», т.е. витализма.

Физики, биологи и даже близкие люди, совершенно не понимая идей учёного с самой большой буквы, решили, что он просто спятил и на целых 10 лет обеспечили ему общение с высокоинтеллектуальным обществом в психушке.

Только за несколько лет до смерти Майер Юлиус Роберт получил признание. Оказалось, что его идеи о возможности превращения механической энергии в тепло не являются шизофреническим бредом, оснащённым маниакально депрессивным психозом, а представляют собой передовое слово в науке

Рис. 3.4. Джеймс Джоуль

Пока Майер «сражался» с физическими профессионалами и парился в сумасшедшем доме, идея трансформации различных видов энергии в тепло пришла английскому физику Джеймсу Прескотту Джоулю (1818 – 1889 гг.), опубликовавшему в 1841 г. работу о выделении тепла в проводнике с током.

Джоуль на основании своих оригинальных опытов установил, что выделение тепла при прохождении электрического тока по проводникам происходит за счёт работы, совершаемой в батарее при протекании химических реакций. Подобно Майеру английский естествоиспытатель определил механический эквивалент тепла.

Опыты Майера и Джоуля наконец-то убедили консервативно настроенных апологетов физики в том, что идея теплорода полностью себя выработала, что теория не уничтожения теплорода, его вечность, должна кануть в лета без права возврата на страницы учебников и научных публикаций.

3.5. Герман Гельмгольц

Из патриархов физической науки первым, кто осознал всю значимость открытых Майером и Джоулем закономерностей превращения энергии был Герман Людвиг Фердинанд фон Гельмгольц (1821 – 1894 гг.), хотя в своё время своего соотечественника Майера он в упор не заметил. Пророков в своём отечестве не признавали и германцы.

Однако только после благосклонности Гельмгольца закон сохранении энергии или первое начало термодинамики стали считать «главным законом природы».

Согласно принципу эквивалентности при совершении некоторой механической работы δA должно возникать совершенно определённое количество тепла ΔQ, другими словами между этими двумя видами энергии обязана существовать прямая пропорциональная зависимость

$$\delta A = k_m \cdot \Delta Q \quad ,$$

где k_m – коэффициент пропорциональности, неизменный для всех процессов и зависящий только от системы выбранных единиц. Поскольку в системе СИ работа и количество тепла измеряются в Дж, то смысл этого коэффициента отпадает. Величина k_m получила в своё время название **механического эквивалента теплоты**.

Если бы между затрачиваемой работой и полученным количеством тепла не существовало бы такого простого соотношения, например механический эквивалент теплоты был бы различен в разных процессах, то это открыло бы широкие возможности для построения такой машины, которая бы постоянно совершала механическую работу, не получая никакой энергии извне.

А возможно и наоборот, можно было бы создать аппарат, который бы поглощал механическую работу, не отдавая тепла в окружающее пространство, например трение без нагревания трущихся поверхностей.

Бесплодные попытки опровержения закона сохранения энергии делались неоднократно на протяжении длительного времени. Особенно в этом преуспели энтузиасты создания PERPETUUM MOBILE первого рода, которые несмотря на упорство позитивных результатов не получили, что, собственно и является лишним подтверждением принципа эквивалентности.

Первое начало термодинамики, в этой связи, можно сформулировать как невозможность построения PERPETUUM MOBILE: **энергия не может ни исчезнуть, ни возникнуть из ничего. Энергия одного рода может быть только превращена в эквивалентное количество энергии другого рода.**

Другими словами, принцип эквивалентности между теплотой и работой должен являться только частным случаем более общего закона сохранения энергии.

На основании многочисленных экспериментов было установлено, что

$$k_m = 4{,}1868 \frac{\text{Дж}}{\text{кал}} \quad ,$$

следует иметь в виду, что 1 Дж = 0,239 кал, а 1 кал = 4, 1868 Дж.

Из большого числа экспериментов проведенных с целью количественного определения механического эквивалента теплоты особого внимания заслуживают измерения Джоуля.

На рис. 3.6. приведена схема установки Джоуля, основу которой составлял калориметр, термоизолированный сосуд *1*, заполненный водой. Внутри калориметра размещались несколько лопастных перемешивающих устройств *2* посредствам которых рабочей жидкости передавалась механическая энергия.

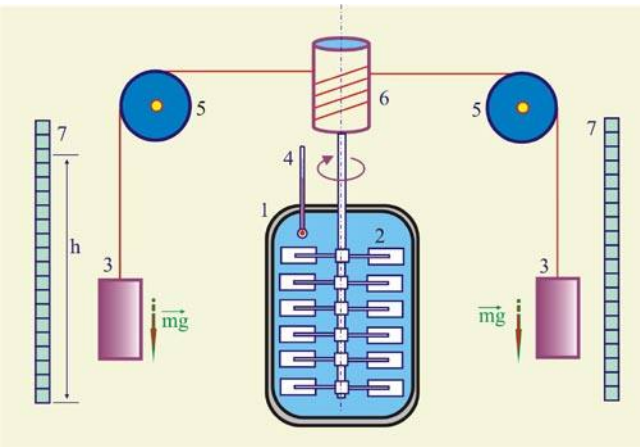


Рис. 3.6. Схема опыта Джоуля

В качестве источника энергии Джоулем использовалась потенциальная энергия грузов *3*, которые с помощью специального устройства, состоящего из системы блоков *5*, барабана *6* и нити, опускаясь под действием силы тяжести приводили во вращательное движение лопастную систему. Температура воды контролировалась термометром *4*. Высота опускания грузов измерялась вертикальными линейками *7*.

При опускании грузов на h единиц длины величина совершаемой механической работы определится как

$$A = 2mgh \quad .$$

Далее, измеряя разность температур воды Δt до начала опускания грузов и после того, можно вычислить количество тепла, переданного воде

$$Q = m_w c\Delta t \ ,$$

где m_w – масса воды в калорифере, c – удельная теплоёмкость воды, Δt – разность температур. На основе принципа эквивалентности возможно записать:

$$A = k_m Q, \quad 2mgh = k_m m_w c\Delta t \qquad ,$$

откуда

$$k_m = \frac{2mgh}{m_w c\Delta t}.$$

Понятно, что высоких требований к чистоте эксперимента результатом которого стало уравнение k_m, предъявлять нельзя. Формула во многом идеализирует ситуацию, предполагая, что только механический эквивалент тепла количественно определяет процесс ввода механической мощности посредствам вращающихся лопастей. Основной причиной возникновения погрешностей являются потери.

Система, по сути-то, механическая, с набором движущихся друг относительно друга элементов, между которыми непременно возникает её величество трение, которое уравнением не учитывается. Кроме того, всякое нагретое тело имеет свойство избавляться от «лишней» тепловой энергии испусканием электромагнитных волн в инфракрасном диапазоне.

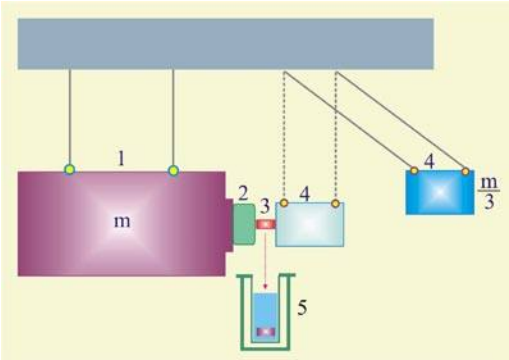


Рис. 3.7. Установка Гирна

Представляет, на наш взгляд, интерес эксперименты Гирна (рис. 3.7), результаты которых были опубликованы в 1853 г. В экспериментальной установке Грина так же как и у Джоуля использовалась потенциальная энергия стального молота.

Каменный прямоугольный блок *1* массой m ≅ 1000 кг подвешивался к потолку лаборатории. На блоке закреплялась стальная наковальня *2*. Между наковальней и стальным молотом *4* массой m/3 устанавливался миниатюрный свинцовый цилиндр 3.

Молот отводится из состояния равновесия так, что центр его тяжести поднимается на высоту h_1; падая молот ударяется о свинцовый цилиндр, деформирует и нагревает его, отскакивая на высоту h_2, центр масс каменного блока при этом поднимается на незначительную высоту h_3.

Сплющенный и нагретый свинцовый цилиндр после удара падает в калориметр *5*. Далее методика измерения разности температуры воды в калориметре не отличалась от ранее описанной. Механическая работа, трансформирующаяся в тепло определяется при этом уравнением

$$A = k_m Q = \frac{m}{3} g(h_1 - h_2) - mgh_3 \qquad .$$

В каждый момент времени состояние тела определяется всем многообразием его свойств, причём, изменение одного из них, как правило приводит к изменению других. Построение дальнейшей термодинамической модели поведения вещества

осуществим на примере всё того же идеального газа, для которого всё многообразие параметров состояния можно свести к трём, т.е.

$$f(p, V, T) = 0 \quad ,$$

все остальные свойства, включая электрические, магнитные, оптические и др. будут далее полагаться неизменными.

Геометрически уравнение состояния представляет собой некоторую поверхность (рис. 3.8), отнесённую к трём взаимно перпендикулярным осям координат {p,V,T}.

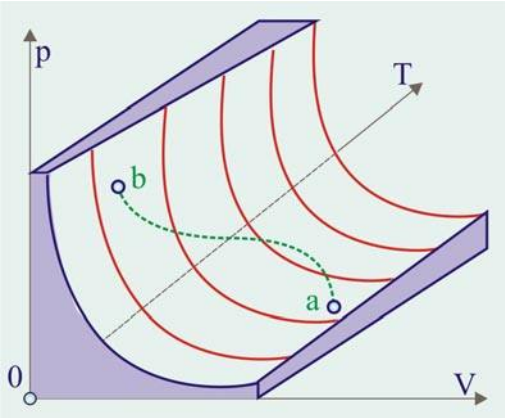


Рис.3.8. Термодинамическая поверхность идеального газа

Каждое состояние вещества на этой термодинамической поверхности отображается некоторой точкой, например *a*, которая называется фигуративной точкой.

При изменения состояния точка перемещается по термодинамической поверхности, например в положение *b*, описывая кривую *ab*.

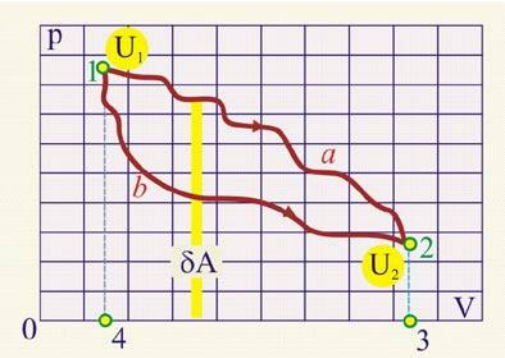


Рис. 3.9. pV – диаграмма газа

Рассмотрим pV – диаграмму некоторого термодинамического процесса (рис. 3.9) вследствие которого объект переводится из начального состояния *1* в конечное состояние *2*. состояние *1* в соответствие с уравнением состояния характеризуется набором из трёх параметров: давления p, объёма V и температуры T. Кроме того, рассматриваемая масса газа в этом состоянии будет обладать внутренней энергией U_1.

Внутренняя энергия газа представляется как сумма кинетической и потенциальной энергии всех молекул. Поскольку, в рассматриваемом случае газ идеальный, то учитываются только кинетические энергии молекул, т.к. взаимодействие между молекулами отсутствует.

Предположим далее, что газ получил возможность расширяться, совершая при этом работу. Почему при расширении газа будет совершаться механическая работа? Это можно показать, воспользовавшись традиционными представлениями о работе, заимствованными из классической механики.

Рассмотрим цилиндр с термоизолированными стенками (адиабатная оболочка), заполненный идеальным газом и закрытый невесомым поршнем (рис. 3.10). Предположим, что первоначально давление в ограниченном объёме выше окружающего и равно p. Если поршень отпустить и допустить его перемещения без трения, то газ начнёт расширяться, причём на поверхность поршня будет действовать сила

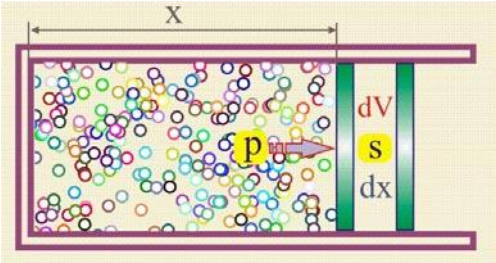


Рис. 3.10. Работа газа при расширении

$$F = pds \quad .$$

Элементарная работа этой силы на перемещении поршня dx будет равна

$$\delta A = Fdx = p\,ds\,dx = p\,dV \quad .$$

Возвращаясь к рис. 3.9, вычислим работу при переводе исследуемого объёма

газа из начального положения *1* в конечное положение *2*, для чего кривую p = f(V) разобьём на большое число отрезков и на каждом из них примерим уравнение для элементарной работы. При суммировании элементарных работ, мы придём к следующему выражению

$$A_{1\to 2} = \sum_{k=1}^{k=n} \delta A_k = \lim_{k\to\infty} \sum_{k=1}^{k=n} pdV_k = \int_{V_1}^{V_2} pdV \quad .$$

При увеличении объёма газа от V_1 до V_2 совершается работа $A_{1\to 2}$. Поскольку закон сохранения энергии никто не отменял и для энного случая, то совершение работы должно сопровождаться уменьшением внутренней энергии газа, больше энергии взяться неоткуда. На этом основании работу можно сопоставить с изменением внутренней энергии

$$A_{1\to 2} = -(U_2 - U_1) = U_1 - U_2 \quad .$$

Следует оговориться, что в принципе работа может совершаться не только за счет уменьшения внутренней энергии газа. Если оболочку, ограничивающую рассматриваемый объём лишить теплоизоляционных свойств и нагревать, то работа расширения будет совершаться частично или полностью за счёт энергии внешнего источника.

Ещё один вариант. Закрепим поршень (рис. 3.10) и подогреем газ от внешнего источника тепла. Объём в этом случае меняться не будет, следовательно работа не совершается. В этом случае вся энергия внешнего источника станет трансформироваться во внутреннюю энергию газа, вырастет его температура.

На основании проведенных рассуждений закон сохранения энергии в его термодинамическом варианте можно математически выразить уравнением

$$\delta Q = dU + \delta A \quad .$$

Полученное уравнение представляет собой дифференциальную форму записи первого начала термодинамики. Интегральная форма первого начала имеет вид:

$$Q = U_2 - U_1 + \int_{V_1}^{V_2} pdV \quad .$$

К ситуации описываемой уравнением можно прийти подогревая газ в цилиндре и одновременно сжимая его поршнем, движимым внешними силами чисто механического свойства.

Другими словами, подводимая теплота и совершаемая над газом работа преобразуются во внутреннюю энергию, что подтверждает предположение о том, что внутренняя энергия однозначно определяется термодинамическим состоянием тела, в данном случае в газообразном состоянии.

Мечта всех энтузиастов вечного движения, заключается в том, чтобы при одинаковом наборе макропараметров {p,V,T} тело имело бы разные внутренние энергии. В этом случае на основании совершенно справедливого уравнения певого начала можно было бы извлекать энергию в виде «шаровой» работы. Несмотря на многочисленные попытки создать желанную ситуацию не удалось, ибо законы природы неумолимы и управляются отнюдь не человеческими эмоциями.

Внутренняя энергия является однозначной функцией состояния вещества и представляется полным дифференциалом, что и продиктовало обозначение dU.

А вот произведенная работа δA и соответствующее количество тепла δQ полными дифференциалами не являются. Полная работа $A_{1\to 2}$ геометрически отображается площадью криволинейной трапеции 1-2-3-4 (рис. 3.9) и зависит от способа, которым осуществляется перевод системы из начального положения в конечное.

При переводе системы по траектории *a*, которое протекает при более высоких значениях давления по сравнению с траекторией *b*, будет совершаться разная работа, а внутренняя энергия в начальной и конечной точке будет одинаковой.

Величины δA и δQ не являются полными дифференциалами, они называются функционалами и зависят от вида функции p = f(V), описывающий переход из начального положения в конечное положение.

Первое начало термодинамики позволяет более точно определить понятие количества тепла. **Количество тепла δQ есть количество внутренней энергии, переданной от одного тела другому без совершения работы первым телом над вторым**.

Из этого следует, что количество тепла понятие, проявляющееся только в каком либо конкретном процессе, т.е количество тепла является формой передачи энергии. **Количество тепла нельзя рассматривать как некоторый самостоятельный вид энергии, содержащийся в веществе, точно так же как бессмысленно говорить о количестве, содержащейся в теле работы**

В подавляющем большинстве энергетическая сущность нашей теперешней цивилизации заключается в превращении тепла в работу. Все тепловые машины, включая двигатели внутреннего сгорания, то и делают, что внутреннюю энергию углеводородных топлив превращают в тепло, весьма не эффективно далее организуя трансформацию тепла в механическую работу.

С позиций молекулярно-кинетической теории тепловые машины должны «уметь» кинетическую энергию теплового хаотического движения молекул вещества превращать в полезную работу.

Поскольку хаотическое тепловое движение молекул и атомов есть естественное состояние любого вещества, то энергии в окружающем нас пространстве должно быть не меряно, это действительно так.

Однако в большинстве своём эта энергия абсолютно бесполезна по причине невозможности превращения её в работу. Эту энергию нельзя даже рассматривать в качестве гипотетических запасов, которые когда-либо, когда люди станут сильно умными, может быть использована для производства работы.

Возьмём кусок стали массой m = 1 кг и нагреем его на ΔT = 1000 ^{0}К, при этом его внутренняя энергия изменится на величину

$$\Delta U \approx cm\Delta T \approx 460 \cdot 1 \cdot 10^3 \approx 4{,}6 \cdot 10^5 \text{Дж} \quad ,$$

где c ≅ 460 Дж/(кг·К) – удельная теплоёмкость стали. Оценим далее, на какую высоту необходимо поднять не нагретый этот кусок стали над поверхностью земли, чтобы он приобрёл такую же величину потенциальной энергии

$$\Delta U = mgh, \quad h = \frac{\Delta U}{mg} = \frac{4{,}6 \cdot 10^5}{1 \cdot 10} \approx 4{,}6 \cdot 10^4 \text{м} \quad .$$

Но вот что замечательно, нагретый до столь высокой температуры типичный образец вещества, ни при каких обстоятельствах не отправится в полёт, а будет смирно лежать там, куда его поместили и растрачивать свою избыточную внутреннюю энергию окружающему пространству, переходя в состояние теплового равновесия.

Стремление к равновесию является естественным направлением хода всех природных и технических процессов. Об этом более подробный разговор ещё впереди. Однако следует особо подчеркнуть, что пришедшие в состояние равновесия тела, покинуть это состояние без влияния извне не могут.

Проведенные рассуждения и оценки говорят о том, что имеющиеся вокруг нас фантастические запасы энергии не могут превратиться в механическое движение ни при каких обстоятельствах. Печально конечно, а может, если вдуматься и нет.

Уж больно человечество неосторожно в своих игрищах с источниками энергии. Оценим Далее энергетические изменения нашей планеты при понижении её средней температуры всего на $\Delta T = 1\ ^0К$

$$\Delta U = cm\Delta T \approx 920 \cdot 6 \cdot 10^{24} \cdot 1 \approx 5{,}52 \cdot 10^{27}\ Дж \quad ,$$

где с ≅ 920 Дж/(кг·К) – средняя удельная теплоёмкость Земли. Так вот, полученное значение изменения внутренней энергии нашей планеты практически в миллиард раз больше, чем величина энергии, вырабатываемой в течение года всеми электростанциями на Земле.

Именно от таких оценок цепенеет буйная фантазия энтузиастов вечного движения. Как же, стоит только придумать устройство, использующее для производства работы только охлаждение среды, и человек снова счастлив и беззаботен на пару миллионов лет, а может быть и побольше. Но физическое существо мироздания к подобному стремлению повторно без особого напряга переселиться в Эдем, относится более чем категорично.

Рассмотрим более подробно теоретическое обоснование невозможности построения вечного двигателя второго рода, т.е. машины, основанной на использовании термодинамических закономерностей.

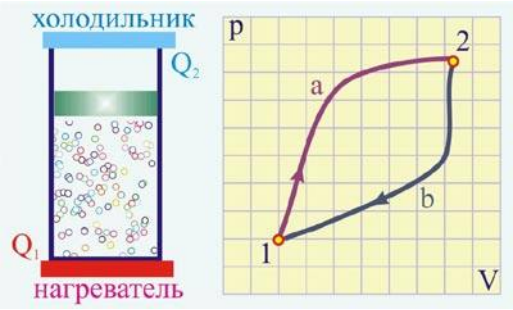


Рис. 3.11. Круговой процесс

Исследуем идеальный газ, находящийся в цилиндрическом сосуде под массивным поршнем (рис. 3.11). Если дно цилиндра привести на некоторое время в соприкосновение с телом, обладающим большей, чем окружающая среда температурой (нагревателем), то газ начнёт расширяться, совершая работу, связанную с увеличением потенциальной энергии поршня.

В стадии нагревания изменение состояния газа (рабочего тела) можно охарактеризовать на pV – диаграмме кривой *1a2*. Первое начало термодинамики позволяет записать следующее уравнение подобающее рассматриваемой ситуации

$$Q_1 = U_2 - U_1 + A_1 \quad .$$

Если в верхней точке своей прямолинейной траектории поршень соприкоснётся с телом, температура которого ниже температуры газа (холодильником), произойдёт охлаждение газа, что приведёт к уменьшению его объёма. Газ из состояния *2* по кривой *2b1* вернётся в исходное состояние *1*, при этом

$$-Q_2 = U_1 - U_2 - A_2 \quad .$$

Совмещая уравнения, получим:

$$Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2 \quad .$$

Уравнение демонстрирует, что рассматриваемое устройство совершило круговой процесс, при котором, нагреватель отдал рабочему телу тепло Q_1, а холодильник приобрёл тепло в количестве Q_2. Экономический коэффициент полезного действия тепловой машины можно представить традиционным образом

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad .$$

Часть тепла Q_1 не трансформированная в работу для осуществления кругового цикла должна быть передана теплоприёмнику (холодильнику). Величина Q_2 представляет собой неиспользованную в цикле тепловую энергию. При осуществлении второй части цикла (обратного хода процесса) Q_2 используется для сжатия рабочего тела и передачи теплоприёмнику. Таким образом, тепло Q_2 не используется в машине, а рассеивается в окружающем пространстве.

Убедиться в справедливости приведенных рассуждений можно, заглянув под капот любого автомобиля, где обнаружится достаточно сложная система охлаждения, единственным назначением которой является компенсация тепловых потерь неминуемо возникающих при осуществлении замкнутого кругового процесса, при котором извлекается механическая работа, движущая авто.

Таким образом, в соответствии со вторым началом термодинамики для превращения теплоты в работу необходимы два тела с различными температурами T_1 и T_2. Если $T_1 > T_2$, то первое тело называется нагревателем, а второе – холодильником.

Из всего многообразия круговых термодинамических процессов выделяют, так называемый, цикл Карно, который позволяет получить максимально возможный коэффициент полезного действия. Всё фундаментальное и практическое значение второго начала термодинамики, пожалуй, впервые осознал Сади Карно, который занимался проектированием и строительством водяных двигателей.

В это время во Франции уже начали появляться тепловые машины, построенные гениальными самоучками по наитию, но теоретически никак необоснованные. Научный фундамент был ещё не создан.

Карно постулировал, что величина работы, получаемой в круговом цикле, определяется только разностью температур нагревателя и холодильника, при этом физические и иные свойства рабочего тела никакого влияния на коэффициент полезного действия цикла не оказывают.

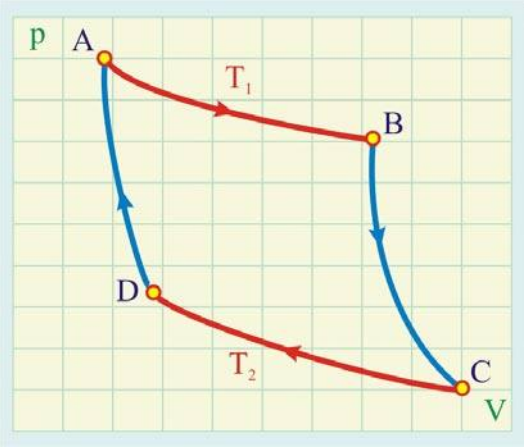


Рис. 3.13. Цикл Карно

Далее, используя этот принцип, Карно придумал идеальный цикл тепловой машины, который обладает максимально возможным коэффициентом полезного действия. Цикл Карно (рис. 3.13) состоит из двух изотерм и двух адиабат.

Процесс перехода из состояния *A* в состояние *B* представляет собой изотермическое расширение рабочего тела, при котором газ находится в тепловом контакте с нагревателем, обладающим температурой T_1.

Переход из состояния *B* в состояние *C*, сопровождается дальнейшим адиабатическим увеличением объёма при изоляции от окружающей среды.

Переход из точки *C* в точку *D* представляется изотермическим сжатием газа, и, наконец, возвращение системы в исходную точку *A* протекает в виде адиабатического сжатия.

При изотермическом сжатии, как известно, внутренняя энергия рабочего тела не меняется (температура неизменна), поэтому поглощаемое от нагревателя тепло в соответствии с первым началом термодинамики, преобразуется в работу.

Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по идеальному циклу Карно определяется хорошо известными уравнениями

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad \eta = \frac{T_н - T_х}{T_н},$$

т.е. коэффициент полезного действия тепловой машины определяется только разностью температур нагревателя и холодильника, такова правда жизни.

Для увеличения эффективности теплового агрегата необходимо увеличить разность температур нагревателя и холодильника. Этот суровый приговор похоронил все паровозы, потому что температура пара не может увеличиваться беспредельно, а вот в двигателях внутреннего сгорания температура при воспламенении выше, следовательно, они более эффективны, хотя, уравнение КПД не позволяет увеличить коэффициент полезного действия более $\eta \leq 40\%$.

По большому счёту принцип действия современных силовых энергетических установок серьёзных изменений со времён их первоначального появления на энергетической арене не претерпел, как следствие и коэффициент полезного действия не увеличился существенно.

Как уже отмечалось нами ранее, коэффициент полезного действия двигателей внутреннего сгорания не превышает 40 %. В табл. 3.1 приведены значения коэффициента полезного действия двигателей различных типов.

Таблица 3.1

Тип энергетической установки	КПД, %
Паровоз	8
Стационарная паровая машина	≅ 15
Турбореактивный двигатель	20 – 30
Газотурбинная установка (стационарная)	25 – 29
Двигатель карбюраторный	25 – 34
Дизель автомобильный	28 – 37
Дизель судовой	34 – 77
Электродвигатель	До 92

От чего так? От чего покорив околоземное пространство, и освоив совершенно новые принципы коммуникации, человечество затормозилось в своём развитии в области совершенствования источников энергии? Большинство учёных объясняет такой парадокс адаптационными свойствами человеческого сознания на уровне отдельного индивидуума и сообществ.

Такую точку зрения оправдывают известные исторические факты, когда человеческие интеллектуальные усилия направлялись именно в те области науки и технологий, которые были наиболее необходимы для ускорения эволюционного процесса.

В случае с источниками энергии, человечество было попросту избаловано изобилием углеводородов, добывать которые на протяжении последней сотни лет не составляло большого труда и не стоило значительных денег. Вершиной энергетической пирамиды по вполне понятным причинам стала нефть.

Нефть представляет собой много фракционное соединение, в котором доминируют углерод (83 – 87%) и водород (11 – 14%), т.е. элементы, которые соединяются друг с другом в различных пропорциях. Одна из возможных формул нефти: CH_4, C_2H_6, C_3H_6, C_6H_6, C_8H_{10}, другими словами C_XH_Y.

Углеводороды содержатся в земной коре в составе нефти, каменного и бурого углей, природного и попутного газов, сланцев и торфа. Несмотря на то, что запасы

этих полезных ископаемых на Земле не безграничны до настоящего времени они расходуются главным образом в качестве топлива (двигатели внутреннего сгорания, тепловые электростанции, котельные) и лишь незначительная часть используется как сырье в химической промышленности. До 85% всей добываемой нефти идет на получение горюче-смазочных материалов и лишь около 15% применяется в виде химического сырья.

На рис. 5.27 схематически изображены рабочие циклы распространённых типов силовых установок, которыми оборудуются автомобили, суда и паровозы. Автомобильные бензиновые двигатели работают, используя цикл Отто, дизельные автомобильные, тракторные и судовые двигатели – цикл Рудольфа Дизеля, паровозы – цикл паровой машины.

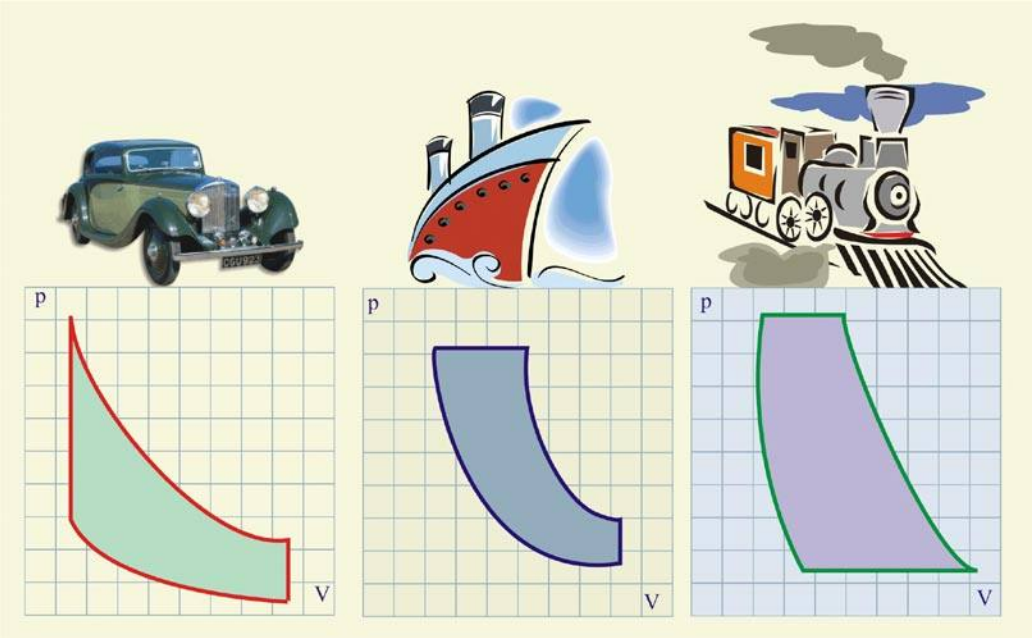


Рис. 3.14. Рабочие циклы наиболее распространённых двигателей

Общим для всех циклов является адиабатическое расширение рабочего тела. В двигателях внутреннего сгорания (с принудительным воспламенением горючей смеси) вспышка происходит в течение малого промежутка времени, объём поршневого пространства, практически, не изменяется, т.е. начальная стадия кругового процесса протекает при постоянном объёме. В дизельном двигателе топливо впрыскивается постепенно, и горение смеси протекает при постоянном давлении. В паровой машине при постоянном давлении подаётся пар. Все приведенные выше процессы называются квазистатическими (почти статическими, т.е. почти равновесными).

3.2. Энтропия

При измерениях температуры приборами любой конструкции, строго говоря, измеряется не сама, интересующая величина, а температура самого термометра, а вопрос об отношении показаний к измеряемой температуре остаётся в ряде случаев открытым.

Рассуждая о температуре на бытовом уровне нет смысла задумываться обо всей сложности процессов, связанных с этим понятием. Точно так же, прикладывая к уху мобильный телефон, мы не помышляем о сложных физических процессах сопровождающих возможность преобразования акустических колебаний в электромагнитные волны и нюансы распространения волн в атмосфере, так же как и о структурных особенностях сотовой связи.

Освоив методы и средства измерения температуры, учёные и инженеры никак не могли установить, каким образом температура связана с количеством тепла.

Совсем не просто было догадаться, что с температурой более тесно связана другая величина, названная Клаузиусом энтропией.

Понятие энтропии появилось сначала исходя из теоретической потребности установления взаимосвязи температуры и количества тепла. По представлениям Клаузиуса, чтобы поставить знак равенства между количеством тепла и температурой было необходимо умножить температуру на эту самую энтропию.

Так всё начиналось, путём введения в рассмотрения некой не совсем понятной величины, но которая по интуиции Клаузиуса должна быть, потому что, переписав уравнение для двух состояний следующим образом

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0,$$

он обратил внимание, что оно здорово смахивает по структуре на закон сохранения из классической механики. Действительно, в соответствие с теорией Карно, величина $|Q_1|/T_1$ представляет собой количество чего-то «отнятого» от нагревателя, а величина $|Q_2|/T_2$– количество того же «отданного» холодильнику.

Клаузиус обратил внимание на то, что модель теплорода (флагестона), которой пользовался Карно, проводя аналогию между сообщающимися сосудами и нагревателем с холодильником в идеальной тепловой машине, не совсем корректна.

Температура не являлась аналогом высоты столба жидкости. Из этого следовало, что в обратимом цикле Карно сохраняется не количество тепла, а «что-то», величина которого, определяется слагаемыми последнего уравнения. Ели порцию тепла полученного или отданного телом при температуре T обозначить через ΔQ, то тогда изменение этого «чего-то», т.е. изменение энтропии можно записать простым уравнением, именуемым уравнением Клаузиуса

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}.$$

Уравнение Клаузиуса продемонстрировало, почему так долго учёные не могли найти взаимосвязь между теплом и температурой. Как видно из последнего уравнения, говорить о количестве тепла, содержащегося в теле, не имеет смысла, потому что тепло может переходить в работу, возникать при трении, и что самое главное, никаких тенденций к сохранению не имеет.

Тепло может передаваться от объекта к объекту, но в общем случае не сохраняется. Сохраняющейся величиной в обратимом процессе оказалась **энтропия**. В цикле Карно (рис. 5.26) энтропия рабочего тела на участке AB увеличивается ровно настолько, на сколько она уменьшается на участке CD. На участках BC и DA энтропия не изменяется т.к. рабочее тело от окружающей среды (адиабатическое расширение и адиабатическое сжатие). В обратимом цикле Карно энтропия сохраняется.

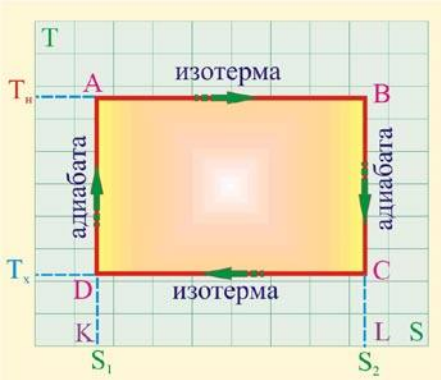


Рис. 3.15. Цикл Карно в переменных TS

Энтропию можно определить как физическую величину, сохраняющуюся при адиабатическом процессе.

Кроме того, цикл Карно удобно отображать в координатах температура – энтропия (рис. 3.15). Количество тепла, получаемого рабочим телом от нагревателя, определяется соотношением

$$\Delta Q_н = T_н \Delta S = T_н (S_2 - S_1) \quad .$$

На диаграмме эта величина отображается площадью прямоугольника *ABLK*. Количество тепла, отданное холодильнику, соответствует площади прямоугольника *CDKL*. **Полное количество тепла, преобразованное в работу, соответствует на TS диаграмме площади прямоугольника ABCD.** Коэффициент полезного действия цикла определяется отношением площадей

$$\eta = \frac{(ADCD)_s}{(ABKL)_s}.$$

Всё сказанное выше Клаузиус сформулировал в виде лаконичной теоремы, которая, как оказалось, явилась логическим следствием второго начала термодинамики.

Формулу коэффициента полезного действия идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно

$$\eta = \frac{Q_н - Q_х}{Q_н} = \frac{T_н - T_х}{T_н},$$

Клаузиус привёл к виду

$$\frac{Q_н}{T_н} = \frac{Q_х}{T_х}.$$

Это означало, что при осуществлении цикла приведённая теплота, т.е. отношение количества отданного или полученного количества тепла к соответствующей температуре, т.е. приведённое тепло в процессах изотермического расширения и сжатия сохраняется.

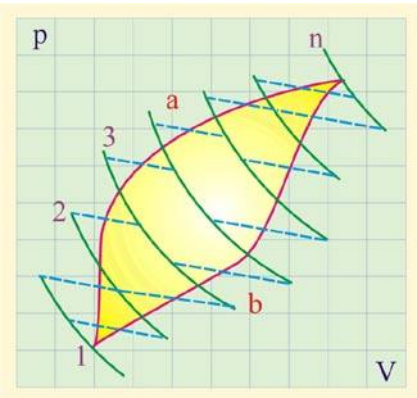


Рис. 3.16. Равновесный цикл

На рис. 3.16 показан равновесный цикл происходящий в прямом направлении *1an* и в обратном – *nb1*. Проведём ряд близко расположенных друг к другу адиабат, пересекающих линии прямого и обратного переходов.

В этом случае каждую из линий *a* и *b* можно считать бесконечно близкими изотермами. Для прямого и обратного направлений в этом случае можно записать следующие соотношения

$$\frac{\delta Q_{a1}}{T_{a1}} = \frac{\delta Q_{b1}}{T_{b1}}; \quad \frac{\delta Q_{a2}}{T_{a2}} = \frac{\delta Q_{b2}}{T_{b2}}; \ldots$$

или в виде сумм

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta Q_{ai}}{T_{ai}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta Q_{bi}}{T_{bi}}.$$

Уравнение показывает, что сумма приведённой теплоты не зависит от пути перехода, что и составляет суть теоремы Клаузиуса. Если рассматривается реальный необратимый процесс, то

$$\frac{Q_н - Q_x}{Q_н} < \frac{T_н - T_x}{T_н},$$

или после очевидных преобразований

$$\frac{Q_н}{T_н} < \frac{Q_x}{T_x}.$$

Для обратимых и необратимых циклов уравнение Клаузиуса запишется следующим образом

$$\frac{Q_н}{T_н} \le \frac{Q_x}{T_x}.$$

Преобразуем уравнение к виду

$$\frac{Q_н}{T_н} - \frac{Q_x}{T_x} \le 0.$$

Если количество отданной нагревателем теплоты считать положительным, а полученное холодильником – отрицательным, то последнее уравнение можно записать в виде суммы

$$\frac{Q_н}{T_н} + \frac{Q_x}{T_x} \le 0,$$

для общего случая

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{Q}{T} \le 0.$$

При непрерывном обмене теплом и достаточно большом числе участков (рис. 3.16) сумма превращается в интеграл

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \le 0.$$

Соотношение является общим выражением второго начала термодинамики, его часто называют неравенством Клаузиуса.

Запишем далее уравнение Клаузиуса в предположении бесконечно малого обратимого процесса

$$dS = \frac{\delta Q}{T},$$

т.е. изменение энтропии при бесконечно малом обратимом процессе равно количеству тепла δQ, делённому на абсолютную температуру системы. Уравнение (5.51), в частности, означает, что отношение бесконечно малого количества тепла к температуре является полным дифференциалом, тогда как величина δQ к таковым не относится.

Подставим соотношение $\delta Q = dST$ в уравнение первого начала термодинамики

$$dU = TdS - pdV \quad ,$$

где dU – изменение внутренней энергии системы, p – давление, dV – изменение объёма.

Полученное уравнение называется **основным термодинамическим тождеством, оно объединяет первое и второе начало термодинамики для бесконечно малых обратимых процессов.**

Для конечных обратимых процессов уравнение можно записать в интегральной форме

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{dU + pdV}{T} \quad .$$

Для обратимых и необратимых (реальных) процессов последнее уравнение примет вид

$$S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{dU + pdV}{T} \quad .$$

Если уравнение применить для изолированной системы без теплообмена, то $\delta Q = 0$, в этом случае

$$S_2 - S_1 \geq 0, \quad \Rightarrow \quad S_2 \geq S_1 \quad ,$$

т.е. **для любого процесса в изолированной системе энтропия конечного состояния не может быть меньше энтропии начального состояния, что составляет суть одного из самых фундаментальных законов мироздания – закона возрастания энтропии**.

Размышляя над глубоким смыслом уравнений энтропии Клайперон высказал искромётную мысль, из которой вскоре разгорелось великое пламя. Он в своей работе «О проявляющейся в природе общей тенденции к рассеянию механической энергии» написал: **« Каждый раз, когда два тела разной температуры приходят в соприкосновение и теплота перетекает непосредственно от одного тела к другому, имеет место потеря живых сил (энергии)».**

Тема, надо сказать, была революционной, свидетельством тому может служить откровение ещё одного классика, Томсона, который был жалован впоследствии королевой Англии званием лорда Кельвина.

В 1852 г. Томсон разразился статьёй «О проявляющейся в природе общей тенденции к рассеянию механической энергии». В своей работе он классифицировал все процессы на обратимые и необратимые, показав, что реальные процессы, организованные человеком и Природой являются необратимыми.

А это означало, что при протекании всех мыслимых процессов происходит рассеяние энергии, превращающейся в теплоту.

Вывод напрашивался сам собою: «В прошлом, отстоящем на конечный промежуток времени от настоящего момента, Земля находилась и, спустя конечный промежуток времени, она снова очутится в состоянии, непригодном для обитания человека, если только в прошлом не были проведены и в будущем не будут предприняты такие меры, которые являются неосуществимыми при наличии законов, регулирующих известные процессы, протекающие ныне в материальном мире». Это была первая завуалированная формулировка идеи о **«тепловой смерти Земли».**

Получив приведенные выше уравнения, Клаузиус впал в сомнения, в течение почти восьми лет он не публиковал свои измышления по поводу второго начала, потому что оно: «сильно уклоняется от воззрений, распространённых до настоящего времени …». А было от чего засомневаться. В соответствие с уравнениями энтропии напрашивались два глобальных вывода:

- **Энергия Мира постоянна;**
- **Энтропия Мира стремиться к максимуму.**

Естественно, что такие гипотезы, несмотря на серьёзную теоретическую подоплёку, были встречены учёным братством, мягко говоря, прохладно. Ликовали только ортодоксальные теологи, потому что появилось, наконец-то, «научно обоснованная» концепция начала и конца света и, как им казалось неотвратимая роль Творца.

Действительно, в соответствии с **законом возрастания энтропии** получалось, что все виды энергии, существующей в природе, могут переходить в молекулярно-кинетическую энергию, которая тоже может трансформироваться в другие виды энергии, но только частично и только при наличии разности температур.

Получается, что все процессы направлены на выравнивание градиента температур, т.е. на равномерное рассеяние энергии и выравнивании её уровней. Конечным результатом таких процессов является повсеместное равенство температуры, что делает невозможность действия тепловых машин.

Даже реки стремятся нивелировать высоты уровней, размывая возвышенности и сводя на нет возможность строительства гидроэлектростанций. В соответствии с такими тенденциями, количество энергии во Вселенной сохранится, однако распределена она будет равномерно, что исключает возможность совершения работы. Одним словом **тепловая смерть Вселенной просматривалась как неминуемая**.

Радости теологов были, как обычно, преждевременными. Как выяснилось, второе начало термодинамики нельзя без серьёзных оговорок применять как элементам микро и мега мира.

Касаемо Земли процесс реален. Не пройдёт и несколько миллиардов лет и Солнце остынет настолько, что температура поверхности Земли станет таковой, что жизнь в её теперешнем виде прекратиться.

Рис. 3.17. Остывание Земли

Однако, что не может не радовать, в других областях Вселенной, в иных галактических образованиях протекают процессы возникновения новых звёзд из рассредоточенной материи в туманностях, а это ни что иное, как концентрация энергии.

Второе начало термодинамики в этом случае некорректно. Вместе с тем, количество материи во Вселенной постоянно. Материя не исчезает и не появляется, участвуя в вечном круговороте с образованием новых звёздных систем с длительным, но конечным циклом развития, которого может вполне хватить на возникновение и развитие органической жизни. Таким образом, говорить о подтверждении вторым началом термодинамики основных теологических теорий, физических оснований нет.

3.3. Первые тепловые машины

Рис. 3.18. Христиан Гюйгенс

Рис. 3.19. Дени Папен

Первый, кто в своих работах начал размышлять о глобальных источниках энергии в Природе, был Христиан Гюйгенс. В ту пору начало получать распространение огнестрельное оружие. Порох из Китая был ввезён в европейские государства.

У Гюйгенса возникла идея использовать энергию окисления этого химического вещества для дальнейшего преобразования в механическое движение.

Несмотря на значительные энергетические возможности пороха использование его энергии оказалось затруднительным. Слишком скоротечной была реакция.

Построенный Гюйгенсом двигатель практического применения так и не нашёл. Перемещать поршень продуктами сгорания пороха оказалось заманчиво, но малоэффективно. Более привлекательной оказалась идея организации движения энергией пара.

Первым, кто реализовал плодотворную идею был француз Дени Папен (1647 – 1712 гг.), намеревавшийся в юности стать врачом. В университете Анже он даже начал медицинский курс, но встреча с Христианом Гюйгенсом изменила намерения Дени, и он по настоятельному совету Гюйгенса стал серьёзно заниматься физикой и математикой.

До 1675 г. Папен проживал в Париже и занимался, в основном разработкой воздушных насосов. Переместившись в Лондон, Папен познакомился с ведущими английскими учёными и быстро вник в насущные задачи, стоявшие перед естествознанием того времени.

А основная задача была очевидна. Быстро развивающееся промышленное производство требовало новых источников энергии. Не везде и всегда ветер, вода и лошади могли поспевать за бурным развитием разного рода производств, которые в силу своей специфики всё более становились энергоёмкими.

Спустя пять лет после переезда в Лондон Папен продемонстрировал учёному и прочему заинтересованному люду своё изобретение, которое в последствии назвали «Папенов котёл», представлявший собой герметичный сосуд с предохранительным клапаном. Чтоб не бабахнуло.

По сути котёл представлял по современным понятиям обыкновенную скороварку. Используя это устройство, Папен развенчал идею признания физической константой температуру кипения воды, т.е. температуру 100 ^{0}С.

Опыты Папена демонстрировали зависимость температуры кипения от давления. Достоинством скороварки является повышенная по сравнению с обычными условиями температура приготовления продуктов. Повышенная температура, как известно, сокращает время приготовления.

Кулинарное применение котла было не основным для Папена, проведя серию экспериментов учёный пришёл к выводу об энергетических возможностях пара. В 1674 г. Папен построил свой первый паровой двигатель.

В цилиндре под поршнем, по методике Гюйгенса, Папен воспламенял порох, при сгорании которого возникало избыточное давление и поршень поднимался вверх, затем стенки сосуда охлаждали водой и избыток продуктов сгорания сбрасывали через специальный клапан, давление падало, поршень под действием атмосферного давления и силы тяжести опускался вниз.

Пороховая машина Папена обладала принципиальным недостатком. При охлаждении продуктов сгорания возникал слабый вакуум, что обеспечивало только очень медленное перемещение поршня вниз.

Далее Папен заменяет порох водой и внешним нагревателем. Схема парового двигателя приведена на рис. 3.20. Устройство состояло из цилиндра *1*, с помещённым в него поршнем *2*. На дне цилиндра помещалась вода *3*. Через перегородку *4* вода нагревалась, образовывался пар, создавалось избыточное давление, которое поднимало поршень вверх, затем стенки цилиндра охлаждали водой, под поршнем возникал вакуум, и поршень шустро опускался вниз.

Перемещающийся вверх и вниз шток, будучи соединённым с системой рычагов мог производить механическую работу. Конечно, с позиций современного уровня развития техники и технологии двигатель Папена трудно назвать совершенным, но не стоит забывать, что это была первая удачная попытка использования энергии пара. С двигателя Папена всё началось.

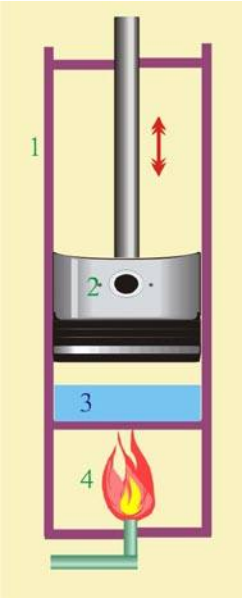


Рис. 3.20. Двигатель Папена

Опыты с паром, находящимся под высоким давлением, позволили исследователям прийти к некоторым важным теоретическим выводам. Так, например, Гийом Амонтом в 1697 г. проверяя зависимость величины давления пара от температуры, пришел к заключению, что отрицательные температуры не имеют физического смысла, потому, что отсутствуют отрицательные давления.

Это был очень важный этап в исследовании физического смысла температуры. В те поры велись оживлённые дискуссии среди учёных о таких фундаментальных понятиях как тело и температура.

Научно обоснованные представления отсутствовали, поэтому предлагались различные вероятные, мало вероятные и совсем невероятны варианты. Один, из, как тогда казалось, разумных вариантов был предложен Джороджем Эрнстом Сталом, который ввёл понятие особого «тела горения» и «тела ржавления» – флогистона (от греч. φλογιστός – горючий, воспламеняемый).

Ещё флогистон называли «огненная субстанция» и считали, что эта сверхтонкая субстанция наполняет все горючие вещества и высвобождается в процессе протекания процессов горения. В 1703 г. Иоганн Бехер и Георг Шталь в 1703 г. разработали теорию горения в основу, которой положено понятие флогистона.

Согласно этой теории, например, дерево, предполагалось состоящим из золы и флогистона. А как же иначе? Сгоревшее полено, выделяя огонь, превращается в золу, которая по массе гораздо как меньше.

Куда исчезает масса? Выделяется при горении в виде флогистона (рис. 3.21)? Флогистон или теплород стал своеобразной палочкой выручалочкой, посредством которой можно было, как говориться, наводить тень на плетень.

Рис. 3.21. Теория флогистона и веществ

Вместе с тем, теплород оказался субстанцией весьма полезной для грубой прорисовки многих термодинамических процессов.

Идея теплорода, как и многое прочее, появилось в Европе во второй раз. Дело в том, что ещё Древние Греки активно эксплуатировали идею флогистона, как особой невидимой жидкости, содержащейся в телах и ответственной за термодинамическое состояние.

Следует отметить, что идею теплорода поддерживали не все учёные. Противником этой теории как говорилось уже, был наш великий соотечественник Михайло Васильевич Ломоносов.

Рис. 3.22. Ньюкомен

Изобретение Папена (рис. 3.20) было усовершенствовано, кузнецом по профессии, Томасом Ньюкоменом (1663 – 1729 гг.). В 1705 г. совместно с лудильщиком Дж. Коули они построили паровой насос, который в последующие десять лет усовершенствовали.

Начиная с 1712 г. насос полноценно эксплуатировался при откачке воды из шахт. Ньюкомен и Коули были знакомы с устройством Папена и модернизировали его с целью улучшения эксплуатационных параметров.

Ньюклмен не смог запатентовать своё работающее творение, потому что ещё в 1698 г. Т. Севери получил патент на паровой подъёмник воды. Ньюклмен в последствии сотрудничал с Севери. Они совместно пытались превратить насос в универсальный паровой двигатель, но их попытки не увенчались успехом.

Несмотря на это обстоятельство, насос Ньюкомена открыл эру использования энергии пара в универсальных двигателях.

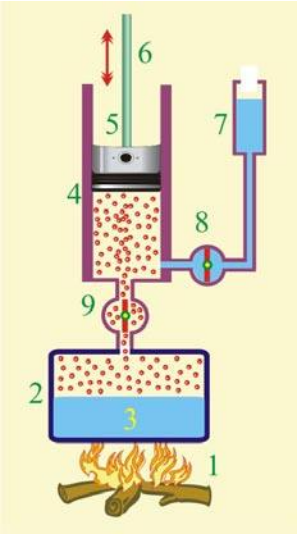


Рис. 3.23.Насос Нькомена

Паровой насос Ньюкомена (рис. 3.23) состоял из источника тепла *1*, которым подогревалась в котле *2* вода *3*. Образовавшийся пар под избыточным давлением поступал в цилиндр *4*, перекрытый поршнем *5*.

Уплотнительные кольца к тому времени ещё не были изобретены, поэтому герметизация осуществлялась посредствам кожаного гибкого диска, расположенного на верхней поверхности поршня и покрытого слоем воды.

Поршень соединялся со штоком *6*, который совершал возвратно поступательное движение. При достижении поршнем верхнего положения в рабочее пространство под поршнем подавалась охлаждающая вода из специального резервуара *7*.

Процесс управления подачей пара и воды осуществлялся двумя клапанами *8,9*, которые посредствам механических приводов срабатывали в противофазе при достижении поршнем верхней точки в цилиндре. При впрыскивании в поршень воды, пар конденсировался, под поршнем возникал вакуум, поршень опускался вниз. Обратный ход поршня удалял воду из цилиндра.

Когда поршень достигал нижнего уровня, в цилиндр поступал пар, поршень снова устремлялся вверх.

Машина Ньюклмена использовалась в Европе более 50 лет, было построено несколько тысяч паровых насосов. Это было одним из первых серийных устройств в истории техники.

Известно, что машина с цилиндром длиной 2,74 м и диаметром поршня 76 см за один день производила работу, которую бригада, состоящая из 25 рабочих и 10 лошадей, выполняла в две смены в течение недели.

Коэффициент полезного действия машины был около 1%, т.е. только сотая часть тепловой энергии преобразовывалась в механическую работу. Вместе с тем, насос Ньюкомена позволил возобновить работу многих угольных шахт, которые считались безвозвратно потерянными из-за затопления водой. Были попытки применения машины Ньюкомена для привода судовых гребных колёс, но они оказались не удачными.

Наряду с практическими попытками использования энергии пара продолжались теоретические исследования в области молекулярной физики и термодинамики. Одним из основоположников молекулярной физики можно считать уроженца Голландии Даниила Бернулли 29 января (1700 – 1782 гг.), учёного универсала, достигшего знаменательных результатов в медицине, математике, гидродинамике и теоретической физике.

Братья Даниил и Николай были сыновьями Иоганна Бернулли, университетского преподавателя математики. Отец с раннего детства привил детям особое отношение к преподаваемой им науке, что впоследствии для обоих братьев стало основой их научной карьеры.

Даниил в 1716 г. получил звание магистра философии, но по настоянию отца занялся изучением медицины, которая во все времена была весьма практичной специальностью. Медицине он учился в университетах Гейдельберга и Страсбурга. После защиты диссертации «О дыхании» Даниил получил учёную степень лиценциата медицины.

Рис. 3.24. Даниил Бернулли

Однако профессиональным медиком он не стал, его более занимала математика. В 1724 г. Даниил написал свой первый трактат «Математические упражнения», после чего был принят в члены Болонской научной академии и получил предложение возглавить академию в Генуе.

Одновременно ему с братом Николаем пришло приглашение из России, где Петром I была организована Петербургская академия. Отец благословил братьев на дальнюю дорогу, напутствовав словами: «...лучше несколько потерпеть от сурового климата страны льдов, в которой приветствуют музы, чем умереть от голода в стране с умеренным климатом, в которой музы обижают и презирают».

В 1732 г. Парижская академия наук объявила конкурс на тему «О взаимном наклонении планет». Анонимная рецензия работ выделила два исследования. После вскрытия конвертов оказалось, что это работы отца и сына, Иоганна и Даниила Бернулли.

По этому поводу великий математик Лейбниц написал отцу Бернулли письмо, в котором в частности говорилось: «Я радуюсь, что и твой сын носит печать Бернулли и хранит наследственный блеск фамилии». Наряду с математическими достижениями Даниил плодотворно работал в области физики.

В трудах Даниила Бернулли содержалось теоретическое обоснование законов Гей-Люссака, Клайперона и Шарля. Даниил Бернулли впервые высказал гипотезу о том, что давление газа обусловлено тепловым движением молекул.

Используя в качестве модели упругие столкновения бильярдных шаров и закон сохранения механической энергии Бернулли доказал, что давление газа меняется пропорционально квадрату скорости частиц.

Такой вывод можно считать первым статистическим обоснованием кинетической теории. Это обоснованное суждение определило направление развития многих последующих термодинамических теорий.

Совместно сД'Аламбером, Л. Эйлером и Лагранжем Бернулли разработал основы современной математической физики, ставшей мощным инструментов исследования закономерностей окружающего человека мира.

В Европе принято считать, первый универсальный паровой двигатель изобретён, подчёркиваем – изобретён, в Англии Джеймсом Уаттом. К этому ошибочному мнению в последнее время склоняются и некоторые отечественные авторы популярных телевизионных около научных передач, умышленно или по незнанию не усматривая разницу в таких понятиях, как изобретение и ввод в эксплуатацию.

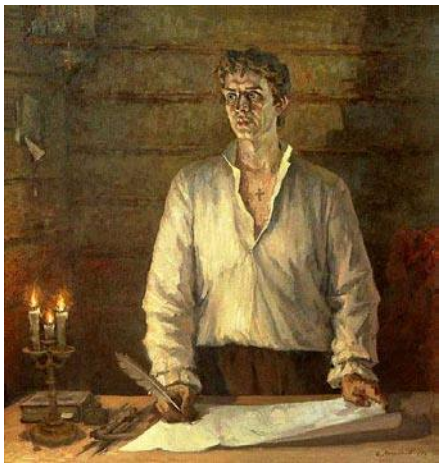


Рис. 3.25. Иван Иванович. Ползунов

Лазеры, транзисторы, телевидение, стереофонические системы, тоже впервые начали применяться на практике в США, но ведь это было изобретено в СССР, и этого уже, практически никто не оспаривает.

А вот с изобретением Ивана Ивановича Ползунова инсинуации продолжаются. Скажем несколько слов об уральском бесценном самородке, которому извечный отечественный бич в образе чиновников (столоначальников) помешал официально стать мировым лидером в забеге по извилистой траектории освоения энергии пара.

На отечественном телевидении есть передача «Галилео», помоемку на канале СТС, где некий молодой человек в лучших традициях цирковой клоунады с выпучиванием безмерно и закатыванием гораздо глаз, с соответствующими кривляньями пытается каламбурить на научно-технические темы.

В одной из передач ведущий предпринимал потуги поведать телезрителям об использовании энергии пара. Смотря этот фрагмент, я очень хотел узнать, кто пишет этой «говорящей голове» тексты?

Можно только догадываться, для чего столь наглым образом передёргивается история. Дело в том, что, не моргнув глазом, ведущий заявил, что Иван Иванович Ползунов теоретически не мог быть первым, кто изобрёл универсальный паровой двигатель, потому что образование не имел никакого и вообще, состоял в крепостных. Лукавят ребята, не был Ползунов Иван Иванович крепостным, и образование по тем временам и по своему сословию получил вполне приличное

Ползунов, сын отставного солдата закончил Горнозаводскую школу в Екатеринбурге и состоял после этого «механическим учеником» у главного механика уральских заводов Н. Бахарева.

Параллельно Ползунов учился в словесной и арифметической школе. Закончив обе школы Иван Иванович получил в Барнауле должность гиттеншрейбера (делопроизводителя при литейном производстве).

В Барнауле у Ползунова появилась возможность знакомиться с современной научной и технической литературой. На заводе была достаточно неплохая библиотека. Через три года, благодаря работоспособности и осведомлённости в професии, Ползунов был произведён в младший шихтмейстерский чин с увеличением оклада до 36 руб. в год, что было совсем неплохо.

На эти деньги много чего можно было купить, включая несколько лошадей. Прим назначении на новую должность, начальство напутствовало молодого специалиста «учиться, учиться и ещё раз учиться», сформулировав эту ленинскую сентенцию в подобающих времени выражениях: «… что ежели он упомянутые науки познает и в том числе искустен усмотрится, то имеет быть определен ему старший унтершихтмейстрерский оклад, и сверх того повышением чина оставлен не будет».

Но производство не самое лучшее место для образования. Колывано-Воскресенские заводы катастрофически страдали от нехватки специалистов, поэтому молодой, энергичный и знающий Ползунов не имел в изобилии свободного времени.

В 1751 г. Ползунов даже обратился с прошением к вышестоящему начальству, об организации его образования. Ползунова перевели смотрителем плавильного производства, пришлось всему учиться у практиков, потому что техникумов и университетов на Алтае совсем небыло.

На Змеиногородском руднике впервые Ползунов заявил о себе, как изобретатель и руководитель проектов. Под его руководством была построена и запущена в эксплуатацию лесопилка, которая представляла собой на то время наиболее технически сложное сооружение.

Сложность машины заключалась в том, что вращение от водяного колеса было необходимо передавать лесопильным рамам, совершавшим возвратно-поступательное движение, причём на значительном удалении. Сложные передаточные механизмы содержали элементы автоматики.

Впрочем, современные автономные лесопилки мало чем отличаются от устройств времён Ползунова. Разве что водяное колесо заменено электродвигателем или двигателем внутреннего сгорания, а в остальном примерно тоже самое.

В ноябре 1754 г. Ползунов получил очередное повышение по службе. В его обязанности входило: «чинить над всеми работами надзирание», потому, что «если что спроситца, ясно и пространно донести мог». Одним словом способный и квалифицированный управленец.

А они, современные идеологи с телевидения втюхивают молодёжи, что И.И. Ползунов был безграмотным крепостным рабочим на плавильном производстве. Врут, как птица летает, высоко и непринуждённо.

Судя по дневниковым записям Ползунова, несмотря на загруженность служебными обязанностями, он постоянно возвращался к идее замены водяного колеса более рациональным источником.

Рудное производство было связано с месторождением, которое далеко не всегда располагалось на берегах речек и озёр. Приходилось либо подводить воду в нужное место или строить дороги и доставлять на гужевом транспорте руду. И первое и второе было делом хлопотным и затратным, что заметно снижало эффективность производства.

В апреле 1763 г. И.И. Ползунов представил начальнику Барнаульского горно-металлургического завода совсем необычный проект своей **«огненной машины»**, предназначенной для приведения в действие воздуходувных мехов, использующихся для создания высоких температур при плавке (рис. 3. 26).

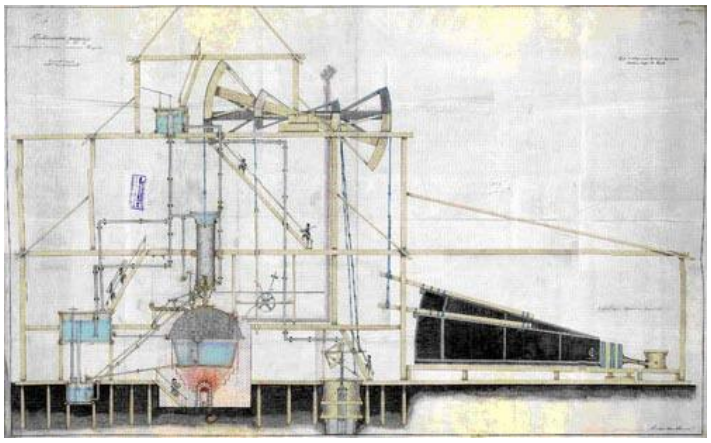


Рис. 3.26. Проект «огненной машины» И. И. Ползунова [66]

Идея Ползунова возникла не на пустом месте, Иван Иванович был знаком с устройством насосов Ньюкомена и Папена и, судя по дневникам, много размышлял по поводу возможных причин их несовершенства.

Родился проект первого в мире универсального теплового двигателя. Таких в России, равно как и в мире не было (рис. 3.27).

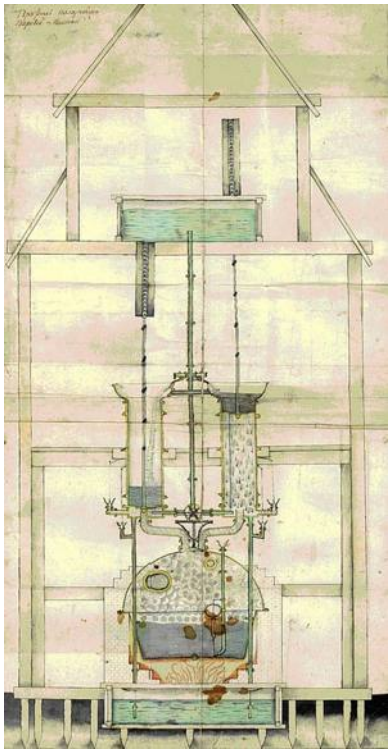


Рис. 3.27. Конструкция «огненной» машины

О существовании тепловых машин были редкие упоминания, например в книге И.В. Шлаттера «Обстоятельное наставление рудокопному делу» была кратко рассмотрена схема машины Нюкомена.

«Огневая» машина Ползунова по проекту обладала мощностью 1,8 л.с. В отличие от машины Ньюкомена, работавшей прерывисто, аппарат Ползунова мог совершать работу непрерывно.

В машине предполагалось использовать два цилиндра (тоже впервые!) с перемещающихся в них поршнями, которые передавали движение на общий вал.

Это был совершенно неизвестный ранее принцип сложения работы нескольких цилиндров, расположенных на одном валу. Этот принцип положен в основу работы всех современных двигателей внутреннего сгорания, как карбюраторных, так и дизельных. Кроме того, Ползуновым было предложено оригинальное устройство для автоматического распределения пара и воды.

Осознавая техническую новизну предлагаемой машины, Ползунов предлагал вначале построить экспериментальный малый вариант для привода мехов для одной плавильной печи. В соответствии с проектом, машина состояла из двух цилиндров с противофазным движением поршней («эмволов»), снабжённых парораспределительной и водораспределительной системами.

Пар под давлением подавался под поршень одного из рабочих цилиндров, поршень поднимался, в то время как второй поршень опускался. При достижении первым поршнем верхней точки поступление пара прекращалось, внутрь цилиндра впрыскивалась охлаждающая вода, пар конденсировался и поршень двигался вниз.

В это время пар подавался под второй цилиндр, который устремлялся вверх. Все части двигателя работали силой опускаемого поршня. По сути, «огненная» машина Ползунова реализовала сдвоенный пароатмосферный цикл.

На заводе проект был поддержан, но для его реализации было нужно согласие высшего руководства из Петербурга, куда и отправили чертежи и пояснительную

записку. Ответ в Барнаул пришёл через год. Указом кабинета от 19 ноября 1763 г. императрица Екатерина II жаловала Ползунова И.И. чином инженерного капитан-поручика.

Это означало, что «механикус» теперь имел 240 руб. годового дохода, ему были положены два денщика и единовременное пособие из казны в 314 руб. на содержание лошадей. Кроме того, изобретателю была обещана премия в 400 руб. после реализации проекта.

Надо сказать, что вознаграждение было обещано, так себе, ниже среднего, если учесть, что за изготовленные для императрицы Иваном Кулибиным часы, казна отвалила 1000 руб. премиальных. А за модель однопролётного моста через Неву тому же Кулибину было жаловано из казны 2000 руб. Согласитесь, значимость утилитарных часов и модели моста, при всём уважении к Кулибину, и первого в мировой истории теплового двигателя несопоставима.

Тем не менее, Иван Иванович Ползунов стал «вашим благородием», т.е. был произведён в дворяне. Благи намерения государей, но чиновники и столоначальники при престоле в России во все времена проявляли повышенную бдительность, особенно когда это касалось творчества подданных. Ответ в Барнаул пришёл, но в нем, ни слова не говорилось о разрешении проект реализовать.

Несмотря на отсутствие внятного решения правительственных чиновников, начальник Колывано-Воскресенских заводов А.И. Прошин разрешил Ползунову, который уже заканчивал оформлять проект машины на 15 плавильных печей, начать строительство первой очереди машины.

В марте 1764 г. на Барнаульском заводе началось строительство большого теплового двигателя. Вот тут и начались трудности местного уровня. Оказалось, что материально-технический уровень завода не соответствовал задачам, выдвинутым проектом Ползунова.

Для реализации замыслов требовались квалифицированные молельщики, литейщики, кузнецы, слесари, специалисты по медному и паяльному делу. Работать над машиной должны были 76 человек, в том числе 19 высококвалифицированных рабочих.

В Барнауле такого количества мастеров не было. Трудности возникли с материалами и инструментами. Никто не хотел без столичного разрешения отпускать дефицитные материалы и взять на себя ответственность приглашения специалистов из Екатеринбурга.

Кончилось тем, что местное начальство выделило Ползунову на постоянной основе четверых подручных, но обещало выделять рабочую силу «сколько, когда у него, Ползунова, работы случиться».

К осени 1765 г. благодаря титаническим усилиям Ползунова и его ближайших сподвижников все детали машины были изготовлены. Ползунов сдал на склад завода 97 пудов медных опилок, что является показателем масштабности выполненных работ. Дело в том, что все инженерные сооружения до этого выполнялись, в основном, из дерева, с элементами металлических включений. У Ползунова всё было наоборот. Машина реализовалась в металлах, а дерево было вспомогательным материалом.

В оставшееся до зимы время было необходимо возвести для машины здание и «крупно соединить», т.е. собрать конструкцию воедино. Сооружение выходило высотой с трёхэтажный дом. Уже в это время И. И. Ползунов был болен, «одержим колотием в груди». Болезнь вследствие физического истощения прогрессировала, всё чаще и чаще горлом шла кровь.

Умер Иван Иванович в возрасте 38 лет 16 мая 1766 г., не дожив недели до официальных испытаний своего детища, которые успешно прошли 23 мая (5 июня) 1766 г. В первый же день испытаний комиссия пришла к заключению, что «огненная машина» Ползунова И.И. может приводить в движение мехи для подачи воздуха одновременно в 10 – 12 плавильных печей. Двигатель Ползунова Ивана Ивановича на испытаниях развил мощность примерно 40 лошадиных сил.

Для питания котла водой Ползунов изобрёл первый в истории техники автоматический регулятор уровня воды в котле, работающий в автоматическом режиме. Схема такого регулятора используется в различных вариациях в современных унитазах. Он построен на принципе регулирования по отклонению регулируемого параметра – основной принцип современной теории автоматического управления.

Рис. 3.28. Модель «огненной машины»

Кроме того, Ползуновым был предложен воздушный трансформатор. Для того, чтобы поток воздуха в печи был постоянным из мехов его вначале подавали в герметичный деревянный ящик «воздушный ларь», а уже оттуда в печи. Поток можно было регулировать и он не зависел от цикличности движения мехов.

Двигатель Ползунова проекта 1763 г. предназначался исключительно для привода воздуходувок. Следует отметить, что возвратно поступательное движение поршней могло быть преобразовано во вращательное движение посредствам кривошипно-шатунного механизма, который в России был хорошо известен и уже применялся на практике. В приложении к проекту Ползунов сообщал о возможности использования «огненной машины» для движения кузнечных молотов, рам лесопилок и т.п.

Будучи уже прикованным болезнью к кровати и не в состоянии самостоятельно писать, Иван Иванович продиктовал своему ученику Ване Черницыну прошение императрице: «Всепресветлейшая, державнейшая, великая государыня императрица Екатерина Алексеевна, самодержица всероссийская, государыня всемилостивейшая! Бьет челом механикус Иван Иванович сын Ползунов о нижеследующем: «Сочиненный мною проект новой машины Ваше Императорское Величество еще в 1763 году рассматривать и тем быть довольна соизволили.

И для вящего мне и прочих по примеру моему в таковых полезных упражнениях поощрения повелеть соизволили выдать мне в награждение 400 рублей. Но тех денег мне и поныне не выдано.

И хотя я той дачи получить не удостоился, ревность моя к службе не ослабла, и я вышеупомянутую машину во всех членах её сделал и в построенной фабрике собрав, поставил и к действию в плавильных печах привел в готовность, о чем главным над Колывано- Воскресенскими заводами командиром генерал-майором и кавалером Порошиным с некоторыми горными офицерами уже засвидетельствовано.

При котором строении понес я немалую себе тягость и в здоровье изнурение. При всем же том машинном устроении из находящихся при мне механики ученики

Дмитрий Левзин, Иван Черницын составление ее в членах нарочито поняли и производство знают и в чем-либо повредившееся окажется, то поправить могут».

Вот такое последнее желание гения, получить для семьи, обещанные самой императрицей деньги. Императрица повелела, а чиновники проигнорировали даже повеление самодержицы, что уже говорить о президентах и премьерах.

Официально в промышленную эксплуатацию «огненная машина» Ползунова была пущена 7 августа 1766 г.и была предназначена для привода заводских агрегатов. Устройство безостановочно действовало более трёх суток, исправно подавая воздух в плавильные печи.

Однако 10 августа двигатель пришлось остановить, износились пробковые прокладки поршней, осуществляющие их герметизацию. В общей сложности первый тепловой двигатель с краткосрочными техническими перерывами проработал 1023 часа (42 суток и 15 часов).

За это время было выплавлено более 14 пудов серебра, около 38 фунтов золота. Чистый экономический эффект за вычетом всех затрат на постройку и эксплуатацию, включая обещанную премию Ползунову в 400 руб., составил 11016 руб. И это за полтора месяца работы машины.

Однако потребности в машине заводы не испытывали, было много дешевой рабочей силы, для привлечения которой не требовались технические знания. Иван Иванович Ползунов опередил своё время, плоды его творчества были производству не нужны. Машину более не запускали, а в 1782 г. разобрали вовсе за ненадобностью.

В Европе, в частности в Англии, ситуация была иной. Стремительное развитие производства требовало новых источников энергии, и они не преминули появиться.

В 1782 г. Джеймс Уатт получил патент на универсальный тепловой двигатель. Регистрация патента Уатта совпала по времени с уничтожением творения Ивана Ивановича Ползунова, вот такая произошла закономерная несправедливость.

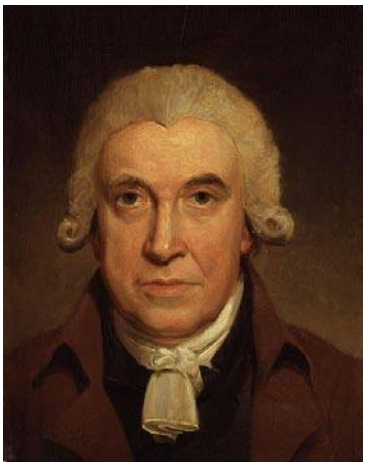


Рис. 3.29. Джеймс Уатт

О великих людях принято слагать легенды. Джеймс Уатт (1736 – 1819 гг.) не исключение. Одна из легенд о нём гласит о том, что с раннего детства юное английское дарование размышлял об энергии пара, задумчиво наблюдая за струйкой пара, вырывающегося из носика кипящего чайника. По мнению авторов легенды именно созерцание чайника натолкнуло Уатта на изобретение универсального парового двигателя.

Не исключено, что действительно в детские или отроческие годы Джеймс смотрел на кипящие чайники, однако маловероятно, что в ту пору ему грезились паровые машины. Дело в том, что Джеймс Уатт, как и многие творцы паросиловой техники не имел инженерного образования, следовательно, идеи построения паровых машин зарождались в их сознании в процессе созерцания происходящего, т.е. в процессе практической деятельности, что впрочем, нисколько не умоляет значимости для развития цивилизации их достижений.

Относительно же истекающего из носика чайника пара, уместно вспомнить Герона Александрийского, который не только наблюдал, но и построил забавную игрушку, именуемую в простонародии «Эолипил», однако универсальный силовой агрегат из игрушки так и не получался.

Англичане, с присущей им нахрапистостью считают Джеймс Уатта первым и единственным создателем универсального парового двигателя. Они правы только отчасти. Дело в том первое официальное упоминание о подобного рода двигателе появилось в 1663 г. у маркиза Ворчестера, который описал построенную им действующую модель с «чудесным водяным двигателем».

Патент же был выдан спустя 35 лет капитану Севери, который построил совю машину одновременно с соотечественником Ньюкоменом. Кузнецу, как известно патента не дали. В отличии от капитановой машины, аппарат Ньюкоумена, несмотря на своё несовершенство работал на шахтах и в рудниках, исправно откачивая из них воду.

Французы, на вполне законных основаниях, склонны считать, что пальма первенства в обуздании энергии пара принадлежит именно им, считая пионером парового двигателестроения Дени Папена.

Немцы, приоритет изобретения паровой машины отдают магдебургскому бургомистру фон Герике. Следует заметить, что Ворчестер, Папен, Ньюкомен и фон Герике жили за долго до рождения Джеймса Уатта.

Как отмечено выше, «огненная машина» Ползунова отработала исправно более 40 суток и была самой совершенной на тот момент времени. Между 1763 г, когда Ползунов оформил свой первый проект и 1782 г, когда запустил своё детище Джеймс Уатт лежит промежуток времени в 19 лет.

Но, тем не менее, Уатт оказался, как говорится в нужное время в нужном месте. У нас на Родине, в плане истории, Ивану Ивановичу тоже не повезло. Теоретик светлого будущего всего человечества К. Маркс, вождь и учитель В.И. Ленина, между прочим, в своё время изрёк: «Великий гений Уатта обнаруживается в том, что патент, взятый им в апреле 1784 года, давая описание паровой машины, изображает ее не как изобретение лишь для особых целей, но как универсальный двигатель крупной промышленности». Ну кто же после такового заявления осмелится перечить классику. Раз Маркс сказал – значит так оно и есть на самом деле.

Джеймс Уатт, ко всему прочему, должен был обладать подходящей наследственностью, потому что его дед преподавал в небольшом шотландском городишке Гриноке математику и мореходную астрономию и даже неоднократно избирался церковным старостой.

Папенька Джеймса тоже был не чужд интеллектуальной деятельности, но вместе с тем у него проявилась и предпринимательская жилка. Отец Джеймса держал склады с мореходными принадлежностями и открыл специальную мастерскую для изготовления мореходных инструментов.

В детские и юношеские годы у Джеймса Уатта среди любимых занятий созерцание кипящих чайников не значилось, а вот рыбалка и работа в папиной мастерской имели место. Но всё же рыбалка была на первом месте.

Обучаясь в школе, и систематически пропуская занятия, ввиду хилости и болезненности Джеймс Уатт успехами не блистал. Однако с 13 лет проявились его математические способности. Живя у дяди – профессора университета в Глазго, Джеймс Уатт по собственной инициативе проводил опыты по физике и химии.

В девятнадцатилетнем возрасте Джеймс отправился в Лондон, где устроился учеником в мастерскую по изготовлению навигационных инструментов. По возвращении в Глазго Джеймс Уатт открыл небольшую мастерскую по изготовлению инструментов. Талант Джеймса был замечен, и его пригласили на должность мастера – инструментальщика в университет.

В один из дней Джеймсу администрация университета поручила исправить сломавшуюся паровую машину Ньюкомена. Разбираясь с машиной, Джеймс по-

нял, что причиной неудовлетворительной работы были не поломки, а принципиальное несовершенство двигателя. В 1769 г. Уатт оформил свои идеи в виде патента на способы уменьшения потребления пара и топлива в в огневых машинах.

В предложенной конструкции машины были несомненные пионерские инженерные решения. Уатт изобрёл такие актуальные для парового двигателестроения устройства, как конденсатор пара, золотник и центробежный регулятор.

Постоянно работая над усовершенствованием машины, Уатт в 1782 г. получает второй, основной патент на универсальный тепловой двигатель (рис. 3.30).

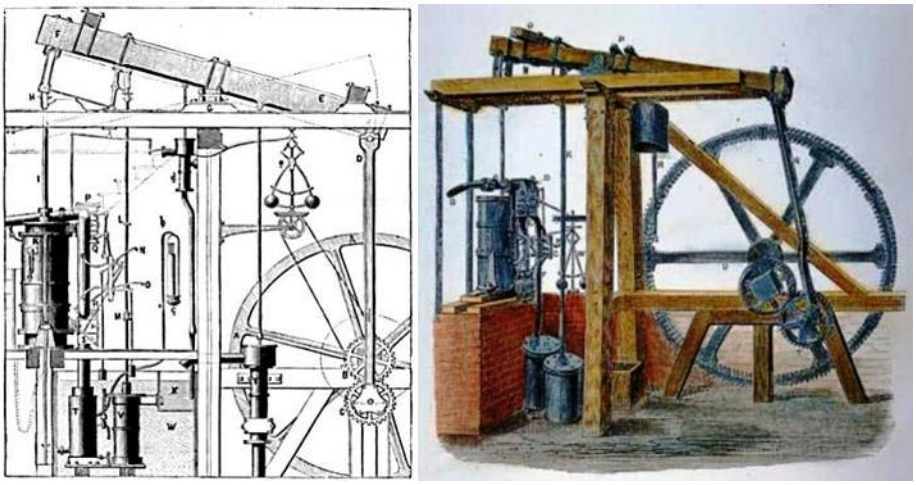


Рис. 3.30.Схема и модель парового двигателя Джеймса Уатта

Машина получает распространение, промышленники начинают её заказывать, потому что она приносит прибыль. Капитализм – двигатель прогресса. В процессе внедрения в изобилии встречались курьёзы. Постоянно совершенствуя узлы машины Уатт добивался снижения уровня её шума, но оказалось, что это свойство было воспринято потенциальными заказчиками настороженно. Бытовало мнение, что чем больше шумит механизм, тем большая мощность за этим скрывается, технические подробности мало кем из промышленников были осмысленны.

Сделаться двигателю универсальным помогли многочисленные нововведения Джеймса Уатта в конструкцию. Длительное время Уатт наблюдал работу двигателя Ньюкомена, совмещённого с насосом.

Уатт понял, что чрезмерное охлаждение стенок цилиндра приводит к необходимости подводить дополнительное количество пара для нагрева. Вокруг цилиндра была создана «паровая рубашка» не позволяющая сильно охлаждаться стенкам цилиндра при впрыскивании воды.

Последние нововведения позволили увеличить КПД двигателя примерно в 2,7 раза. Для тех времён это было просто замечательно. Представьте себе, что некой рационализацией удалось бы КПД современных ДВС поднять с 35 % до 70%. Фантастика!

Проводя измерения на примере повозок, запряжённых лошадями, Уатт соотносил мощность своего двигателя с мощностью животных. Финалом таких сравнений стало введение в оборот новой единицы мощности – лошадиной силы, которая прижилась не только в инженерной, но и в научной литературе.

Британская ассоциация инженеров присвоила единице мощности в честь Уатта наименование ватт. Кроме того, Уатт сконструировал открытый ртутный манометр, ртутный вакуумметр, водомерное стекло в котлах, индикатор давления, центробежный регулятор оборотов.

3.4. Самодвижущиеся экипажи

Изобретение колеса позволило более рационально использовать имеющиеся в распоряжении людей энергетические источники для перемещений в пространстве. Со времён неолита, в течение нескольких тысячелетий, в качестве энергетических источников использовали мускульную силу одомашненных животных, совершенствуя, в основном, конструкции средств передвижения, в чём, кстати, немало преуспели. Были и озарения.

Например, у легендарного Леонардо да Винчи (1452 – 1519 гг.), наряду с прочими было много изобретений, посвящённых транспортным средствам. Вертолёты, махолёты, водные транспортные средства и наземная техника. На рис. 3.31, показаны, построенные по рисункам да Винчи, деревянный велосипед и образец самоходной платформы. Платформа приводилась в движение потенциальной энергией, запасаемой в упругом элементе в виде свитых воловьих жил.

Рис. 3.31. Леонардо да Винчи и его изобретения

Работоспособность двухколёсника не вызывает сомнений, кроме, конечно, амортизации посадочного места ездока. Деревянная рама и колёса исправно должны передавать в область посадки путешественника все колебания, связанные с неровностями дороги. Но идея, то и внешний облик всецело соответствует современности, если отбросить такие условности, как резиновые надувные шины, многоступенчатую силовую передачу и прочую современную атрибутику в виде металлов, пластмасс и сплавов.

По рисункам Леонардо да Винчи, уже в наше время, была построена самодвижущаяся платформа, которая оказалась работоспособной. На полном заводе «пружины» по ровной плоскости платформа проезжала по прямой более 200 м.

Не ахти конечно какое перемещение, но не надо забывать, что придумано это всё было в XVI в., во времена, когда присутствие в обыденной жизни ведьм и чертей, было таким же «очевидным», как появление на небе Солнца и Луны. Творил свои проекты Леонардо да Винчи сразу после многовекового средневекового затишья в области всякой интеллектуальной деятельности.

Леонардо да Винчи был одним из немногих людей, которые по уровню своего мышления опережали современников на столетия.

Кстати о велосипеде, который стал уже фольклорным понятием, его снова изобрели в Европе в 1816 г. и называли беговой машиной Драйза (рис. 3.32). У этой придумки не было даже педального привода, для движения нужно было отталкиваться от земли ногами.

Велосипед – самокат изобрели снова, потому что было большое желание перемещаться быстрее и с меньшими затратами собственной мускульной энергии. Драйз наверное и не подозревал о существовании проекта да Винчи.

Рис. 3.32. Беговая машина

Оценив очевидные преимущества стационарных паровых двигателей, конструкторы начали предпринимать попытки поставить их на колёса, получить самодвижущиеся экипажи, которые бы перемещались без участия лошадей и иных, используемых веками для этих целей животных, ослов, мулов, верблюдов и т.п. Однако не всё так было просто. Паровые двигатели того времени с позиций экипажей представляли собой многотонных монстров, размеры которых были никак не соизмеримы с реальными повозками.

Идеи о движимых паром экипажей существовали и ранее, так например, по указаниям Исаака Ньютона был выполнен эскиз экипажа, движимого реактивной струёй пара, вырывающегося из сопла, соединенного с котлом (рис. 3.33).

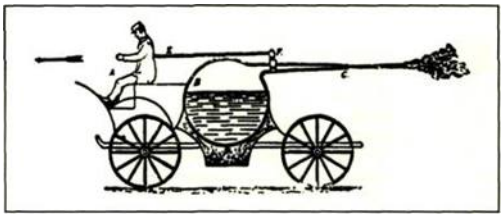


Рис. 3.33. Реактивная идея Ньютона

Сведения о попытках реализации этого проекта отсутствуют. Были проекты, основанные на реализации давнишней идеи Герона Александрийского, который развлекал публику своим знаменитым эолепилом.

Проект реализации идеи использования реактивных свойств паровой струи приведен на рис. 3.34. Под медным котлом предполагалось жечь уголь, превращать воду в котле в пар высокого давления и по специальному трубопроводу направлять пар на лопасти турбины. Вращение турбины через понижающий частоту вращения редуктор передавалось ведущим колёсам.

Рис. 3.34. Паровая турбина на колёсах

Идею совмещение существовавшего в то время стационарного парового двигателя с колёсами по всей вероятности впервые высказали небезызвестные Денни Папен, и Томас Севери. Однако как их двигатели, так и универсальный двигатель Джеймса Уатта были слишком велики для экипажей. Задача минимизации размеров без потери энергетического смысла была впервые решена французом Николой Жозефом Кюньо.

Конью состоял на службе в армии и носил капитанские погоны. Конью служил в инженерных войсках и по долгу службы был осведомлён о технических новинках. Капитан инженерных войск Франции поставил перед собой задачу, уменьшить габариты парового силового устройства.

Как водится, идея взгромоздить модернизированный паровой двигатель на колёса с налёту не пошла, первый вариант парового агрегата был меньше, чем у Уатта, но всё равно поставить его на колёса было не реально.

Деньги у Конюу на изобретательство закончились, идею пришлось отложить до лучших времён. Наступило время для поиска верного инженерного решения.

Кюньо, после неоднократных обращений к военному министру с просьбой выделения финансов на разработку армейского тягача с паровым приводом, наконец, достиг цели.

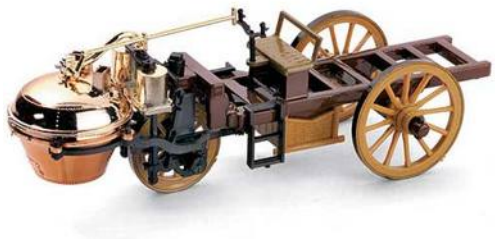


Рис. 3.36. Телега Кюньо

Министр поручил генералу де Грибьеву, разбирающемуся в механике оценить реальность предложения капитана. Генерал поддержал проект и в 1769 г. после длительных экспериментов с паром и переделок устройства состоялись испытания, так называемой, телеги Кюньо (рис. 3.35) или «механического мула».

Испытания прошли в г. Брюксе в присутствии большого числа специалистов и обывателей, пришедших поглазеть на необыкновенный экипаж. Затем испытания прошли в Париже в присутствии министра обороны. К этому времени изобретение получило имя собственное, «Фардье».

Пушечный тягач развивал по прямой скорость до 4,5 км/ч в течение 12 мин, на большее не хватало воды, следовательно и пара. «Фардье» состоял из массивной дубовой рамы на трёх колёсах. В области переднего ведущего колеса был установлен двухцилиндровый паровой агрегат и котёл.

Возвратно-поступательное движение поршней преобразовывалось во вращательное движение сложным храповым механизмом. Масса аппарата в снаряжённом состоянии составляла более двух тонн, поэтому для поворота ведущего колеса вместе с двигателем и котлом требовалось прикладывать значительные усилия.

В первых образцах машины пар из воды получался от костра, который разжигался под котлом. Вследствие экономии места в машине даже отсутствовала топка.

Несмотря на столь скромные показатели, «Фардье» на министра произвёл благоприятное впечатление и он распорядился совершенствовать машину далее, с тем чтобы получить более мощный образец и запустить его в серию в качестве тягача для буксировки тяжёлых орудий. Франция готовилась к большим войнам.

На создание тягача было выделено 20 000 франков, которые инженер использовал для создания образца, снабжённого топкой и способного перемещаться со скоростью, соответствующей скорости движения войсковых колонн. Такой аппарат был построен. Тягач развивал приемлемую скорость и обслуживался экипажем, состоящим из двух человек. Собственно водителя и кочегара. Кстати, слово кочегар на французском звучит как «шофер», откуда, и взялось, собственно современное название профессиональных автомобилистов.

Для запуска его в серию был необходим официальный показ изделия высшему руководству страны. Как это часто бывает, исправно катавшийся тягач, в присутствии начальства взбрыкнул. Развив приличную скорость, аппарат отказался поворачивать, заклинило рулевое управление. Тягач врезался в угол дома, причинив немалые разрушения.

Паровой котел, как и положено, взорвался, произведя страшный грохот. Начальство испугалось. Маршалу королевского двора наступили на ногу, с головы министра обороны слетела шляпа. Разве можно после таких потрясений продолжать испытания? Конечно, по просьбе трудящихся их запретили. А вот телегу сохранили, которая впоследствии стала центральной экспозицией в парижском музее искусств и ремёсел.

Несмотря на первые демонстрационные неудачи, модернизация паровых платформ в Европе продолжалась, мощности их выросли в среднем в 10 раз, габариты

уменьшались, потребление воды и топлива сокращалось. Вместе с тем, история развития парового транспорта, как и все новшества, полна досадных недоразумений и курьёзов.

Так, например, одного из пионеров паромобильного транспорта церковь заподозрила в общении с нечистой силой. Подозрения были настолько серьёзными, что инженеру пришлось на некоторое время свои эксперименты отложить.

Внедрение энергии пара на транспортных средствах сопровождалось скандалами и юридическими исками. Джеймс Уатт официально обвинил своего бывшего сотрудника Ричарда Тревитика в краже идей фирмы «Болтон и Уатт», когда тот решил снабдить, изготавливаемую самоходную платформу модернизированным универсальным двигателем Уатта.

Мало того, изобретатель первого универсального парового двигателя, используя свой общественный авторитет, пытался лоббировать в английском парламенте закон о запрете разработок паровых самодвижущихся экипажей, как опасных для здоровья людей. Закон провести через парламент не удалось, но Тревитику было указано приостановить работы до появления в окрестностях Лондона подобающим образом устроенных дорог.

Энтузиаст вынужден был тратить своё состояние на расчистку транспортных путей от деревьев и камней. Когда с дорогами разобрались, буквально взбунтовались владельцы конного почтового и пассажирского транспорта. Предчувствуя, что паровые автомобили вскорости станут серьёзными конкурентами, лошадники смогли убедить английский парламент в том, что развитие парового транспорта нанесёт ущерб состоянию дорог.

Запретить разработки парламент не мог, а вот ввести специальный налог соизволил, а кроме того, принятым законом «О дорожных локомотивах» было запрещено движение экипажей с паровыми двигателями со скоростями превышающими 15 км/час. Таким образом, в Англии основные козыри из колоды энтузиастов парового транспорта были выбиты.

Некоторые ученики Джеймс Уатта, несмотря на строжайшие запреты патрона на партизанской основе занимались паровиками, ожидая наступления 1800 г., когда патентные обязательства по отношению к Уатту заканчивались.

Уильям Мердок (1754 – 1839 гг.) будучи помощником Джеймса Уатта принимал активнейшее участие в модернизации универсального парового двигателя и попутно в тайне от руководителя изобретал паровые экипажи, кроме того, он разработал технологию сухой перегонки каменного угля с целью получения газа, который затем предложил использовать для освещения.

Мердок, работая на заводе Джеймса Уатта многому научился, поэтому его самодвижущаяся платформа по техническим характеристикам была более совершенной, чем творение Кюньо (рис. 2337). Оно и понятно, прошло целых 15 лет с момента запрета испытаний во Франции. Много чего за то время случилось

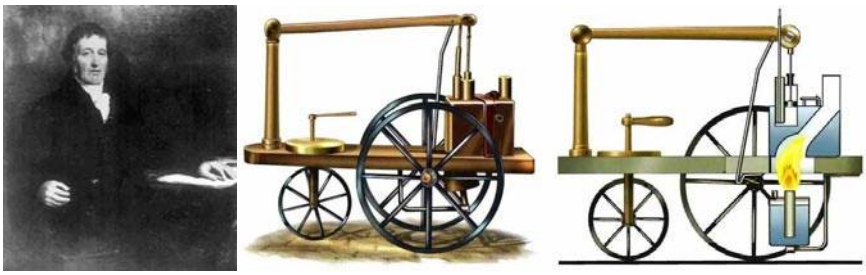


Рис. 3.37. Уильям Мердок и его самодвижущийся экипаж

Английский изобретатель Ричард Тревитик (1771 – 1833 гг.) занимаясь стационарными паровыми двигателями высокого давления в 1800 г. получил патент на своё устройство.

В 1802 – 1803 гг. он провёл успешные испытания своих изделий в Корнуэлле и Лондоне. Им был построен для Мертир-Тидвилской чугунной дороги (Южный Уэльс) первый в истории паровоз, но он оказался для существующих чугунных дорог слишком тяжёлым.

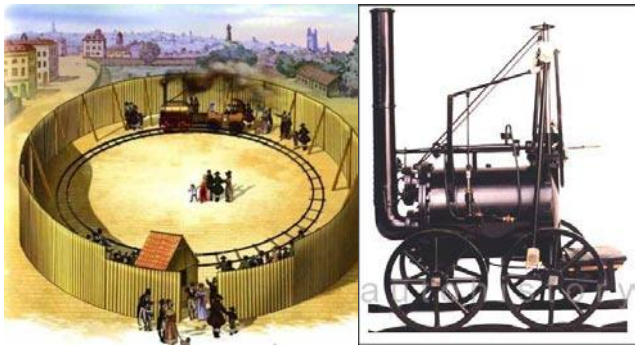


Рис. 3.38. Рельсовый экипаж Тревитика

В 1808 г. Тревитик построил самодвижущийся рельсовый экипаж, который мог развивать скорость до 30 км/час. Для демонстрации возможностей нового транспортного средства в окрестностях Лондона была построена специальная демонстрационная площадка (рис. 3.38).

Экипаж брал на борт 8 пассажиров и разгонялся до скорости 13 км/час. В грузовом варианте паровик Тревитика мог перевозись по рельсам 17,3 т грузов со скоростью 27,5 км/час.

Вытеснив экипажи с паровым приводом с городских дорог, путём налогов и ограничения скорости их передвижения, противники самодвижущихся экипажей «упустили» момент появления и развития железнодорожного транспорта.

Железнодорожные пути стали строиться повсеместно, силовые агрегаты совершенствовались, эффективность их росла, а габариты уменьшались. Потребность в наземном паровом транспорте всё возрастала, и в конце концов, паровой двигатель вернулся на безрельсовые экипажи в новом обличье.

В начале XIX в. стали массово появляться проекты паровых тягачей с улучшенными конструктивными параметрами двигателей. Так, например, паромобиль Перкинса был оборудован котлом высокого давления (до 31,5 атм), что обеспечивало частоту вращения коленвала до 1000 об/мин и системой охлаждения отработанного пара перед его возвращением в водяную ёмкость.

Рис. 3.39. Пожарный вариант парового насоса

Достаточно эффективным оказалось использование паровых приводов пожарных насосов. Перевозимый на конной тяге, малогабаритный паровой насос мог обеспечивать подачу к месту возгорания 5150 литров воды в одну минуту, с дальнобойностью более 100 метров (рис. 339). В Америке совсем отказались от конной тяги и начали строить универсальные паромобили, двигатель которых использовался, как для перемещения экипажа к месту пожара, так и для работы в качестве насоса.

В 1868 г. появилось ещё одно важное нововведение, Жозеф Равель (отец знаменитого музыканта) предложил использовать в качестве топлива подешевевший многократно, керосин.

Керосиновые горелки, в отличие от дровяных и угольных, более способствовали автоматизации процесса горения. Британская фирма Leyland первой начала вы-

пускать паромобили, использующие в качестве топлива керосин. Первые «керосинки» были более чем прожорливы. Они расходовали на 1 км пути 15,5 литров жидкого топлива. Многовато, не правда ли? Но лиха беда начало.

Дело в том, что это был первый случай использования в качестве источника тепла на транспорте углеводородного топлива. Удельная теплота сгорания древесины составляет 10200 кДж/кг, каменного угля – 25525 кДж/кг, а керосина – 43100 кДж/кг. Вот и весь фокус. Примерно в 1,7 раза теплотворная способность керосина выше, чем угля.

Дальнейшее усовершенствование в конструкцию парового двигателя внёс Леон Серполе, заменив котёл парогенератором в виде змеевика, что позволило снизить массу силового агрегата и его габариты (рис. 3.40). Кроме того, в паромобиле Серполе в сравнении с традиционными конструкциями значительно сократилось время начального прогрева агрегата. Парогенераторы, в которых создавалось высокое давление пара, до 21 атм. были, тем не менее, безопаснее водяных котлов.

Рис. 3.40. Паромобили Серполе

В 1896 г. в Англии отменили пресловутый закон «О красном флаге», который предписывал перед движущимся паромобилем пускать специального человека с красным флагом, чтобы тот предупреждал горожан о приближении экипажа. Этот закон, естественно резко ограничивал скорость передвижения, сводя на нет главное преимущество паровиков.

После отмены этого несуразного закона началось соревнование конструкторов в создании всё более скоростных машин. На последующих конструкциях Серполе, например, появились эластичные шины и карданный вал, передававший движение от парового двигателя к ведущим колёсам.

Эти новшества, в частности, позволил Серполе установить мировой рекорд скорости – 120 км/час, годом позже это рекорд был им же побит, паромобили разогнался до скорости 144 км/час. Абсроютный рекорд скорости для паромобилей был установлен американцем Мариоттом и превысил 200 км/час.

Во Франции в 1875 г. стараниями Амадея Боли появился паровой экипаж, способный перевозить 12 пассажиров (рис. 3.41). При общей массе аппарата в 5 т. дилижанс потреблял 2,5 кг угля и 14 л. воды на 1 км пути.

По энергопотреблению машина Боли практически в два раза превосходила все остальные. Оборудованный двумя двухцилиндровыми паровыми двигателями дилижанс на горизонтальной дороге мог развивать скорость до 40 км/час.

Рис. 3.41. Многоместный городской экипаж

Последующие конструкции Боли оснащались более экономичными паровыми двигателями, потреблявшими на 1 км пути 1,5 кг угля и 3,5 л воды, масса снаряжённого транспортного средства снизилась до 3,5 т. Последние варианты паровой повозки Боли имели цельнометаллические кузова и независимую подвеску колёс.

Рис. 3.42. Американский омнибус

Активно строили омнибусы, так назывались дилижансы, в Англии и Америке. В Америке омнибусы впервые начали курсировать по Нью-Йорку (рис. 3.42) и внешним видом уже походили на современные автобусы и трамваи нежели на конные экипажи. Омнибусы имели каучуковые шины, рессорную амортизацию, обслуживались шофёром и кондуктором.

Наряду с неоспоримыми достоинствами паромобили имели один существенный недостаток, перед стартом паровой силовой агрегат должен был около двадцати минут прогреваться, доводя температуру воды до рабочего состояния. Кроме того, обслуживание и управление самодвижущимся экипажем требовало специальных знаний и навыков. Паромобиль был не для массового потребления.

Вместе с тем, наряду с развитием паромобилей конструкторами были предприняты успешные попытки создания двухколёсных транспортных средств, мотоциклов и мопедов с паровыми силовыми агрегатами. Более всех в создании реальных конструкций продвинулся француз Луи Гийом Перро, который одни из первых установил на деревянную раму с двумя колёсами компактный паровой двигатель (левый фрагмент рис. 3.43).

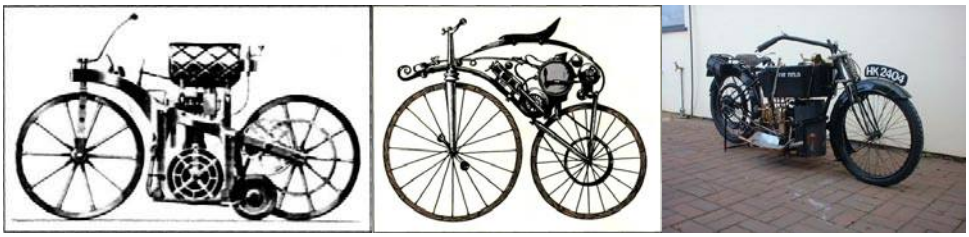


Рис. 3.43. Двухколёсные паровые машины

Мотоцикл Перро был оснащён массивным маховиком, энергии которого хватало на некоторый отрезок пути. В последующих конструкциях деревянная рама была заменена трубчатой металлической.

Новинкой в строительстве самодвижущихся средств стал проект Перро мотоцикла с электрическим приводом. Но электротехническая промышленность была в эмбриональном состоянии, надёжных и компактных электромоторов ещё не выпускалась и проект был так не реализован. Электорпривод на мопедах стал широко применяться только в середине XX в.

Перро разработал паровую мотоциклетную машину с питанием жидким топливом: керосином, винным спиртом или растительным маслом. Скорость мотоцикла регулировалась количеством подаваемого в цилиндр пара.

Тормозная система в этой модификации мотоцикла была не предусмотрена. Колёса мотоциклов Перро были деревянными с металлическими ободьями. Седло перемещалось по изогнутой трубчатой раме. Летом его устанавливали дальше от

двигателя, а зимой, наоборот, ближе, чтобы от двигателя можно было путешествующему согреваться (средний фрагмент рис.3.43).

Несмотря на явный прогресс и распространение транспортные средства с паровыми двигателями в стратегическом плане не смогли конкурировать с экипажами, оборудованными двигателями внутреннего сгорания, которые не требовали предварительного разогрева и обладания специальными навыками при эксплуатации.

На рис. 3.44 показан примерный эволюционный ряд экипажей различного назначения с паровыми двигателями.

Рис. 3.44. Эволюция паромобилей

3.5. Паровозы

Рис. 3.45. Тревитик Р.

Рис. 3.46. Стефенсон Дж.

Как было отмечено ранее, первый рельсовый экипаж был построен и успешно испытан ещё в 1804 г. Ричардом Тревитиком, однако эти испытания нельзя назвать полномасштабными, скорее это была первая демонстрация принципиальной возможности перемещаться по рельсам с помощью энергии пара.

Треветик был первым в истории и этого вполне достаточно, чтобы заявить о возможностях использования энергии пара на специально устроенных рельсовых путях. Паровоз Тревитика был настолько тяжёл, что его долго не выдерживали чугунные рельсы, железо в те времена было редкостью и стоило дорого.

Следующим успешным энтузиастом паровозостроения был английский изобретатель Джордж Стефенсон (1781 – 1848 гг.), родившийся в семье рабочего – горняка, в которой воспитывались шесть детей, естественно без большого достатка.

Достаток был настолько не велик, что будущему изобретателю пришлось с восьмилетнего возраста идти работать на шахте. В начале он был коногоном, т.е. мальчиком при конях, которые вывозили из шахты уголь.

Отец Джоджа (Георга) был контролёром газовой обстановки в шахте, получал в сутки 12 шиллингов, которых едва хватало на пропитание, вопрос об образовании детей даже не стоял. Все дети, как впрочем, и родители, были, практически, неграмотными.

В те времена, времена бурного развития промышленного развития Англии, всякая инженерия была в большом почёте, поэтому дети мечтали о лаврах славы великого Джеймса Уатта, юный Стефенсон не был исключением.

Увидев картинки двигателя Уатта молодой человек осознал, что такую технику невозможно освоить без образования. К 18 годам Джордж самостоятельно научился читать и писать. Некоторую часть своего ничтожного заработка он стал тратить на книги по арифметике и инженерным дисциплинам. Освоив самостоятельно устройство и принцип действия паровых машин, Стефенсон у себя на шахте стал первым экспертом и наладчиком диковинных устройств, которые использовались, в основном, в режиме насосов для откачивания воды.

Ещё в свою коногонную бытность Стефенсон задумал приспособить паровой двигатель для транспортировки из шахты угля, которого требовалось для развивающего производства всё больше и больше.

Он размышлял об эффективном и дешёвом способе перемещения вагонеток угля, потому что возможности мускульной силы животных уже были исчерпаны.

Свою идею о строительстве железнодорожного транспортного средства Стефенсон реализовал в 1814 г., построив локомотив «Блюхер», который со скоростью 5,5 км/час перемещал восемь вагонов с тридцатью тоннами полезного груза.

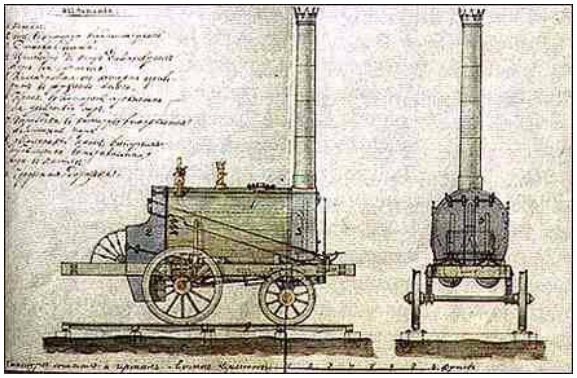


Рис. 3.47. Первый паровоз Стефенсона

Локомотив Стефенсона был оборудован двигателем с двумя вертикальными цилиндрами и цилиндрическим паровым котлом диаметром 1 м и длиной 3 м (рис. 3.47). Паровоз «Блюхер» стал рекордсменом по перемещению грузов по металлическим рельсам.

Уже в 1825 г. неутомимый Стефенсон, окрылённый первыми успехами, построил паровоз для перевозки 6 платформ на расстояние 50 км. между городами Манчестер и Ливерпуль. На грузовых платформах перевозили уголь и муку. Кроме того, к локомотиву были прицеплены платформы со скамейками, на которых смельчаки могли прокатиться, что называется с ветерком.

Рис. 3.48. Пассажирские перевозки

Поездом управлял лично Стефенсон. В первую поездку прелести железнодорожного транспорта могли оценить более 600 пассажиров, и никто из них, вопреки пророчествам скептиков, не испытал неприятных ощущений (рис. 3.48).

А скептиков было в избытке. Прежде всего, церковь, которая в целом настороженно относилась к огнедышащим чудищам, считая такой способ передвижения не совсем богоугодным делом.

Потом лошадники, они почувствовали нутром, что новые веяния могут разрушить многовековую монополию использования для всякого вида перевозок лошадей, мулов, ослов и верблюдов. Надвигающаяся опасность заставила конных перевозчиков объединиться, подкупить во все времена алчных чиновников и возможными методами и средствами тормозить развитие паровой техники.

Закон об ограничении скорости паромобилей как раз из этой серии. Кроме того в продвинутой Англии на полном серьёзе рассматривался вопрос о запрете самодвижущихся экипажей по причине их дурного влияния на психику лошадей.

Действительно лошадки по первости шарахались от паровиков, доставляя некоторые неудобства кучерам. Необученные лошади ещё более входили в смятение и от ружейных выстрелов, но потом привыкали даже к пушечным выстрелам.

Лошадь умное животное, её много чему можно научить. Естественно, что все эти выпады никоим образом не были обусловлены заботой о животных, они диктовались чисто экономическими мотивами.

Помимо надуманных причин, тормозящих прогресс, были и чисто технические трудности. Так, например, некоторое время полагалось, что тяжёлые локомотивы не могут двигаться по гладким рельсовым путям. Гладкие поверхности рельсов и колёс не могли, по мнению инженеров того времени, обеспечить нужное сцепление. Опорные рельсы снабжались специальной зубчатой рейкой, а колёса делались тоже зубчатыми. Локомотив такой конструкции был запущен в 1812 г. и при собственной массе 20 тонн мог со скоростью 11 км/час перемещать груз в 100 тонн.

Однако несмотря на возникающие заморочки, индустриализирующееся английское общество прониклось и авторитет Стефенсона возвысился до пределов приглашения к строительству ещё одной железной дороги Ливерпуль – Манчестер для перевозки грузов текстильной промышленности.

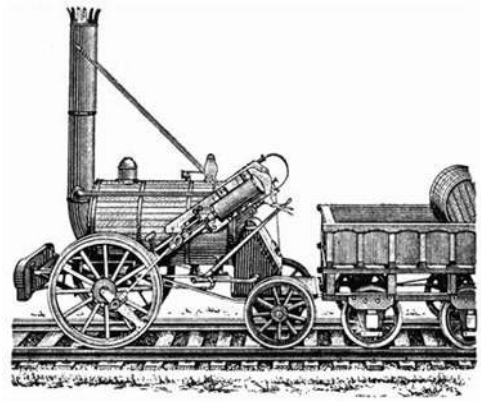


Рис. 3.49. «Ракета» Стефенсона

Стефенсону была заказана новая железная дорога и скоростной паровоз, который не преминул в скорости появиться. Локомотив был назван символически – «Ракета», потому как мог развивать скорость до 22 км/час (рис. 3.49).

В силовой установке была осуществлена идея огнетрубного котла: по 25 трубам циркулировала не вода, а перегретый пар. После испытаний нового детища Стефенсона заказы на новые дороги и локомотивы обрели постоянную основу.

В 1836 г. Стефенсон основал проектно-конструкторское бюро, которое придавало инженерный вид его разработкам. По проектам этого бюро строились паровозы, которые экспортировались за пределы Англии, включая и Россию.

Главный паровозный конструктор прославился и в смежных областях. Он изобрёл безопасный фонарь для горняков, за что был премирован. Полученного вознаграждения хватило, чтобы отправить в Эдинбург на стажировку сына Роберта, который в последствии стал соратникам отца во всех его инженерных начинаниях, после смерти отца продолжил его начинания.

Рис. 3.50. Николай Демидов

История внедрения паровых транспортных средств в России имела национальные оттенки и особенности. Можно сказать, что у истоков процесса стоял небезызвестный в отечественной промышленности уральский промышленник Николай Демидов (рис. 2.51), который мнил себя неким владыкой всего Урала.

После смерти Екатерины II повелителем вся Руси стал Павел, о котором справедливо в народе говорилось: «Полунемец, полуфин, в целом – просто сукин сын». Верные люди царедворцам Павла доносили, что Демидов на Урале прямо распоясался. Прячет у себя на заводах беглых крепостных, не по справедливости делится прибылями с казной и вообще, одним словом, сам себе велосипед.

Демидова пригласили пред светлые очи в Питер, намечая грандиозный разнос. Павел, как известно, был подозрительным, злопамятным и жестоким со своими даже потенциальными противниками, а уж тем более с нарушителями финансовых законов, к коим и был причислен Николай Демидов.

Несмотря на суровые намерения сатрапов, Демидов, по российскому обыкновению, путём подношений и неприкрытой лести дело своё смог уладить и без особого для себя вреда направился восвояси, на Урал.

Путь от столицы был не близким, дорога была в высшей мере скучной, добирались лошадьми, с частыми остановками для смены утомлённых быстрой ездой животных.

На одной из станций смотритель, чтобы как-то скоротать время важной путешествующей особы, рассказал об имеющемся у местного купца крепостном человеке, который был горазд в изготовлении всяких забавных механизмов: выплясывающих кукол, часов с поющими петушками и прочих механических забав.

Демидов пожелал такого искусника иметь в собственности. С не очень богатым купцом Свистуновым сладились быстро. За две тысячи рублей умелец поменял хозяина. Это был, знаменитый в последствии, Ефим Черепанов.

Привезя Черепанова в Тагил, новый владелец подстраховался от побега крепостного человека. Была составлена расписка – гарантия на пять тысяч рублей, которые в случае чего Черепанов должен был возместить владельцу. Дорога до Урала, таким образом, была оценена предприимчивым миллионщиком в три тысячи рублей. Умел таки мужчина делать деньги, считая, что крепостной Демидова должен стоить гораздо больше, чем у помещика Свистунова.

Надо сказать, что Демидов купил умельца с дальним прицелом, не только за его умение строить разного рода диковинные игрушки. Путешествуя по столицам иноземных государств и их окрестностям, включая Англию, промышленник воочию убедился, как технический и технологический прогресс благотворно влияет на развитие производства, на интенсивность извлечения прибылей.

В России же, а особенно на Урале, любые машины, не говоря уже о паровых двигателях, были в диковинку. Демидов командировал в 1821 г. Ефима Черепанова в Англию на стажировку.

Робости и смятению Черепанова не было предела. Будучи практически безграмотным и слабо подготовленным технически Черепанов сомневался в успехе своей миссии, сознавая, что мера ответственности в случае провала миссии будет более чем суровой. Крепостной всё же.

Хорошо бы конечно смыться в Англии или по пути туда, много было мест, где о крепостничестве уже давно забыли. Но на Урале остались жена и сын, за которых он сильно переживал, зная крутой нрав хозяина. Вариант побега не катил.

Прибыв в Англию он с головой погрузился в наблюдения за работой различного рода машин. Особо восторженное впечатление на Черепанова произвели паровые двигатели. Один двигатель на рудничном производстве в Англии заменял каторжный труд 35 рабочих на демидовских предприятиях.

Это конечно поражало воображение Черепанова и рисовались радужные перспективы. Будучи одаренным, от рождения, русский самородок многому в Англии научился, став грамотным специалистом в области механики.

К моменту возвращения Черепанова восвояси многие промышленники стали приглашать иноземных специалистов для внедрения в производства машин, а у дальновидного Демидова был свой механик, который мог вполне конкурировать с приезжими профессионалами.

Первым результатом стажировки стало сооружение паровой водокачки на шахте глубиной в 40 м. Второй удачной конструкцией Черепанова был паровой двигатель мощностью 40 лошадиных сил, который исправно работал в течение нескольких лет. Это было достижение на уровне лучших иностранных образцов того времени. Популярность Черепанова в области конструирования и эксплуатации паровых источников энергии была настолько высока, что Демидов начал сдавать своего умельца в аренду другим заводчикам. На Урале не было более грамотного специалиста по паровым двигателям.

С некоторого момента времени в скудном списке документов, где упоминается Ефим Черепанов стал встречаться в качестве действующего лица его сын. Но, как это ни покажется странным, точно неизвестно как звали отца и как звали сына.

Имя Ефим в некотором смысле условное, потому что в ряде бумаг сына тоже называли Ефимом, а отца Михаилом. Отчего так? Дело в том, что в России мало кого заботили имена крепостных. Человек Демидова – вот главная и всеобъемлющая характеристика всякого из многотысячного крепостного племени.

Их персональные данные не имели для окружающих значения. Как бы сейчас сказали: «Они не являлись физическими лицами». Такая ситуация складывалась не только на Урале в горной и металлургической промышленности.

В России в немалом количестве возводились кирпичные сооружения. Имена архитекторов, которые были из иностранцев хорошо известны, а имена отечественных мастеров так и канули в безызвестности.

Рис. 3.51. Отец и сын Черепановы

Вот и с Черепановыми, люди такие были, оставили след в истории отечественного машиностроения, а достоверных сведений о них, даже биографического характера осталось очень мало. Вместе с тем, во многом условно принято считать, что отцом являлся Ефим Алексеевич (1774 – 1842 гг.) Черепанов, а сыном – Мирон Ефимович (1803 – 1849 гг.).

Преуспев в деле освоения механических премудростей Мирон Черепанов стал вместе с отцом специалистом по паровым двигателям. Демидов, памятуя о большой пользе заграничной стажировки отца, направил и сына в Англию с целью знакомства с передовым опытом механизации производственных процессов.

До Петербурга через Москву Черепанов – сын добирался на лошадях, трясясь в «сидейках», а далее морем на парусном судне. Во внутренних водах туманного Альбиона Черепанов впервые увидел паровые суда, сразу оценив их преимущества над парусными, им не нужно было ловить ветер, они всегда могли, хоть и медленно, но идти в нужном направлении.

В Англии в шахтах Черепанов младший увидел в большом количестве паровые силовые агрегаты, которые по конструктивной идеологии и производительности существенно опережали те образцы, которые сооружал его отец.

По настоянию Черепанова в городке Вайдам, его свели с Георгом Стефенсоном – изобретателем первого английского парового Локомотива. Мирона Черепанова поразило, что Стефенсон, величина мирового значения в области паровозостроения, не был так чванлив и надменен, как менее значимые соотечественники.

Стефенсон показал парню из неведомых снежных северных краёв свой паровоз и прокомментировал его устройство и основные технические характеристики. Молодой Черепанов увидел, что движимые паром экипажи уже не были для англичан какой-то диковинкой. Русский стажёр не знал, что за 40 лет до Стефенсона в кругах английских учёных, инженеров и мастеровых людей обсуждались разнообразные идеи самодвижущихся экипажей

В Росси мало кто знал, что в 1829 г. в Англии был объявлен конкурс на конструирование локомотива, который бы был массой не более шести тонн, но мог бы везти со скоростью не менее: 15 км/час груз массой 20 тонн.

В финал конкурса вышли четыре конструкции, лучшей из которых оказался проект Стефенсона «Ракета». Именно с этого конкурса началась триумфальная карьера Джорджа (Георга) Стефенсона. Черепанов тоже не знал предыстории взлёта Стефенсона на олимп великих механиков, поэтому все пояснения мэтра слушал с распахнутыми глазами и не скрываемым восторгом.

К моменту приезда Черепанова в Лондон, там уже были налажены железнодорожные перевозки, перевозящих пассажиров. Небольшие по современным меркам поезда возили грузы и пассажиров. По дорогам Лондона перемещалось более 100 паровых пассажирских омнибусов.

Английские газеты писали о том, что многовековая традиция перемещаться по дорогам на лошадях уходит в прошлое. Говорили, что лошадь превратится в скором времени в реликтовое животное, и его будут изучать как ихтиозавров.

Англичане показывали Черепанову все свои технические новинки, пребывая в глубокой уверенности, что представитель таинственной далёкой страны не сможет их реализовать у себя на родине. Маловероятно, что Черепанов вёл какие-то записи в виде описаний конструкций и их чертежей.

Очевидно, всё увиденное он попросту запоминал. Сомнительно, чтобы англичане позволили бы возить за пределы страны техническую документацию. Уже с те времена она стоила больших денег, на этот счёт действовали достаточно жёсткие законы.

Меж тем в России разгорались дискуссии о применимости железнодорожного транспорта. В 1831 г. в Петербург был приглашён французский профессор Дестрем для чтения лекций в институте путей сообщения. Помимо занятий со специалистами профессор прочёл цикл публичных лекций, тема одной из которых звучала более чем обескураживающе: «О причинах неприменимости железных дорог к средствам и потребностям России».

Своё заключение профессор аргументировал тем обстоятельством, что суровый климат России с её продолжительными и снежными зимами никак не совместим с прокладыванием железнодорожных путей. Промерзание грунта и снежные заносы, по мнению, француза, были совершенно не совместимы со спецификой организации железнодорожного движения.

Необходимость строительства многочисленных мостов через реки и речушки сводили на нет всю эффективность паровой локомотивной тяги. Этому многие влиятельный чиновники России верили, как же, сам французский профессор так считает. Мнения иностранных специалистов во все времена почиталось у нас на Родине за непререкаемые.

Вместо железных дорог Дестрем предлагал развивать сеть каналов и совершенствовать парусный флот. Одним словом, заезжий профессор предрекал для России вечное бездорожье, в чём он не сильно ошибся.

Уральские властодержцы, однако, не будучи знакомыми с мнением Дестрема, к отчёту Черепанова о лондонском вояже отнеслись с большим вниманием и приняли решение о строительстве экспериментальной железной дороги. Как обычно, провинция, живя насущными потребностями, оказалась более прогрессивнее столиц. Мирону Черепанову были выданы субсидия и полномочия для строительства «Сухопутного парохода» и было приказано «Построить!».

В основе своей конструкции локомотива Мирон Черепанов использовал проверенную схему сына Стефенсона «Планета», но это не было слепым копированием английского варианта (рис. 3.52).

Рис. 3.52. Паровоз Черепановых

Многие конструкторские задачи были решены Черепановыми самостоятельно и совершенно иначе, чем у англичан. Отец – Черепанов, принял деятельное участие в разработке узлов локомотива и их реализа-

Рис. 3.53. «Сухопутный пароход»

ции, оказывая своим бесценным опытом большую помощь сыну.

В «Сухопутном пароходе» Черепановых (рис. 3.53) была применена оригинальная схема увеличения тяги путём подачи отработанного пара в трубу. Пар под давлением врывался в трубу и увлекал за собой атмосферный воздух, что щественно увеличивало его приток в топку, обеспечивая более интенсивное горение лива, в качестве которого использовались дрова и уголь.

Кроме того, в котле Черепановых две нагревательные трубы большого диаметра были заменены двадцатью трубками малого диаметра, что увеличило площадь соприкосновения нагревательных элементов с водой. Конечно, для современных термодинамиков это кажется более чем очевидным, но ни отец, ни сын не владели теоретическими основами и методами инженерных расчётов.

До всего приходилось доходить методом множественных экспериментов. Ещё одним несомненным достижением было наличие у «Сухопутного парохода» заднего хода. В мировой практике такого ещё никто не делал.

Первый в России паровоз был построен менее чем за год. По специально проложенным рельсам в 1833 г. состав, ведомый Мироном Черепановым, с прицепленными к паровозу вагонетками с рудой отправился в своё первое путешествие со скоростью немногим более 12 км/час. Демидов и другие региональные официальные лица демонстрацией впечатлились и велели Черепановым продолжать работу по усовершенствованию конструкции.

Модернизированный вариант паровоза, поставленный на рельсы с шириной колеи в 2 м, в 1835 г. мог перемещать 16,5 тонн груза со скоростью 15 км/час. Испытания прошли на пароходной улице, названной так в честь первого «Сухопутного парохода» Черепановых.

После успешных испытаний было решено проложить не экспериментальную, а настоящую дорогу от рудника до Нижнетагильского перерабатывающего завода. В этом же 1835 г. дорога была запущена и находилась уже четыре года в эксплуатации, когда в столице империи начали развиваться железнодорожные темы, но, как обычно, по заморским сценариям.

Царь Николай I, прослышав о прелестях железнодорожного транспорта от видевших это техническое чудо своих царедворцев, тоже пожелал иметь у себя этот символ научно-технического прогресса. Как водится, в Россию был приглашён профессор Венского политехнического института Герстнер, который при встрече с царём настоятельно рекомендовал начать строительство железной дороги, естественно, под его руководством. Царь проникся. Иностранец всё же.

Герстнеру, не за так, конечно, поручили построить железную дорогу Перербург – Царское село. Именно 1 мая 1835 г., когда второй вариант паровоза Черепановых был введён в промышленную эксплуатацию, в столице было принято «судьбоносное» решение о строительстве, как считал царь всея Руси и иже с ним, первой отечественной железной дороги.

На строительство путепровода длиной 25 вёрст было привлечено 2500 крепостных крестьян и 1400 солдат. «Для пристанища и удовольствия публики» в парковой зоне Павловска начал сооружаться «воксал» с рестораном, танцевальным залом, зимним садом и фонтанами.

Рельсы, уголь, сам паровоз и его многочисленная обслуга, естественно были выписаны из-за границы, из Англии. Когда кто-то из царедворцев осмелился проинформировать царя – батюшку о наличии действующей железной дороги на Урале, то тот разгневался, посмотрев на информатора многозначительно и недобро.

Через два года после принятия решения, 30 октября 1837 г. состоялось помпезное открытие «первой» официальной российской железной дороги (рис. 3.54). Управлял составом небезызвестный профессор Герстнер.

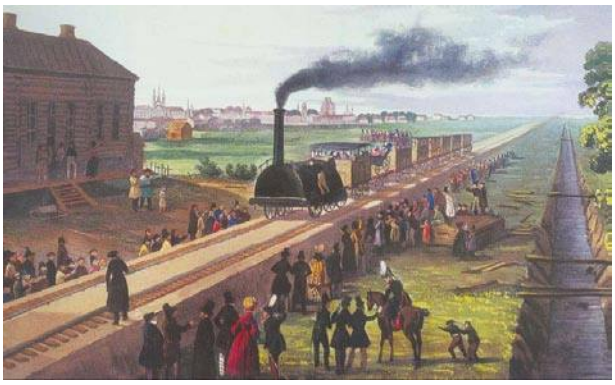


Рис. 3.54. «Первая» отечественная железная дорога

Железнодорожная ветка стала модной. Как же, сам царь пользовался услугами паровозной тяги. Это была типичная забава, и не более того.

Герстнер после триумфального испытания железнодорожной ветки по собственной инициативе посетил Урал. Его поразили богатства этого края, впрочем, как его убожество. Более всего Герстнера, как и многих иностранцев удивляло то, как можно умудряться жить так бедно при таких богатствах вокруг.

Вернувшись в Петербург, профессор напросился на аудиенцию к Николаю I и представил царю проект сети железных дорог, которые, по мнению Герстнера, должны способствовать развитию промышленного потенциала империи, включая Урал. Профессор полагал, что реализацию его плана надо начинать немедленно, чтобы окончательно не отстать от Западной Европы.

Однако царь отнёсся к идее обласканного ранее заморского профессора прохладно, считая затею не своевременной. Естественно, что царские министры, включая и министра путей сообщения, были, мягко говоря, тоже не в восторге от идеи развития сети железных дорог.

Отечественный чиновник всегда чувствовал предстоящие заботы и по возможности от них вполне профессионально отлынивал. Потребовалось всего 13 лет, чтобы российские столоначальники устыдились своей отсталости от Западноевропейских держав, и соизволили разродится наивысочайшим разрешением на прокладку железной дороги между Петербургом и Москвой.

В 1851 г. поезд из Петербурга до Москвы катился всего сутки. В течение этого времени не нужно было улаживать, путём дачи взяток, вопросы с комфортабельной ночевкой, пропитанием и сменой уставших лошадей свежими.

Станционные смотрители и целая орава обслуги лишилась законных заработков и приработков, а заодно и для цепочки их начальников иссякли ручейки дополнительных поступлений.

Коррупция, борьба с которой снова начала изображаться в нашей стране, началась далеко не вчера. Мздоимство существовало наряду с суровым климатом и плохими дорогами с незапамятных времён.

Вспомните Алексашку Меньшикова или графа Потёмкина, редких профессионалов в области государственных хищений. Ну, приворовывали пацаны, подумаешь, но люди, то хорошие и для престола были в высшей степени полезные.

И таких Меньшиковых и Потемкиных в истории нашей многострадальной Родины было ой как гораздо, причём во все времена, включая и нынешние.

Воровство и мздоимство были приостановлены в период правления И. В. Сталина, порядки были, прямо скажем, суровые, с расстрельными исходами, и мало кто хотел рисковать. Но с приходом Н.С. Хрущёва, наступила политическая оттепель, а вместе в ней воровство на всех уровнях, как та гидра, быстро восстановилось, преумножилось и продолжается по нынешние времена, всё больше поражая государственный организм.

В этой связи, отношение царских чиновников к железной дороге вполне понятно. Оно, примерно такое же, как у современных центурионов асфальтовых трасс к повышению штрафов за нарушение правил дорожного движения. Повышение штрафов приводит к существенному уменьшению нарушений, следовательно, к сокращению потенциальных просителей милости за соответствующее случаю вознаграждение.

К сожалению, даже на Урале, родине первого отечественного паровоза, осталось очень мало свидетельств о творчестве Черепановых. На уровне преданий известно, что младший Черепанов, доживший до глубокой старости, занимался конструированием различных паровых механизмов, включая самолёты и подводные лодки.

Никаких документальных подтверждений этому до настоящего времени не найдено. А железные дороги в России, хотя и позже, чем в Западной Европе, возникли и достаточно бурно развивались.

Железнодорожные перевозки появились в 1825 г. в Англии, а 1837 г. железная дорога была введена в эксплуатацию и в России [82]. На рис. 2.56 приведены данные о протяженности железных дорог пяти ведущих стран, из которых можно проследить динамику их развития. Следует обратить внимание на скорость строительства железных дорог Германией и Россией. До 1870 г. Россию с большой долей условности можно было назвать железнодорожной державой, а вот в последующие годы ситуация изменилась. Россия вошла в тройку промышленно развитых государств.

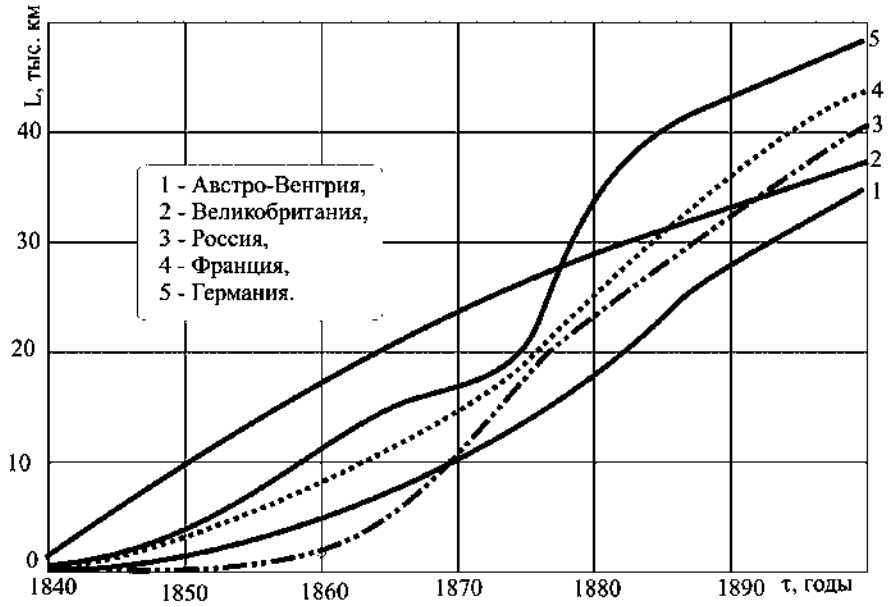


Рис. 3.55. Начальный этап развития железных дорог в Европе

Эра паровозов ознаменовала собой очередной рубеж, преодоленный человечеством в постоянном стремлении владеть новыми источниками энергии. Использование энергии пара позволило коренным образом изменить как промышленное произ-

водство, так и транспортные и пассажирские перевозки. Энергетические установки паровозов были вопиюще неэффективны Коэффициент полезного действия лучших образцов не превышал 8%. В качестве топлива использовался в основном уголь, но в топках паровозов можно было сжигать дрова и жидкое топливо, включая сырую нефть. На рас. 3.56 приведены образцы паровозов конца XIX в.

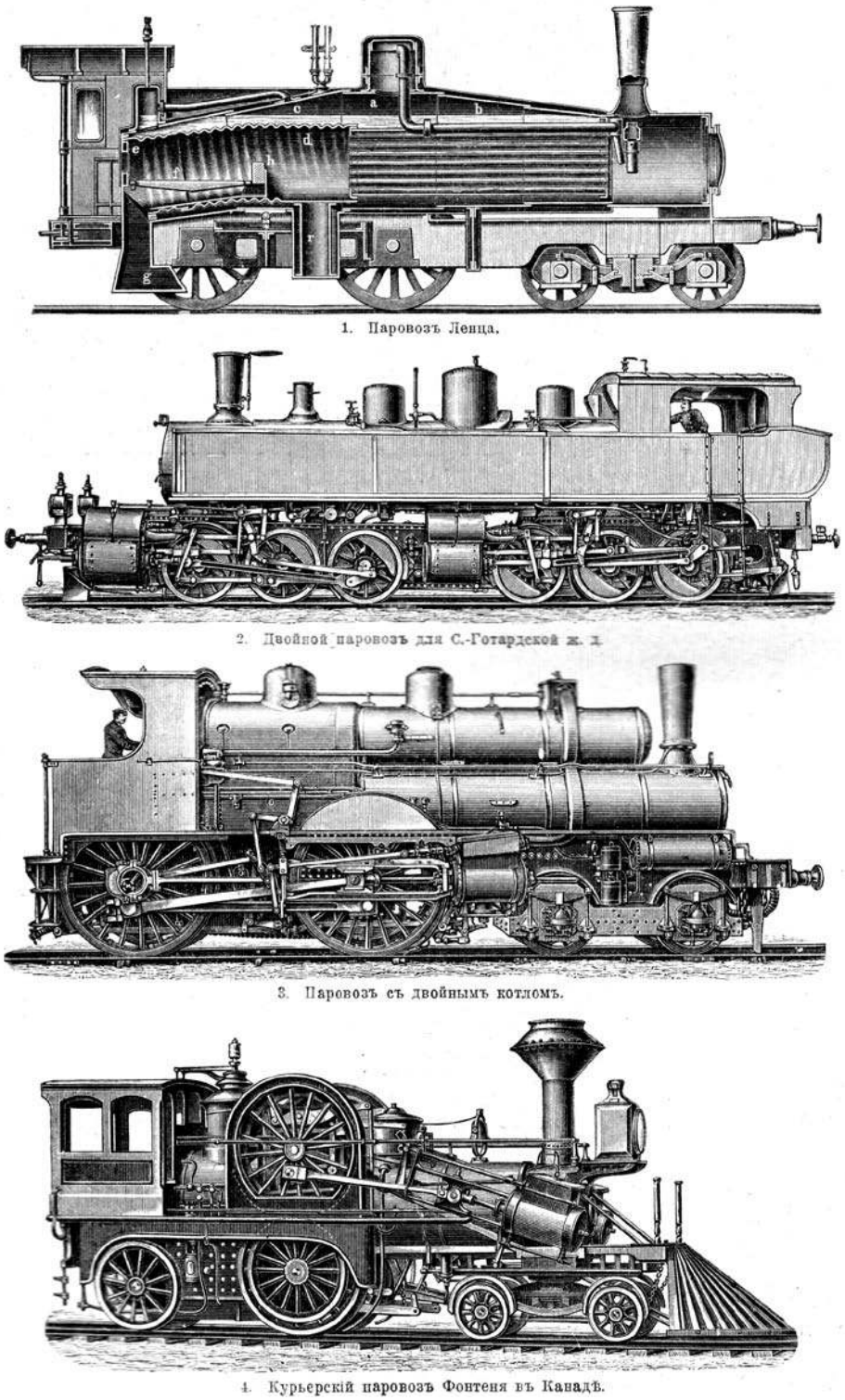


Рис. 3.56. Лучшие образцы паровозов всех времён и народов

В области паровозостроения в мировые лидеры выбилась уже не Россия, а СССР. Знаменитые сталинские пятилетки, несмотря на всю их жестокость по отношению к людям, тем не менее, вывели страну на передовые индустриальные позиции, включая и паровозостроения.

До 1910 г. многие образцы железнодорожной техники были либо иностранного производства, либо были построены по зарубежным проектам. Начиная с 1910 г. началось массовое строительство отечественных локомотивов.

Рис. 3.57. Дореволюционный паровоз серии «Э»

Наиболее удачной конструкцией был локомотив серии «Э» (рис. 3.57). Этот локомотив, как никакой другой был приспособлен к массовому производству, т.к. детали его и узлы не требовали высокоточного специализированного станочного парка.

Он выпускался 32 заводами царской и советской России. Всего с 1912 г. и до 1957 г. было построено 10858 паровозов этой серии. Паровозы серии «Э» экспортировались в Швецию, Германию, Румынию, Венгрию, Чехословакию и Польшу. На экспорт было продано 2694 паровоза.

Рис. 3.58. Отечественный паровоз У – 127

На знаменитом Путиловском заводе в 1910 г. был освоен выпуск паровозов серии У – 127 (рис. 3.58), которые обеспечивали перевозки гражданские и военные перевозки до 1923 г. Эти паровозы приняли на себя тяготы Первой Мировой войны, революции 1917 г., и гражданской войны.

Первый паровоз этой серии работал во время гражданской войны в районе Актюбинска, Оренбурга, где получил серьёзные повреждения, однако в 1923 г. был отремонтирован и снова введён в эксплуатацию.

Рабочие даже избирали почётным машинистом этого паровоза В.И. Ленина, как тогда считалось, – вождя мирового пролетариата. Этот паровоз переместил тело умершего вождя от платформы Герасимовская до Павелецкого вокзала. Легендарный паровоз находился в эксплуатации до 1937 г., превратившись потом в музейный экспонат.

Рис. 3.59. Паровоз С – 245 Малаховского

Машиностроительный завод Сормово в 1913 г. начал выпуск паровозов серии «С» конструктора Малаховского (рис. 3.59), который при универсальности характеристик обладал превосходными скоростными качествами, он мог в пассажирском варианте развивать скорость до 125 км/час.

Сам конструктор и его коллеги по цеху называли этот паровоз «гончей собакой», за его уникальные скоростные качества.

К несомненным достоинствам паровоза следует отнести и его «всеядность» в плане топлива. В топку можно было бросать, как штатный уголёк, так и дрова. В последние годы эксплуатации паровозов топки снабдили простыми мазутными горелками и перевели на жидкое углеводородное топливо. Строился паровоз серийно с 1910 г. до 1918 г. а в эксплуатации находился до середины прошлого XX в. Один из образцов этого локомотива до 1960 г. использовался как стационарная котельная на одном из оборонных предприятий Москвы.

К локомотивам, осуществляющим пассажирские и грузовые перевозки, предъявлялись различные требования. Если пассажирские поезда были меньшими по массе, но двигаться должны как можно быстрее, то пассажирские локомотивы должны тянуть как можно более массивные составы, а скорость является параметром второстепенным.

В этой связи с 1924 г. начали проектировать специализированные железнодорожные тягачи. Для пассажирских перевозок предназначался скоростной локомотив серии Су, который с успехом использовался для этих целей вплоть до массового перехода на электрическую и дизельную (тепловозную) тягу в шестидесятых годах прошлого века (рис. 3.60).

Рис. 3.60. Пассажирский паровоз Су

В отечественной транспортной промышленности, включая паровозостроение, началась эпоха рекордов. Советские самолёты, корабли, самолёты и паровозы должны, по велению партии и лично товарища Сталина, быть совершеннее всех в мире. По этому поводу в г. Луганске, который ныне вследствие полного дебилизма правителей оказался за рубежами России, начали выпускать грузовые паровозы серии ФД (Феликс Дзержинский), самые мощные в Европе (рис. 3.61). В 1931 г. первый образец локомотива этой серии имел мощность 2600 л.с. В последствии мощность была увеличена до 2900 л.с. В период 1931 – 1942 гг. было выпущено 3213 паровозов этой уникальной по мощности серии.

Рис. 3.61. Грузовой паровоз серии ФД

Выпускались массово и менее мощные грузовые локомотивы (рис. 3.62). Так, например, в период с 1934 г по 1951 г. было построено 4487 паровозов серии СО («Сергей Орджоникидзе»). Грузовой паровоз средней мощности, простой в постройке и эксплуатации, он занял в истории отечественного паровозостроения третье место по количеству выпущенных единиц.

Рис. 3.62. Паровоз серии СО

Рис. 3.63. Паровоз «Иосиф Сталин»

Рис. 3.64. Самый мощный в Европе

Самым продвинутым магистральным паровозом, выпускавшемся в СССР, конечно стал локомотив серии ИС, «Иосиф Сталин, выпускавшийся Коломенским машиностроительным заводом с 1932 г.

На рис 3.63 приведена фотография раннего образца этой модели. Существенно отметить, что элементная база ИС была унифицирована с грузовым паровозом ФД. Мощность пассажирского паровоза серии ИС изменялась, в зависимости от года выпуска, в пределах 2500 – 3200 л.с., в зависимости от года выпуска. С составом из 14 пассажирских вагонов локомотив мог развивать на прямом участке пути скорость до 115 км/час.

Последние модификации этого паровоза имели обтекаемый корпус (рис. 3.64). Всего в период 1932 – 1942 гг. было построено 649 паровозов этой серии, в 1938 г. Локомотив с обтекателями демонстрировался на Всемирной выставке в Париже, где получил достаточно высокую оценку специалистов.

Паровозы этой серии работали на железных дорогах СССР и братских стран вплоть до 1966 г. Правда, начиная с 1962 г. название локомотива в рамках компании борьбы с культом личности И.В. Сталина изменили, он стал официально называться ФД (П), можно подумать, что Феликс Дзержинский был большим демократом, чем Сталин. Это иллюстрация к превратностям нашей отечественной истории.

Разговор о паровозах закончим цитированием знаменитого немецкого учёного Рудольфа Клазиуса, который в 1885 г. будучи профессором Боннского университета в небольшой работе «О запасах энергии в природе и пользовании ими для нашего блага» писал: «Из земли добывается угля столько, сколько может быть только добыто при помощи всех технических средств. Между тем, число железных дорог, пароходов и заводов, поглощающих массу угля, возрастает с ужасающей быстротой, поэтому невольно появляется вопрос: что же предстоит человечеству в будущем, когда весь запас угля будет израсходован? Наступление подобного кризиса не относится к бесконечно далекому времени, а к такому, что для жизни народов может оказаться совершенно ничтожным».

Профессор Клаузиус, озабоченный ситуацией с угольными запасами планеты, несколько ошибся. Задолго до истощения источников твердого топлива пытливый человеческий ум освоил новый принцип получения энергии посредством так называемых взрывных моторов, которые были на первых этапах их практического освоения в 2,5 раза эффективнее паровых машин.

3.6. Паровые суда

Внедрение пара на воде сопровождалось, как и все судьбоносные, для цивилизации открытия, вполне нелепыми и традиционными трудностями, многие из которых, как бы написали теперь, были обусловлены человеческим фактором.

Достаточно часто техническая сторона вопроса и экспуатационно – экономические соображения отодвигалась на второй план, превалировало же нежелание рисковать деньгами и репутацией. Ну и конечно вопиющая научно-техническая безграмотность людей, от которых напрямую зависели судьбы проектов.

Среди промышленников и государственных деятелей, включая официальных учёных, было мало прозорливых людей подобных уральскому промышленнику Демидову.

Первым, кто вознамерился совместить паровой двигатель на воде, был неутомимый Дени Папен, который в 1674 г построил свой первый паровой двигатель. Папен в 1907 г. существенно облегчив своё сухопутное детище, поместил его на небольшом речном судёнышке и испытал конструкцию в близи немецкого городка Касселя на реке Фульда.

Ходившее по реке без паруса судно не всем пришлось по вкусу. Подстрекаемые служителями церкви местные рыбаки сочли странное плавсредство дьявольской выдумкой и в одну из ночей спалили его.

Расстроившийся непониманием Папен переехал в Англию, чтобы доложить о своих разработках Королевскому научному обществу, руководил которым в то время Исаак Ньютон.

Папена англичане приняли как ученика и сподвижника Лейбница, с которым у Ньютона были не совсем, мягко говоря, ровные отношения. Папена внимательно выслушали, похвалили, найдя его проекты интересными, но денег на реализацию проектов не дали.

В 1736 г. часовых дел мастер Джонатан Халлс получил патент на конструкцию судна, движимого паром. Халлс построил судно, но паровой двигатель оказался маломощным и не смог сдвинуть судно с места. На модернизацию двигателя денег у конструктора не нашлось, проект приказал долго жить.

В 1775 г. французский офицер маркиз де Жуффруа за постоянные дебоши был водворён в тюремную камеру г. Канн с видом на море. Наблюдая из окна тюремной камеры за попытками парусных судов сдвинуться с места в безветрие, маркиз пришёл к идее поставить на судно паровой двигатель.

Отсидев положенное время, Жуффруа занялся проблемой, изучив английский опыт использования паровых двигателей в английских шахтах, маркиз набросал эскизный проект парового судна, который намерился изложить в Париже с целью поиска спонсоров. Но одно дело порассуждать на модную тему, а другое дело расстаться с деньгами.

Денег на постройку судна никто не предложил, тогда маркиз построил лодку с паровым двигателем на собственные сбережения. Удачной оказалась только вторая попытка. В Лионе на берегу р. Сосна в 1776 г. испытания прошли более или менее успешно. Лодка двигалась против течения, что было зафиксировано многочисленными официальными наблюдателями. Однако в конце программы показа двигатель, не выдержав нагрузки, вышел из строя.

Окрылённый успехом маркиз, запасаясь соответствующими бумагами, снова отправился в Париж. Парижская академия, поражённая снобизмом, не была склонна верить тому, что в провинции могли создать актуальные для науки и техники проекты. Академики потребовали повторить испытания в Париже, на что автору потребовались деньги, которых у маркиза не было, а вкладываться в это мероприятие никто не горел желанием. А тут подоспела революция и Французам стало не до проблем парового флота, надо было разбираться с Бурбонами.

Рис. 3.65. Роберт Фултон

Более других в деле внедрения парового двигателя на флоте продвинулся американец Роберт Фултон, родившийся в в 1765 г. в американской Пенсильвании. Сын не очень преуспевающего фермера, Роберт в самом раннем возрасте проявил интерес к математике и всякого рода творчеству.

Юный Фултон хорошо рисовал, изготавливал самостоятельно великолепные игрушки. Свой первый кораблик от построил в 14 лет. Наличие таланта художника определило, как ему тогда казалось, жизненные перспективы. Для совершенствования своего таланта Фултон отправился совершенствовать технику рисунка в Англию, где он стал учеником художника Уэста.

В Англии Роберт познакомился с инженерами, занимающимися проектированием и строительством каналов. Разговоры в обществе технарей увлекли Фултона настолько, что он оставил рисование и переключился на изобретательство.

Азарту придал первый патент полученный Фултоном на способ поднятия судов с одного водного уровня на другой без использования дорогостоящих шлюзов.

Идея Фултона заключалась в том, что одновременно в процессе участвовало два судна примерно одинаковых по весу. Подобно вагонам фуникулёра суда помещались на колёса и ставились на наклонные рельсовые пути. Колёсные тележки судов соединялись тросами, перекинутыми через блок. Когда одно судно по наклонной плоскости поднималось вверх, второе опускалось вниз.

Вскоре Роберт получил второй патент на способ отливки заготовок для акведуков, которые можно было изготавливать прямо в месте строительства в виде отдельных секций, готовых для дальнейшего монтажа. Процесс, как говорится, пошёл. Затем было ещё одно изобретение, на этот раз Роберт явил инженерному миру первый экскаватор для рытья каналов.

Как водится для первого варианта не хватило технической грамотёшки. Машина развалилась при испытаниях, но будучи исправленной, далее работала исправно. Техническая сторона каналостроения увлекла Фултона настолько, что он написал, в конце концов, книгу по методике проектирования таких инженерных сооружений. Вообще в те поры Фултон модернизировал, что попадалось ему на глаза.

Им были предложены модернизированные установки для распиловки мрамора и витья канатов. Наконец в 1790 г. Фултон в 1897 г., перевозбудясь от революционных идей, перебрался во Францию, где на долго увлёкся идеей парового флота. В инженерных стремлениях своих он резко перешёл от идей созидания к идеям разрушения.

В революционной Франции Роберт Фултон начал экспериментировать с торпедами. Предложенное вскоре устройство представляло собой бомбу замедленного действия, которая совмещалась с гарпуном (рис. 3.66), выстреливаемым пушкой, расположенной на маленьком быстроходном катерке. Несмотря на интерес к изобретению военного ведомства, денег на реализацию Фултону не дали.

Неутомимый изобретатель, сочтя свой проект слишком абстрактным для революционно настроенного народа, выгодно продал свою картину «Пожар Москвы» и начал разрабатывать проект ныряющей подводной лодки с паровым двигателем.

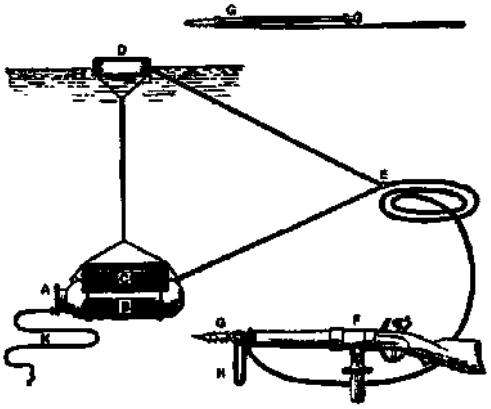


Рис. 3.66. Гарпунная схема Фултона

Политическая ситуация вроде благоприятствовала. Франция в 1797 г., как обычно, цапалась по-взрослому на море с Англией, и ей позарез как нужно было топить английские корабли.

Матросы боевого корабля Фултона, названного им «Наутилус», завидев английский корабль, заставляли лодку погружаться и старались подобраться под днище. Далее в деревянный борт ниже ватерлинии втыкался гарпун с тросом для каната на конце которого болталась пороховая мина.

В подводном положении «наутилус» по замыслу Фултона, обгонял вражеское судно, одновременно подтягивая под его днище мину. При касании борта мина должна была взрываться и «Наутилусу» можно было безнаказанно всплывать и убираться восвояси.

Революционное правительство Франции, привлекшее для утверждения демократических принципов гильотину, посчитало такой метод ведение войны зверским и недостойным высоких идеалов революционного движения масс. Под этим предлогом Фултону денег не дали.

Было бы желание не давать, а причина всегда сыщется. На этот раз прикрылись гуманистической риторикой. Но Фултон был упорен и тщеславен, как молодой секач во время весеннего гона. Он построил «Наутилус» за свои кровные, заработанные рисованием. Ходовые испытания провели на р. Сена.

Приёмочная комиссия состояла из маститых учёных – революционеров. Посудите сами: Гаспар Монж, Симон де Лаплас, Антуан Лавуазье и адмирал Вилларе Жуаезом – авторитеты дальше некуда.

Кстати, Лавуазье по просьбе Фултона оценил возможное время пребывания экипажа под водой с точки зрения запасов кислорода. По расчётам великого химика получалось, что дышать экипаж мог безбедно дышать более 10 часов. На практике получилось меньшее время, потому что Лавуазье не учёл накопление углекислого газа.

Фултоновский «наутилус» имел вид здорово вытянутого эллипса и был сработан из дерева (рис. 3.67). Длина лодки составляла 6,6 м, максимальная ширина в среднем сечении – 2, 2 м. Предельная расчётная глубина погружения была определена в 30 м. В подводном положении лодка приводилась в движение четырёх лопастным винтом, вращаемым тремя членами экипажа.

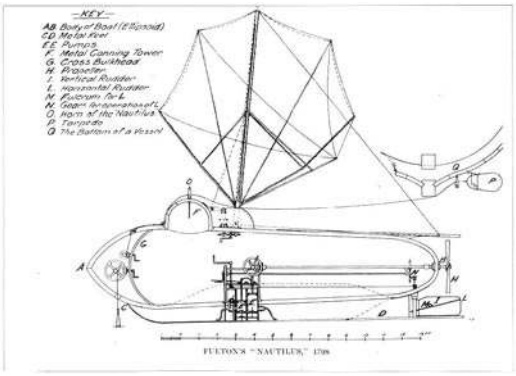


Рис. 3.67. Первый вариант «Наутилуса» [8

Следует заметить, что только за изобретение и внедрения на флоте судового движителя в виде винта Роберту Фулто-

ну стоило поставить памятник на берегу. Винт, правда, потом забыли и вали, в основном, колёса.

Лодка Фултона обладала многими чертами современных подводных кораблей, она имела боевую рубку, была вооружена двумя минами, маневрировала с помощью вертикальных и горизонтальных рулей, погружалась при заполнении балластной цистерны, имела движитель в виде винта. В надводном положении лодка Фултона двигалась под парусом, который ей обеспечивал скорость до 3 – 4 узлов, перед погружением мачту вместе с парусом убирали в специальную нишу, после этого субмарина здорово сверху смахивала на раковину наутилуса, откуда и напросилось название.

По ходу испытаний лодка неоднократно модернизировалась. На верфях в г. Брест деревянная обшивка была заменена на медные листы, члены экипажа были снабжены дыхательными трубками, соединёнными с поплавками, поднимаемыми на поверхность. Кроме того в лодку поместили медный шар с воздухом сжатым до 3 атмосфер, что увеличило время пребывания лодки под водой на предельных глубинах.

В начальном варианте в подводном положении внутренний объём «Наутилуса» освещался свечами, но после первых же погружений акванавты поняли, что свечи забирают на своё горение слишком много кислорода. На верфях в носовой части «Наутилуса» был устроен иллюминатор, который обеспечивал необходимым светом даже на предельной глубине погружения.

Окончательные испытания произвели на Брестском рейде. Поскольку в затею верили не очень, то решили пожертвовать старым шлюпом, который установили на якоре. «Наутилус» отвалил от пирса и на парусе подошёл к шлюпу.

За 200 м от мишени «Наутилус» погрузился и прикрепил, будучи в подводном положении, 12 кг пороховую мину к шлюпу. Через непродолжительное время шлюп в результате взрыва превратился в кучу обломков. После положительной отмашки комиссии, Фултон получил разрешение французского военного департамента испытать лодку в боевых условиях. Революционное правительство, с горяча, обещало за потопленный десяти пушечный корабль платить 60 тыс. франков, а за 30 пушечный – 400 тыс.

Дальше сведения о судьбе наутилуса противоречивы. В ряде публикаций на эту тему отмечается, что в боевых действиях «Наутилус» не участвовал вообще. В других, отмечается, что в первый же выход «Наутилус» в 1800 г. прищучил сразу два английских судна, но бдительные Бриты лодку в надводном положении заметили, добавили парусов и легко ушли от тихоходного творения Фултона. Поднырнуть и обогнать не получилось. Как бы то ни было, но сведений о принятии «Наутилуса» на вооружение французского флота, нет. Однако «Наутилус» воскрес в романе Жюля Верна про таинственного капитана Немо, подводный корабль которого назывался так же как детище Роберта Фултона.

А ещё судьбу Фултона и его «Наутилуса» некоторые авторы переплетают с Наполеоном. События разворачивались в бытность Бонапарта первым консулом вновь возникшей в результате революции республики.

По одной из версий истории фултоновского «Наутилуса», после первых испытаний Фултон через Госпара Монжа передал консулу письмо, в котором предлагал подрывать необычным способом английские корабли и торговые суда.

Наполеон, не будучи флотским специалистом, передал, как водится, на отзыв письмо морскому министру, с просьбой сообщить, что этому самому министру известно об изобретениях американского капитана Фултона.

Морскому министру революционного правительства, адмиралу Плевиль де Пеллей ничего не было известно ни про Фултона, ни про его изобретения. Ответ был более чем ожидаемым.

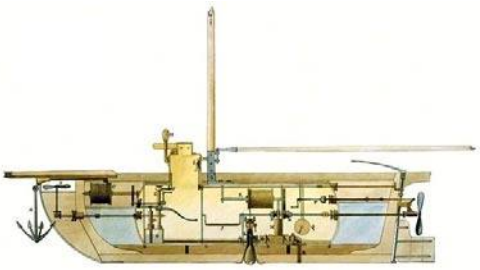


Рис. 3.68. Проект лодки Фултона

Морской министр проект Фултона не одобрил. Горячий американский парень закусил удила и решил немножко попугать Бонапарта, пригрозив покинуть родину революции со всеми своими не менее революционными идеями.

Монжу и Лапласу стоило не малых усилий уговорить Роберта не пороть горячку. С революцией шутки не уместны. Революционные суды были быстрыми и беспощадными, гильотин было много, и работали они круглые сутки без выходных и перерывов даже на церковные праздники. Надо, так надо! Революция, знаете ли, энтузиазм масс и прочее всё такое.

Рис. 3.69. Наполеон

По этой версии истории, Лаплас и Монж убедили Наполеона в необходимости полномасштабных испытаний. Наполеон, вопреки мнению своего не очень дальновидного министра, испытания разрешил, начертав на прошении пророческие слова: «Ознакомился с проектом гр-на Фултона. Думаю, что он способен переделать облик всего мира**. Здесь я усматриваю великую правду физики!**». Кстати, первое письмо Фултона Наполеону: «Мой император! Я изобрел паровой двигатель, который можно установить на корабль! Я предлагаю оснастить ими наш флот, и ему не будут страшны ни штормы, ни штили!», но тот не заинтересовался этим изобретением. «Корабли без парусов – это нелепость, – заявил Наполеон. – Место пара на кухне, в кастрюле под крышкой». Вот что значит протекция больших учёных. Именно после благосклонного жеста консула лодка попала в Брест на модернизацию.

По ещё одной версии этой захватывающей истории, сделка с военно-морским ведомством не состоялась вследствие отказа присвоить Фултону и экипажу Французские морские офицерские звания. Необходимость в этом была насущная.

Дело с том, что в случае попадания в плен, офицеры становились военнопленными. Их отвозили на территорию туманного Альбиона, судили и они отбывали срок, как обычные заключённые многочисленных тюрем её Величества.

Если же на море ловили просто людей, пытавшихся причинить вред флоту её Величества, то их объявляли пиратами и без суда и следствия вешали на реях. Так вот, вроде как Фултон с французскими революционными чиновниками не сговорился. Те чиновники, безмерно проникнувшись идеями республиканизма и демократии, сочли, что люди, вознамерившиеся столь подлым образом, из невидимости, уничтожать людей не очень достойны офицерских званий республики.

Всё тот же морской министр на прошении Фултона начеркал: «Невозможно дать воинское звание людям, которые употребляют такой способ разрушения неприятельского флота». А всё почему? Да всё потому, что Наполеон его не послушал и разрешил Фултону пошустрить на море. Гуманизм тут не при делах. Хотя

адмирал Вилларе Жуаез, который воочию наблюдал процесс успешного подрыва шлюпа, как бы ниоткуда, был приятно потрясён этим событием и правительству докладывал, буквально, взахлёб. Во всякие времена толпящиеся у трона имели обыкновение лицемерить. Времена французской революции не исключение.

По другой версии, Наполеон поле доклада Вилларе Жуаеза возжелал сам осмотреть подводный аппарат, но Фултон свалял дурака, и сославшись на неисправность лодки, предложение первого консула не принял. Кроме того, этот спесивый американец «за просто так» отказался передать морским чиновникам чертежи своего изобретения, убоявшись, что французы оставят его только при собственном интересе.

За чертежи была запрошена солидная сумма в денежном исчислении. Потом, правда, после ряда бесед со сведущими людьми, Фултон опомнился и написал Наполеону ряд покаянных писем, которые, в прочем, остались без ответа.

Временно разочаровавшись во французах с их революцией и гильотинами, Фултон в 1802 г. перебрался в Шотландию, прознав, что там собирается спустить на воду паровое судно, некто Уильям Саймингтон. Фултону повезло. Саймингтон и его управляющий Арон Вейл не только позволяли Роберту присутствовать на всех испытаниях, но и дали самые развёрнутые консультации и, что ещё более удивительно, снабдили исчерпывающей документацией. Прямо предательством интересов Ея Величества попахивает.

По возвращении в 1803 г. в Париж, Фултон встречается с новым американским послом Ливингстоном и добивается его финансового расположения на предмет строительства собственного парового судна. Не мудрствуя лукаво, Фултон построил плоскодонную лодку, взял напрокат паровой двигатель Джеймса Уатта, разработал систему передачи вращения и спустил судно на воды р. Сена.

Силовой агрегат, взятый буквально с бухты-барахты по весу и габаритам не очень сочетался с утлым судёнышком Фултона. На речной волне днище не выдержало и паросиловой агрегат покинул пределы плавательного средства. Так как двигатель стоил не хилых денег, Фултон организовал спасательную операцию. Паровой двигатель, в конце концов, из пресной воды извлекли с минимальными потерями для последнего, но Фултон жестоко простудился.

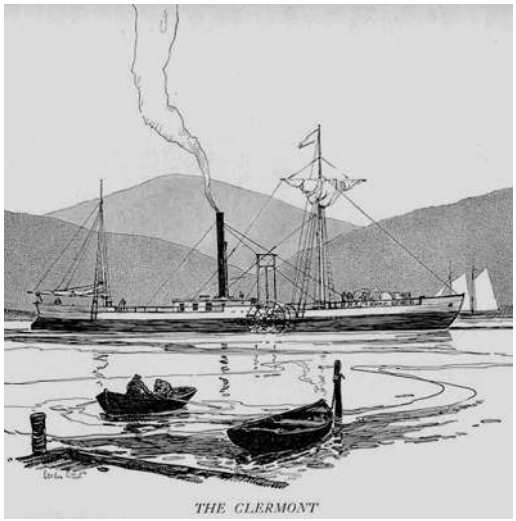


Рис. 3.70. Вторая попытка Фултона

При следующей попытке в августе 1803 г. с более прочным корпусом длиной 23 м и шириной 2,5 м результаты испытаний были более убедительными.

Первый пароход Фултона развивал скорость 5 км/час и был достаточно маневренным (рис. 3.70).

Воспользовавшись связями с Монжем, Фултон написал Наполеону новое послание: «Я изобрел паровой двигатель, который можно установить на корабль! Я предлагаю оснастить ими наш флот, и ему не будут страшны ни штормы, ни штили!».

Двигатель Фултон конечно не изобретал, он взял опять готовую конструкцию Джеймса Уатта, а вот редуктор был его оригинальной конструкции.

По одной из версий этой истории, император, памятуя об недавних капризах американца, выразился в присущей императору манере, лаконично и недвусмыс-

ленно: «Корабли без парусов - это нелепость, место пара на кухне, в кастрюле под крышкой». Не распознал узурпатор выгоды, хотя морские военные действия с Англией уже были в самом разгаре.

Естественно Наполеона поддержала академия. Академик Латобре сделал официальное заключение о бесперспективности парового двигателя на флоте, усмотрев в действиях американца стремление ввести первого консула в заблуждение.

Английская же разведка внимательно отслеживала все этапы подготовки французов к войне и знала о успешных испытаниях «Наутилуса» на рейде Бреста. Этому событию даже было посвящено специальное заседание в палате лордов. Было решено, во что бы то ни стало заполучить Фултона. В Париж был заброшен тайный агент с соответствующим заданием и деньгами на подкуп конструктора.

На горизонте для Роберта Фултона замаячила перспектива. Конструктор решил обнаглеть окончательно и запросил у англичан за свои услуги баснословную по тем временам сумму в 100 тыс. фунтов стерлингов.

Англичанам очень хотелось заполучить подводную лодку Фултона, но сумма явно шокировала невозмутимых подданных её Величества, за такие деньги можно было построить великолепный линейный корабль.

По шпионским каналам Фултону было передано новое послание от министра иностранных дел лорда Хоксбери, в котором разъяснялось, что требуемые шустрым американцем суммы могут рассматриваться как реальные только после вынесения положительного решения специальной технической комиссией, которая со всей присущей англичанам грамотностью рассмотрит предложение заокеанского гостя. Ох, не просты эти островитяне.

Намыкавшись в революционной Франции с внедрением своих проектов, Фултон принял решение рискнуть. Однако судьба снова подсовывала Фултону новые испытания. В Англии сменился министр финансов. Новый министр Питт, исповедовавший идею тотальной экономии средств, предложил Фултону беспроигрышную для себя схему.

Фултону предоставляются все условия для строительства лодок на одной из королевских верфей, а в последующем выплачивается половина стоимости от каждого потопленного французского судна. Англичане прикинули, что даже если из этой затеи ничего не получится, то выманить конструктора у Наполеона уже дорогого стоит.

При встрече Пита и конструктора было принято решение об испытаниях изобретений Фултона на французском флоте, стоящем на рейде Булони. Американец за месячное жалование в 200 фунтов приступил для начала к изготовлению пороховых мин с контактным и часовым взрывателем.

Когда мины в достаточном количестве были изготовлены, их вывалили в открытом море. По замыслу Фултона их должно было течением нагнать на французские корабли. По каким-то неведомым причинам мины проплыли мимо, взрывов не последовало. Фултона снова понесло.

Он принялся писать оскорбительные письма английским морским чиновникам о нарушении ими принятых соглашений о содействии. Чтобы убедиться окончательно в бредовости фултоновских прожектов, было решено в 1805 г. провести контрольные испытания мин у замка Уолмер, где базировался бриг «Доротея». Фултон на этот раз рассчитал всё более точно.

Мина, пущенная по течению, соприкоснулась с бортом брига, произошёл, как и задумывалось, взрыв после которого корабль, разломившись на две части в течение короткого времени затонул.

Успех новоявленного оружия адмиралов, мягко говоря, озадачил. Англия считала своим долгом иметь двойное морское преимущество перед страной, идущей за ней в морской гонке вооружений. Империя всё же, как никак.

Использование же мин отводило флоту уже совсем иную роль. Морские сражения приобретали уже совсем иную окраску, акценты стратегии были совсем иными. Английские морские стратеги от минных новаций почувствовали угрозу многовековым традициям.

Насторожились, а потом рассудили вполне прагматически. Лучше уж самим задавить угрозу существующему положению на корню, чем потом гоняться за тем же самым по всему миру. Питт понял, что мины представляют угрозу, прежде всего линейным многомачтовым кораблям. Чтобы эту угрозу снять, самое беспроигрышное дело иметь эту угрозу под рукой и управлять ею.

В октябре 1805 г. у мыса Трафальгар английский адмирал Горацио Нельсон в пух, и прах разгромил эскадру, состоящую из лучших французских и испанских кораблей. Боевой флот врагов Британии, практически, перестал существовать. Необходимость в минах Роберта Фултона на тот момент отпала. Англия могла спокойно обойтись без подводных лодок и их суетливого конструктора. Интерес к американцу угас.

Почувствовав себя, в который уже раз обездоленным, Фултон начал добиваться судебного разбирательства с требованием возместить ему потерянную финансовую выгоду. После многочисленных обращений и угроз опубликовать в открытой печати свои минные откровения, английская фемида пошла конструктору на встречу и была создана комиссия. Внимательно выслушав Фултона, комиссия признала его требования вполне справедливыми по всем пунктам. Правда, денег американцу никто даже не пообещал.

В 1806 г. Фултон разобиделся на всю Европу. Пора было возвращаться восвояси, в Америку. Перед отъездом Роберт заглянул к американскому консулу и вручил ему проект своей новой подводной лодки, на случай, если с ним случится в путешествии что-то не доброе. Это была уже морская субмарина длиной 9 м, шириной 3 м и высотой 1,8 м с экипажем в шесть человек и с мускульным приводом. В надводном положении лодка двигалась парусами, расположенными на двух убирающихся мачтах. В отличие от первого варианта, новая лодка должна была иметь убирающийся двухлопастной винт и наблюдательную башню с иллюминаторами. Основное назначение лодки – установка минного заграждения на вражеских рейдах, лодка снабжалась тридцатью минами.

По прибытии в Америку, Фултон сразу состряпал письмо президенту Томасу Джефферсону с предложением продать любимой Родине проект подводного судна. Президент, как водится, не счёл нужным отвечать прыткому соотечественнику. Но в скорости перед Фултоном начинают снова маячить перспективы.

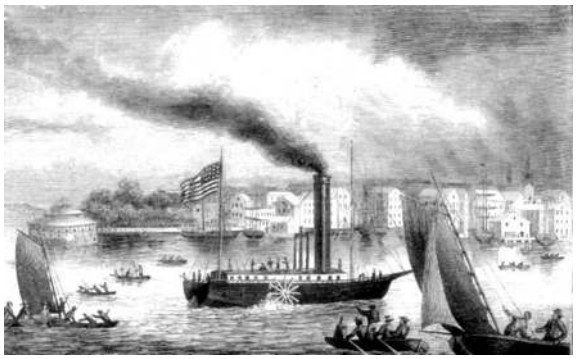


Рис. 3.71. Американский вариант «Клермонта»

Некто Роберт Ливингстон, присутствующий при испытаниях конструкций Фултона в Париже, предложил сотрудничество при создании грузового варианта судна с паровым двигателем.

Фултон знал, как надо строить паровые суда, он многое подсмотрел в Шотландии, поэтому при наличии средств и условий «Катарина Клермонт» (рис. 3.71) появилась

достаточно быстро. К началу августа 1807 г. строительство первого американского парохода было завершено, начался процесс регулировки парового двигателя. Первый рейс из Нью-Йорка в Албании по р. Гудзон, протяжённостью 241 км протекал в течение 32 часов безостановочно, обратная дорога по течению реки заняла всего 30 часов. Паруса, несмотря на их наличие не использовались. Путешествовали друзья и родственники, одним словом, близкие Фултону люди.

Новый «Клермонт» имел бортовой колёсный привод (рис. 3.72) со стандартным паровым двигателем уже зарекомендовавшим себя в береговых условиях. Надо сказать, что ажиотажа по поводу первого в мире пассажирского рейса парового судна не последовало.

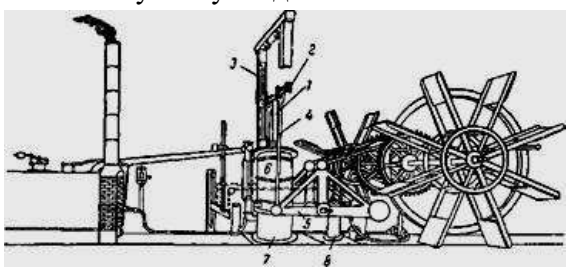


Рис. 3.72. Устройство двигателя парохода «Клермонт»: 1 – шток; 2 – крейцкопф; 3 – направляющая; 4 – шатун; 5 – балансир; 6 – поршень; 7 – цилиндр.

Газеты попросту такое события проигнорировали, но патент на паровое судно выдали по всей форме.

Так Роберт Фултон стал первым изобретателем парохода, надо оговориться, в Америке. Если франция и Шотландия не в счёт. Ещё в 1801 году был построен буксир Charlotte Dundas, для буксировки барж на канале Форт-Клайд в Шотландии.

В дело включился Ливингстон, который, ко всему прочему, обладал законной монополией на пассажирские перевозки паровыми судами. Его стараниями и финансами была раскручена масштабная рекламная акция, в результате которой годовая прибыль от эксплуатации пароходов составила более 16 тыс. долларов, что по тем временам совершенно не хило. Вскорости, окрылённый успехом Фултон, построил ещё два парохода «Раритан» и «Карета Нептуна».

Отношение общественности к новинкам морского транспорта было далеко не однозначным. Повторялась история с продвижением паровых автомобилей и паровозов.

Владельцы парусных и гребных судов, проинтучив в паровых судах конкурентов из кожи вон лезли, чтобы показать несостоятельность и опасность этого вида перевозок.

Регулярно подстраивались столкновения пароходов со всякого рода старыми лодками и рыболовными шаландами, время от времени парусники устраивали в узостях толчею, обвиняя в этом пароходы. Кроме того, ряд судостроителей начали откровенно пиратствовать.

Нарушая производственную монополию и авторские права компании «Ливингстон – Фултон» посторонние владельцы корабельных верфей попросту воровали чертежи, подкупали персонал, а время от времени совершали диверсионные акты, терроризмом занимались, то есть.

Правительство в 1811 г. даже вынуждено было принять особый закон, в соответствии с которым террористические и иные акции против пароходов сурово наказывались. Чтобы «продавить» такой закон тоже потребовались средства, время и усилия.

За первые десять лет, проведённых в Америке, с участием Роберта Фултона было построено в общей сложности 15 паросиловых судов, причём один из них был военным, это был «Демологос» (рис. 3.73), успешно использовавшийся в войне против англичан в 1812 году.

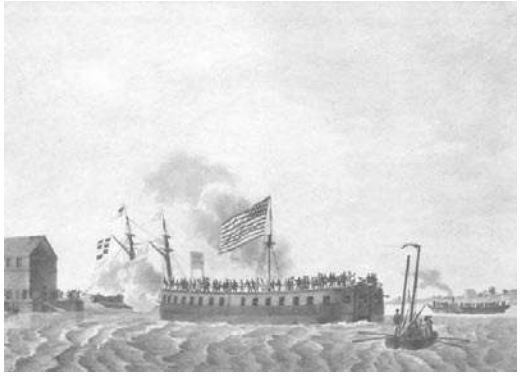


Рис. 3.73. Первый в мире военный пароход «Демологос»

Получив известность как специалиста по современным образцам морской техники, Роберт Фултон обратился в конгресс США с просьбой о финансировании разработки океанской подводной лодки с экипажем в 100 человек и мощной паросиловой установкой для надводного плавания.

Под водой по-прежнему планировался мускульный привод винта командами из пяти человек. Конгрессмены, видя преимущества парового флота, Фултона поддержали деньгами. В 1815 г. Фултон построил лодку, но до её спуска на воду не дожил.

После смерти главного конструктора его изделие вначале стояло на стапелях бесхозным, а потом его начали постепенно разбирать на нужды верфи. Биографы Фултона в конце своих повествований об этом талантливом и упорном человеке в обязательном порядке приводят покаянные слова Наполеона.

Когда после поражения под Ватерлоо в 1815 г. императора на английском парусном линкоре «Беллерофонт» эпатировали на о. Святой Елены, его как стоячего обогнало парусное судно. Наполеон поинтересовался у офицера охраны, кто построил такое чудо. Ответ был простым: «Роберт Фултон». Поглядев вслед удаляющемуся пароходу, Бонапарт заметил: «Прогнав изобретателя Фултона, я потерял свою корону!»

Роберт Фултон даже получил монопольное право на постройку в течение 15 лет паровых судов в России, но так, ни одного парохода и не построил. Чрезмерно много сил и средств Фултон тратил на охрану своих авторских прав, он постоянно с кем ни, будь да судился.

Свою мечту о строительстве подводной лодки с паровым двигателем Фултону, несмотря на его старания, построить не удалось.

Первая паровая подводная лодка Ictineo была построена под руководством инженера Нарцисса Монтуриола в 1864 г. Первоначально лодка проектировалась в деревянном корпусе (рис. 3.74) и должна была приводится в движение силами экипажа, состоящего из 16 крепкого телосложения мужчин. Лодку планировали использовать для нужд рыбаков.

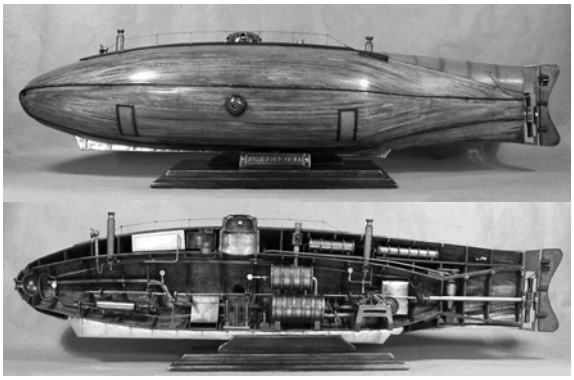


Рис. 3.74. Подводная лодка инженера Нарциса

Лодка длиной 17 м имела массу 6,5 тонн. В ходе строительства возникла идея заменить мускульную силу экипажа компактным паровым двигателем.

Во время цикла испытаний лодка совершила тринадцать пробных погружений, одно продолжалось более семи часов. Отличительной особенностью лодки было наличие двух корпусов, лёгкого внешнего и прочного внутреннего корпуса.

Эта плодотворная идея используется в современных конструкциях подводных кораблей и батискафов, в основном военного назначения. К сожалению и этот

проект закончился в самом своём расцвете. Дальнейшая модернизация и испытания прекратились в 1868 г. ввиду традиционных финансовых трудностей

Надо сказать, что паровому двигателю на подводных аппаратах повсеместно не везло. Дело в том, что чиновники от военно-морских ведомств, ведущих морских держав не были уверены до конца в необходимости иметь подводные боевые средства в составе боевых группировок, они толком не представляли, каким образом подводные корабли можно использовать в широкомасштабных военных конфликтах в условиях морей и океанов, а разработки стоили больших денег. Поневоле задумаешься.

Конструкторы подводных лодок пытались приспособить для своих изделий лучшие образцы паровых двигателей, характеристики которых, однако были не всегда совместимы с подводными условиями.

Так, например, в 1870 г. каждая лошадиная сила мощности самых совершенных паровиков «весила» около 20 кг, что было, не так уж мало, учитывая малогабаритность самих лодок.

Рекордом малогабаритности стал двигатель братьев Хересгофф, который при мощности 4 лошадиных силы имел массу 22,65 кг. Но главной трудностью при внедрении пара под водой была подача окислителя при горении топлива под котлом. Существовали проекты лодок, например Проспера Пейерна, в которых использовалось топливо, содержащее окислитель. Это были спрессованные брикеты селитры в смеси с углём. Одновременно в топку подавалась распыленная форсункой вода, которая мгновенно превращалась в перегретый пар. Перегретый пар и продукты сгорания поступали в цилиндр, заставляя поршень совершать возвратно-поступательное движение.

В 1851 г. под руководством американского инженера Лондера Филиппса была спущена на воду подводная лодка с паровым двигателем. Эта лодка на стадии ходовых испытаний на озере Эри превысила допустимую глубину погружения и была раздавлена гидростатическим давлением. Погиб весь экипаж вместе с главным конструктором.

В России в 1866 г. под руководством военного инженера Александровского И.Ф. была построена подводная лодка с паровым двигателем английского производства, которая успешно прошла многоплановые ходовые испытания в Кронштадте.

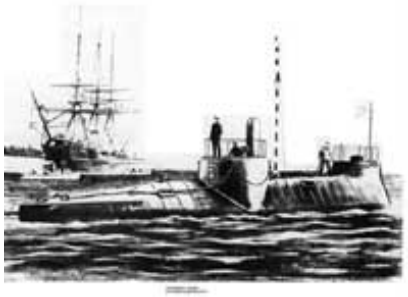


Рис. 3.75.Подводная лодка Александровского И.Ф.

Перед тем как поступить на флот лодка была предъявлена комиссии, которая приняла решение о её полной непригодности для военно-морского флота России.

Трудно сейчас установить, чем руководствовались чиновники, вынося такой вердикт. Скорее всего, попросту решили не спешить. У Англичан лодок нет, у немцев нет, французы помалкивают, даже американцы не спешат вкладывать деньги в столь рискованные проекты. А чего же России торопиться?

Ситуация с подводными лодками в истории внедрения новых образцов техники и технологий не является уникальной. Как правило, новое пробивало себе дорогу с большими трудностями и проволочками. Чаще всего заморочки возникали из-за банального отсутствия финансирования и некомпетентности людей, принимающих те или иные решения, связанные с развитием научно-технических работ.

Чарльз Гудиер, придумавший технологию вулканизации резины, проводил некоторые свои эксперименты в долговой тюрьме, в которой неоднократно оказывался вследствие несвоевременного погашения кредитов.

Типичной, в этой связи, являются страсти, разгоревшиеся по случаю изобретения телефона. Одна из бостонских газет разродилась заметкой, в которой сообщалось, что некто, пытается дурачить власти и граждан сообщением об изобретении аппарата, способного передавать голос по проводам, хотя из компетентных научных источников известно, что передача голосовых сообщений по металлическим проводам принципиально не возможна.

Так создавалось общественное мнение. Ладно, журналисты, что с них взять. Иногда и учёный люд будучи материально заинтересованным обнародует с умным видом откровенные глупости.

В своё время в Германии специально созданная группа именитых учёных исследовала вопрос о пагубном влиянии железнодорожного транспорта на здоровье пассажиров. Выводы «просвещенной» во всех отношениях комиссии были более чем странными.

Учёные уверяли, что при скорости поезда более 30 км/час пассажирам станет настолько не по себе, что у них откроется носовое кровотечение, а наиболее слабые могут умереть. Даже учёные с мировым именем время от времени ошибались по-крупному, особенно, когда пророчествовали в смежных областях знаний.

Лорд Кельвин, например, утверждал, что аппараты тяжелее воздуха не смогут летать, а у радио нет никаких перспектив. Кстати о радиосвязи. Патриарх немецкой физики и физиологии Гельмгольц, ознакомившись с сочинениями Джеймса Клерка Максвелла по электродинамике, велел своему ученику Генриху Герцу экспериментально опровергнуть теорию дерзкого англичанина.

«Опровергая» Максвелла Герц открыл электромагнитные волны, полностью подтвердив теорию. Конрад Рентген в своё время запретил в своей лаборатории произносить слово электрон, потому как считал идею элементарного электрического заряда абсурдной.

Вместе с тем, исторический опыт развития техники показал, что прогресс нельзя остановить, его можно только затормозить. Так произошло и с внедрением парового двигателя на воде.

Поначалу робкие попытки парового привода на относительно безопасных речных гладях переросли в полномасштабное использование паровых двигателей и на судах морского класса.

В 1818 г. на деревянном парусном судне «Саванна» был установлен паровой двигатель. Машина использовалась при переходе через Атлантику.

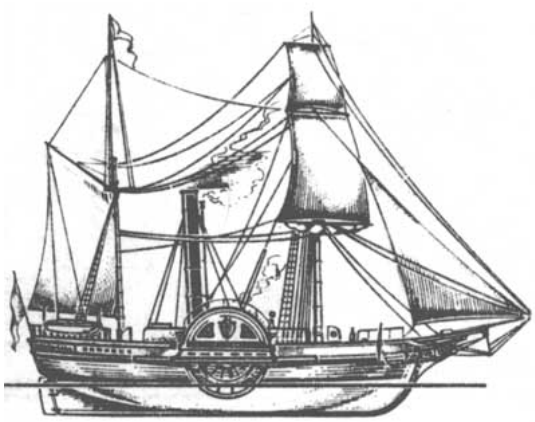


Рис. 3.76. Морское паровое судно «Сириус»

В 1838 г. деревянное судно «Сириус» пересекло Северную Атлантику, используя только паровой привод (рис. 3.76). Во время плавания обнаружилось, что гребные колёса, прекрасно зарекомендовавшие себя на реках и озёрах, при большом волнении работали неудовлетворительно.

Качка судна приводила к возникновению неравномерности в нагрузке привода, что существенно снижало управляемость.

Новое, как это часто бывает, является хорошо забытым старым. Так случилось и с судовым винтом. После морских путешествий на пароходах с гребными колёсами начали искать альтернативу и вспомнили старика Фултона, который на проектах своих лодок предлагал ставить лопастные движители, т.е. – винты. С появлением винтов управляемости и быстроходность паровых судов резко возросла. В 1843 г. впервые винт был установлен на пароходе «Грейт Бритайн» (рис. 3.77).

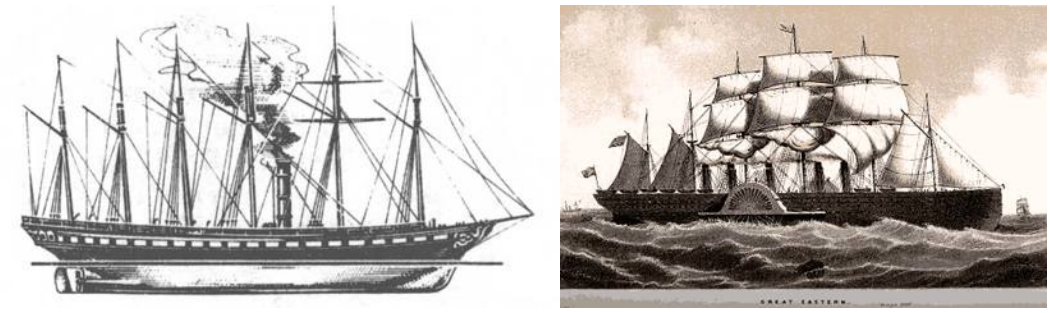


Рис. 3.77. Первые винтовые паровые суда «Грейт Бритайн» и «Грейт Истерн»

Далее в 1860 г. было построено судно с комбинированными движителями «Грейт Истерн», которое имело длину 210 м и ширину 25 м. Судно было оснащено двумя гребными колёсами диаметром 16,5 м и лопастным винтом диаметром 7 м. На шести разновеликих мачтах судно могло нести 5400 м^2 парусов. Новый шедевр судостроения мог брать на борт 4000 пассажиров и более 6000 тонн грузов. Судно на спокойной воде могло развивать скорость до 15 узлов (25 км/час).

Желание увеличить скорость перемещения по морям и океанам привели к изобретению паровой турбины, в которой перегретый пар под высоким давлением подавался через сопла на лопатки турбины. Такой способ использования энергии пара оказался более эффективным, появилась возможность снизить габариты силовых установок, при этом увеличив удельную мощность.

Скорости судов увеличились за счёт возрастания оборотов винта. Но тут инженеры столкнулись с совершенно непонятными вещами.

Всё началось с ходовых испытаний английского скоростного судна «Турьиния» (рис. 3.78), которое по расчетам конструкторов должна была достигать скорости более 35 узлов.

Рис. 3.78. Скоростное судно «Турбиния»

На скорости 19 узлов судно внезапно потеряло ход. Как выяснилось при подводном осмотре, у судна были повреждены винты, они были покрыты странного вида раковинами. Повторные испытания с новыми тщательно изготовленными винтами дали те же результаты.

Девять винтов, изготовленных из самых высокопрочных сталей, были приведены в негодность при скоростных испытаниях. Корабелы были вынуждены обратиться к учёным, специалистам по гидродинамике. Послушав на очередных испытаниях шум винтов, учёные установили, что винты «Турбинии» работают в кавитационном режиме.

При обтекании лопастей винта за их тыльными сторонами создаются зоны пониженного давления в которых вода теряет сплошность, превращаясь в пузырьки

пара. При покидании зоны пониженного давления пузырьки схлопываются генерируя сверхзвуковые микроструи и высокие температуры. Этим обстоятельствам не могли противостоять даже легированные стали.

Понятие «кавитация» вошло в практику судостроителей, которые со временем научились совместно с гидродинамиками делать винты такой формы, чтобы кавитационные полости схлопывались не на поверхности лопастей, а не некотором расстоянии от них.

Надо сказать, что достижение высоких скоростей сопровождалось проявлением новых явлений и эффектов не только в судостроении. Когда скорости самолётов стали подбираться к скорости звука, то конструкторы столкнулись с серией необъяснимых катастроф.

Аппараты при достижении определённой скорости буквально разваливались на куски на глазах у изумлённых наблюдателей. Так проявлял себя флаттер, явление резонанса планера при сходе вихрей с крыльевого и хвостового оперения. Так же как и в случае с кавитацией, учёные аэродинамики и акустики помогли конструкторам разработать такие конструкции крыльев, которые не допускали образования крупномасштабных вихрей, флаттер стал не страшен.

Большое распространение суда с паросиловыми установками получили в речном флоте. Полноводные реки были более приспособлены для движения пароходов нежели парусников, дело в том, что направление и сила ветров над речными просторами были переменчивы и требовали постоянного манипулирования парусным вооружением.

Кроме того, узость фарватеров и наличие мелей требовала большой сноровки в управлении судами. Суда с паровыми двигателями в этом смысле были более эффективными. Главное же достоинство речных перевозок заключалось в экономическом эффекте.

Для пароходов не нужны были дорогостоящие дороги, они были проложены самой природой. Практически во всех странах с полноводными реками пароходы возили пассажиров и грузы.

В XIX в. более других в развитии речного судоходства продвинулись предприимчивые американцы. Американцами речные пароходы строились массово. Одним из самых больших судов был грузопассажирский лайнер «Монтана», совершавший рейсы по р. Миссури (рис. 3.82).

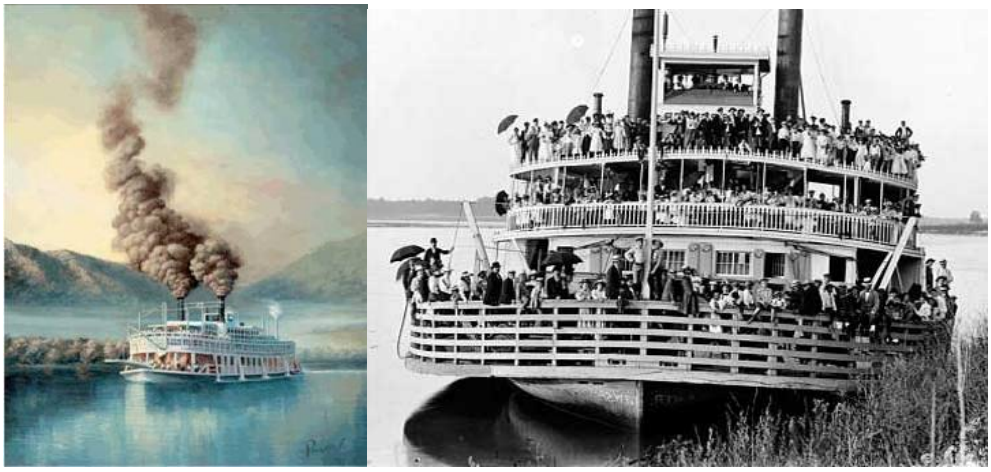


Рис. 3.79. Грузопассажирский американский речной пароход «Монтана»

В течение 6 лет это судно перевозило пассажиров и грузы, пока по оплошности судоводителей не врезалось в опору моста, получив серьёзные повреждения. Капитан с целью спасения жизней пассажиров и груза решил выбросить пароход на

берег, но сделал это не совсем удачно, судно разломилось вдоль, одна его часть увязла в иле, а другая начала медленно тонуть.

Кораблекрушение «Монтаны» показало, что удешевление конструкции в ущерб прочностным характеристикам может дорого обойтись. После такого происшествия суда этого типа были выведены из эксплуатации, а грузы и пассажиров стали перевозить по подоспевшей к этому времени железной дороге.

В России паровые суда начали строиться в 1815 г на Петербургском механико-литейном заводе Карла Берда.

Рис. 3.80. Первый российский пароход

Первое судно было деревянным, на него установили паровой двигатель Уатта мощностью 4 л.с. Машина при 40 об/мин позволяла судну развивать скорость до 9,3 км/час. Путь из Кронштадта в Петербург «Елизавета» (рис. 3.80) проходила за пять часов. В дальнейшем это судно стало совершать постоянные рейсы по маршруту Петербург – Кронштадт.

Пароход «Елизавета» имел длину чуть более 19м, ширину 4,6 м при осадке всего 0,6 м. В движение пароходик приводился двумя бортовыми гребными колёсами с шестью лопастями каждое, длиной 1,22 м.

В мае 1815 г. Берд подал прошение в Министерство внутренних дел о выдачи ему привилегии на строительство пароходов в России, но получил отказ, в виду того, что ещё действовала привилегия Фултона, которой он так и не воспользовался. Второй пароход Берда был оборудован паровым двигателем, позволявшим судну развивать скорость до 15 верст в час. Вторично за привилегией Берд обратился после окончания срока привилегий Фултона. На этот раз ему не отказали, разрешив монопольно выпускать паровые суда в течение 10 лет.

К 1820 г. под патронажем Берда было построено в общей сложности 16 пароходов, которые курсировали по рекам; Нева, Волхов, Волга Днестр и Ильменьскому озеру.

Из этих судов следует отметить пароход «Волга», с мощностью силовой установки 60 л.с., который против течения за один час проходил расстояние 6 км, а по течению это расстояние было проделано всего за 23 мин. Пароход по Волге был спущен в Астрахань, где осуществлял пассажирские и грузовые перевозки в течение длительного времени, до 50-х годов XIX в.

Первый опыт эксплуатации паровых судов воодушевил деловых людей на строительство подобных аппаратов в других регионах, благо, что судоходных рек в России было много. В 1823 г. по р. Днепр был запущен пароход «Пчёлка» с мощностью машины 25 л.с. Двумя годами спустя «Пчёлка» была переправлена через пороги в Херсон, где и трудилась, подобающе названию, между Херсоном и Николаевым.

Более широкому распространению пароходов мешало несколько обстоятельств, причём, отнюдь не финансового характера. Первое, что мешало – это отсутствие квалифицированных механиков и капитанов.

Опыт приглашения иноземцев успеха не имел. Зарубежные специалисты, как правило, не знали языка и условий судовождения. Второе, люди, причастные к существующей системе речных перевозок при посредничестве бурлаков, категорически не воспринимали пароходы, считая их порождением нечистой силы.

К концу XIX в. на Воле был подготовлены экипажи паровых судов, которые стали водить коренные волгари, хорошо знавшие условия плавания во всех районах.

На полноводных реках Сибири пароходы начали появляться только в 40-х годах позапрошлого века. По началу процесс строительства носил инициативный характер. Так, например в 1837 г. тюменский купец Тюфин построил два судна с паровым двигателем отечественного производства мощностью 30 л.с.

На оз. Байкал курсировали суда«Император Николай I» и «Наследник Цесаревич». В Нижнем Тагиле для купца Поклевского-Козелла были построены сразу два парохода мощностью 60 и 40 л.с.

На Оке были введены в эксплуатацию два транспортных судна мощностью 24 и 100 л.с., которые удовлетворяли потребителей во всех отношениях.

Следует отметить, что суда, построенные в России по своим характеристикам уступали зарубежным, поэтому промышленники предпринимали попытки заказа строительства за рубежом.

Так, например, в 1846 г. в Голландии был заказан пароход «Волга» с мощностью двигателя 250 л.с. Полностью металлическая конструкция была изготовлена в Роттердаме и по частям доставлена в Россию. Кают и рубки на этом судне не было, заказчик явно экономил на условиях обитаемости.

Экипаж вместе с перевозимыми грузами размещался прямо в корпусе. Паровой двигатель горизонтального типа создавал шум, который можно было слышать за несколько км.

Вместе с тем голландская «Волга» показала вполне удовлетворительные эксплуатационные характеристики. В первый же рейс судно в режиме буксира из Самары до Рыбинска провело две баржи с грузом 2,5 тыс. тонн.

Во втором коммерческом рейсе «Волга» привела в Рыбинск баржи с грузом общим весом 4 тыс. тонн, что принесло судовладельцам 40 тыс. руб. чистого дохода. Это была хорошая реклама. В Голландии были заказаны ещё два парохода с мощностью двигателя 460 л.с. Под эти суда были построены крупнотоннажные баржи длиной от 97 до 117 м. при ширине 10 – 11 м.

В общей сложности в России в период с 1815 г. по 1840 г. было построено 99 паровых судов, 36 из которых были речного класса.

К концу XIX в. в отечественном кораблестроении сложилась практика применения двух паровых машин, работающих на один вал, что позволяло избегать применения массивного маховика при сохранении удовлетворительной равномерности крутящего момента во времени.

Паровые котлы отечественных судов работали при рабочем давлении порядка 5 – 6 атм. Паровые машины отечественного производства были металлоемкими, на мощность в 1 л.с. приходилось до 1 тонны металла, в том числе до 40% – цветного, преимущественно меди. Машины мощностью 100 л.с. ежесуточно потребляли дл 60 $м^3$ дров.

В начале XX в. на паровой двигатель обратили внимание и военные, началось строительство боевых паровых кораблей. Первыми преуспели в этом Англия, считавшая себя владычицей морей и Германия, тоже числившая себя в не последних морских державах.

Крейсер «Принц Альберт» (рис.3.81) водоизмещением 9880 тонн имел длину 126,5 м и ширину 19,6 м. На нём были установлены паровые машины общей мощностью 16200 л.с., что обеспечивало максимальную скорость 20,5 узлов.

Крейсер в качестве топлива брал на борт 755 тонн угля и 177 тонн мазута, что в режиме экономичной скорости в 10 узлов обеспечивало дальность плавания 6750

морских миль. Вооружение корабля составляли орудия и торпедные аппараты. Крейсер был заложен на судоверфи г. Киля в 1900 г. и в 1901 г. спущен на воду. Экипаж крейсера состоял из 586 офицеров и матросов. «Принц Альберт участвовал в первой мировой войне , 23 октября 1915 г. был потоплен британской подводной лодкой вблизи Лиепаи в Балтийском море. Крейсер «Дрезден», построенный в Гамбурге, (рис. 3.81) и спущен на воду и введён в состав немецкого флота в 1908 г.

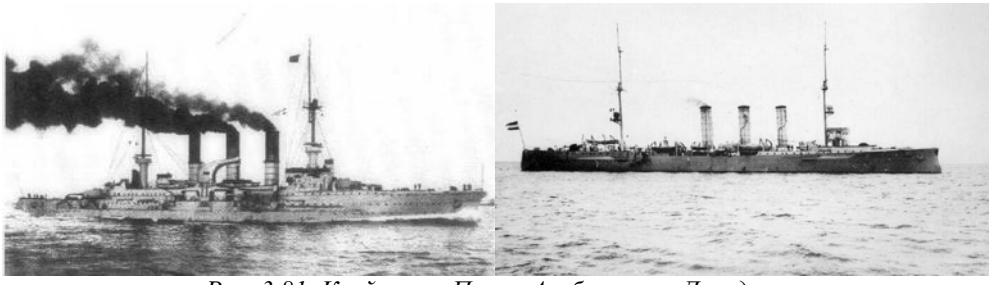


Рис. 3.81. Крейсеры «Принц Альберт» и «Дрезден»

После сражения у Фолклендских островов «Дрезден» остался единственным немецким боевым кораблём, сохранившим боеспособность. В районе Чили крейсер был обнаружен британскими кораблями и вынужден был сдаться. В числе пленных был будущий глава военной разведки Рейха – лейтенант Канарис.

Российские военные пароходы сыграли важную роль в войне с Турцией в 1853 г. Парофрегат «Владимир» (рис. 3.82) впервые в истории парового флота принял морской бой с турецким десяти пушечным турецким паровым судном и вышел в нём победителем, принудив капитана спустить государственный флаг.

Рис. 3.82. Российские паровые корабли парофрегат «Владимир» и крейсер «Аврора»

Самым знаменитым отечественным паровым крейсером, ввиду специфики нашей истории, является крейсер «Аврора» (рис. 3.82). Этот корабль имеет (он до настоящего времени пришвартован к невскому берегу в Санкт Петербурге) имеет длину 126,7 м, ширину 16,8 м и осадку 6,4 м. Крейсер оборудован тремя вертикальными паровыми двигателями с 24 водотрубными котлами общей мощностью 123 000 л.с., что позволяло развивать крейсеру скорость до 19,2 узла.

Автономность плавания составляла 2500 морских миль. Экипаж крейсера состоял из 20 офицеров и 550 матросов. Крейсер нёс пушечное и минно-торпедное вооружение.

Крейсер был торжественно спущен на воду в мае 1900 г. в присутствии царя Николая II и членов королевской семьи. В сентябре 1903 г. крейсер вступил в строй. Крейсер «Аврора» принимал участие в военных морских сражениях на Тихом океане между Японией и Россией, участвовал в знаменитом Цусимском сра-

жении. В финале своей боевой карьеры «Аврора» шарахнула из носового своего орудия, известив о начале октябрьского переворота или Великой Революции, кому как больше нравится, суть от этого не меняется.

А суть состоит в что том, экипаж крейсера принял самое активное участие в революционных процессах и последовавшей за ними гражданской войной. Во всех отношениях это легендарный корабль, который в настоящее время заслуженно причислен к музейным экспонатам.

Рис. 3.83. Пароход «Титаник»

Вершиной судостроительных возможностей в своё время стал печально известный английский пассажирский пароход «Титаник» (рис. 3.83), приписанный к порту г. Ливерпуль.

Это гигантское по тем временам судно было спущено на воду в 1911 г., а в 1912 г. его ввели в строй. Этот гигант среди всех пароходов имел водоизмещение 52 310 тонн, при длине 268,83 м, ширине 28,19 м и осадке 10,54 м. Высота от киля до вехней части дымовых труб составляла 53,3 м, высота от ватерлинии до шлюпочной палубы составляла 18,4 м.

Для того чтобы сообщить судну скорость 24 – 25 узлов, «Титаник» был оборудован двумя четырёхцилиндровыми паровыми машинами с тройным расширением перегретого пара общей мощностью на валах трёх гребных винтов 55 тыс. л.с.

В машинном отделении гиганта были смонтированы 29 паровых котлов, каждый массой в 100 тонн, нагреваемых 159 угольными топками.

Экипаж судна, обслуживающий 2556 пассажиров, включая судоводителей, механиков и прочих вспомогательных членов команды, по судовой роли насчитывал 892 человека. Кроме пассажиров «Титаник» брал на борт 46 328 тонн полезного груза.

Непотопляемость судна обеспечивалась 15 водонепроницаемыми переборками, создающих в трюмах 16 герметичных отеков, судно по замыслу кораблестроителей могло оставаться на плову при полном затоплении двух отсеков.

«Титаник» имел 8 стальных палуб, расположенных одна над другой на расстояниях от 2,5 м до 3,2 м. На верхней открытой палубе располагались 20 спасательных шлюпок.

На удалении 58 м от носа находился ходовой мостик, на котором было установлено самое совершенное на то время навигационное оборудование. Помимо офицеров, управлявших движением судна, в экипаже было 108 кочегаров, 72 грузчика и 44 матроса палубной команды, причём каюты экипажа были расположены таким образом, что пути следования членов команды не пересекались с пассажирскими зонами.

Судно было электрифицировано. Генераторы электроэнергии питали 10 тыс. лампочек накаливания, 562 обогревателя, 153 электромотора, 4 грузовые лебёдки, 8 кранов, 4 лифта, оборудование кухни, включая холодильники и электропечи.

Телефонный коммутатор «Титаника» обслуживал 50 линий. Радиопередатчик судна с мощностью на выходе 5 кВт обеспечивал устойчивую радиосвязь на расстоянии от 400 до 2000 миль, в зависимости от времени суток и геомагнитной обстановки.

3.7. Турбины

В конце XIX в. паровые двигатели, если говорить пафосно, завоевали весь промышленный мир. Всем эти машины были хороши, их можно было изготавливать практически в кустарных условиях, они не требовали квалифицированного обслуживающего персонала, материалы из которых изготавливались детали паровых машин, были самыми распространёнными, они были неприхотливы к качеству топлива, в топках паровых машин, теоретически могли сжигаться любые горючие материала, с мало-мальски приличной теплотворной способностью.

Однако были у них и принципиальные недостатки. Во-первых, коэффициент полезного действия был возмутительно низким, не превышал 10%, это значило, что 90% сжигаемого топлива благополучно повышало энтропию окружающего пространства.

Во-вторых, паровые двигатели были сооружениями весьма громоздкими и тяжёлыми. Величина мощности, снимаемой с килограмма веса, не позволяла, например, паромобилям конкурировать с автомобилями, оборудованными двигателями внутреннего сгорания, карбюраторными и дизельными.

Даже на судах различного назначения паровые силовые установки занимали неоправданно большие полезные объёмы, а с учётом запасаемого топлива неоправданность многократно возрастала. Если вспомнить паровозы, то они обязательно тащили за собой специальный вагон с топливом, так называемый, тендер.

История турбин уходит корнями в глубокую древность. Идея эолипила Герона Александрийского была реализована впервые в виде ветряных и водяных мельниц, в которых кинетическая энергия поступательного движения потоков воздуха и воды посредствам лопастных систем преобразовывалась в энергию вращения приводных валов. Эту идею впоследствии, в конце XIX в. перенесли на устройства, в которых систему лопастей вращали струи перегретого пара.

По имеющимся данным Джованни Бранки, ещё в 1629 г. сконструировавшего первую активную турбину, которая удивительно похожа на рисунок Леонардо да Винчи.

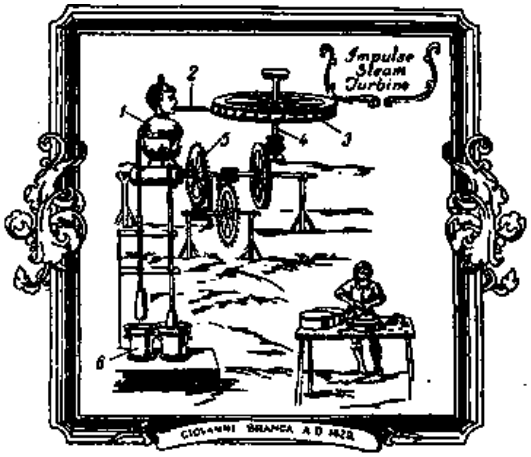


Рис. 3.84. Первые не состоявшиеся проекты

Активная турбина (рис. 3.84) представляла собой неподвижно закрепленные сопла, пар из которых направлялся на рабочее колесо турбины.

В паровых двигателях используется, по сути, потенциальная (внутренняя) энергия пара, в частности его упругие свойства. В турбинах полезная механическая работа совершается за счёт трансформации кинетической энергии паровой струи, потока воды, потока воздуха или продуктов сгорания взаимодействующих с лопатками турбины.

В паровых турбинах, в частности, кинетическая энергия пара преобразуется во вращательную энергию вала турбоагрегата. Отличительной особенностью водяно-

го пара является относительно высокие скорости его истечения из одной среды в другую даже при незначительных перепадах давления.

Например, если в баллоне с давлением пара в 5 атм. проделать малое отверстие, то пар буден вырываться в окружающую среду с нормальным атмосферным давлением со скоростью около 450 м/с. Техническая реализация этого крайне заманчивого свойства пара до середины XIX в. была в широких масштабах технически невозможна.

Дело в том, при таких скоростях истечения струи пара турбина, для обеспечения приемлемого КПД, должна была делать при диаметре лопаток в 1 м в минуту не менее 4300 оборотов. Когда незабвенного Джеймса Уатта спросили: «Не боится ли он конкуренции со стороны турбин, о которых так много говорят в последнее время?», на что патриарх парового двигателестроения ответил чисто по-английски, лаконично: «О какой конкуренции может идти речь, если без помощи Бога нельзя заставить рабочие части двигаться со скоростью 1000 фт/с (≈ 300 м/с)».

Действительно не было подшипников, выдерживающих высокие температуры, не появились ещё термостойкие и высокопрочные конструкционные материалы, отсутствовала термоустойчивая смазка и ещё целый ряд обстоятельств, препятствующих воплощению заманчивой идеи использования кинетической энергии высокоскоростных струй пара.

Но время шло, появлялись необходимые материалы и прыткие инженеры – мастеровые, то там, то сям пытались идею паровой турбины реализовать. Первая официальная попытка была зарегистрирована 1883 – 1885 г. в США.

В восточных штатах появились циркулярные дисковые пилы, приводом которых являлись исполненные в местных условиях турбины. На вал, с насаженной на него системой лопастей (рабочее колесо) без всякого передаточного механизма крепился диск циркулярной пилы.

Пар, получаемый, в уже традиционных в то время, котлах высокого давления, через полый вал, а специальные патрубки формировали радиальные струи, падавшие на лопатки. Конструкция весьма смахивала на эолипид Герона.

Естественно, что КПД желал быть, естественно, большим, но были и явные преимущества. Во-первых, конструкция была проще, чем у парового двигателя. Не требовался повышающий редуктор, который в те времена представлялся совершенно не хилым и дорогостоящим агрегатом. Во-вторых, для получения пара в качестве топлива использовались бросовые отходы всё той же лесопилки.

Несмотря на положительный американский опыт эксплуатации первых турбин, он не получил дальнейшего распространения.

Рис. 3.85. Густав де Лаваль

Очевидно, в очередной раз сказался синдром провинции. Как уже мы неоднократно упоминали, столичные чиновники во все времена не были склонны даже теоретически себе представить, что значимые технические новшества могли возникнуть на периферии.

У известного теперь во всём учёном мире Густава де Лаваля (рис. 3.85) всё началось с молока.

В 1878 г. он придумал устройство для промышленного сепарирования молока в котором приводной вал в идеале должен был делать 100 об./с. В первом варианте пришлось использовать редуктор (мультипликатор), однако идя обойтись без редуктора овладела талантливым инженером и он стал искать приемлемое решение.

Получив средства от внедрения своего сепаратора, Лаваль начал заниматься турбинами, стараясь получить как можно более высокую скорость истечения пара. Вскоре он получил патент на камеру специальной формы, которая являлась трансформатором скорости. В этом устройстве была реализованы закон сохранения энергии и теорема о неразрывности струи.

Выделим в стационарном потоке идеальной жидкости или газа, в пренебрежении сжимаемостью, участок трубки тока ограниченный сечениями s_1 и s_2, в центре которых частицы имеют скорости v_1 и v_2 (рис. 3.86). К объёму среды, заключенному между сечениями s_1 и s_2 применим закон сохранения механической энергии.

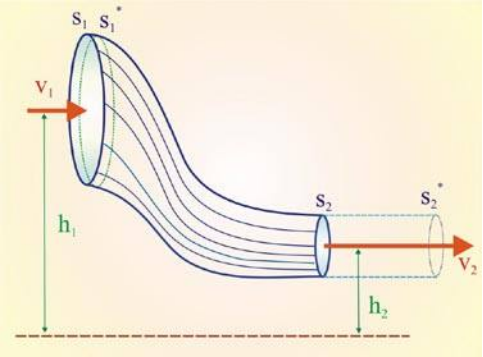


Рис. 3.86. Трубка тока

Изменение энергии среды между входом в трубку тока и выходом из неё равно работе внешних сил, в качестве которых в данном случае выступают силы тяжести и силы нормального давления, действующие на торцы трубки тока. Движения в направлении перпендикулярном поверхности трубки тока не происходит, поэтому и работа сил давления не совершается.

Проследим за элементом сплошной среды, содержащейся между сечениями s_1 и s_1^*, который, перемещаясь по трубке тока, на её выходе будет располагаться между сечениями s_2, s_2^*. Будем считать входной и выходной объёмы цилиндрическими. За время Δt через поперечное сечение s_1 проходит объём жидкости $\Delta Q_1 = s_1 v_1 \Delta t$. Для сечения s_2 – $\Delta Q_2 = s_2 v_2 \Delta t$. Таким образом для скоростей и площадей сечений имеем уравнение

$$s_1 v_1 = s_2 v_2$$

из которого явствует, что чем меньше сечение трубки тока, тем большую скорость будет иметь среда. Лаваль это соотношение успешно применил для создания высоких скоростей водяного пара в сопле переменного сечения, которое теперь называется соплом Лаваля.

На рис. 3.87 показана одна из возможных форм сопла и качественные зависимости температуры T, давления P и объёма V. Используя своё патентованное в 1889 г. сопло и оригинально решив ряд инженерных задач Лаваль представил на международную выставку в Чикаго свою первую реактивную турбину мощностью около 5 л.с., рабочий вал которой вращался с частотой 30 000 $с^{-1}$ (рис. 3.89).

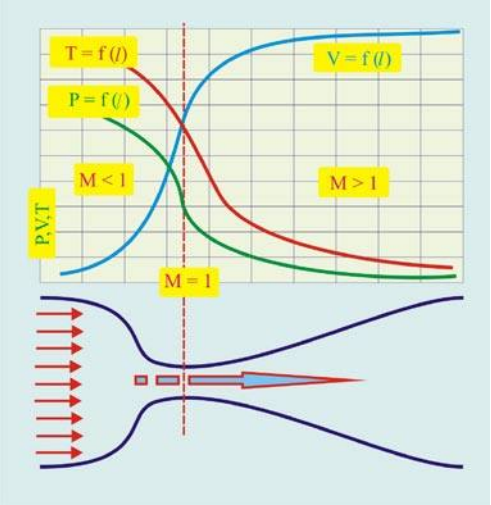


Рис. 3.87. Сопло Лаваля

С одной стороны такая фантастическая частота вращения была крупным научно-техническим достижением, а с другой – источником неразрешимых на то время инженерно-технических трудностей. Ситуация для Лаваля усугублялась тем, что он, по сути своей, был талантливым эмпириком, он создавал работоспособные устройства, буквально по наитию, теорию лавалевских конструкций придумывали

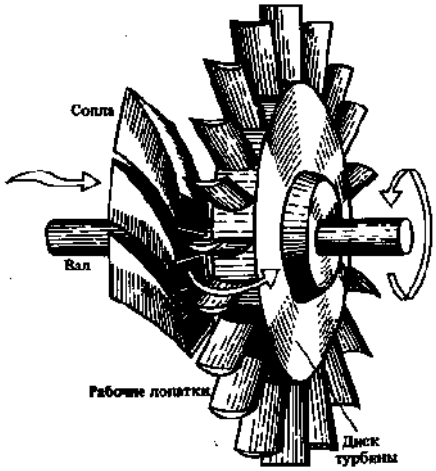


Рис. 3.89. Паровая турбина

другие и позже. Так, например, в конструкции своей турбины Лаваль впервые в мировой практике применил, так называемый, гибкий вал, который инженеры – машиностроители научились проектировать после теоретических разработок чешского учёного А. Стодолы.

Лаваль был увлекающимся человеком и доводка своих изобретений до «товарного вида» была не его стихией. Изготовив очередную конструкцию и убедившись в её принципиальной состоятельности, он бросал её и переключался на новую идею.

Сопло изобретенное Лавалем в настоящее время широко используется в аэродинамических и гидродинамических трубах при испытаниях различных устройств от моделей планеров летательных аппаратов до судовых винтов.

Более успешным в реализации своих идей был английский учёный и инженер Чарльз Алджернон Парсонс, который в отличие от Лаваля, получид добротное классическое образование в знаменитом Кембриджском университете.

Рис. 3.90. Чарльз Парсонс

Хорошая научная база, великолепное инженерное чутьё и материальное благополучие семьи позволили Чарльзу блестяще реализоваться в собственной компании «Кларк, Чапмэн, Парсонс и К», которая, начиная с 1883 г. занималась проектированием и строительством паровых турбин и генераторов электрического тока.

Первую реактивную многоступенчатую турбину конструкции Парсонса компания построила в 1884 г. По замыслу автора турбина предназначалась для привода электрических генераторов. Другими словами, компания Парсонса выпускала, по сути, не турбины, а агрегаты для производства электрической энергии, достоинства которой быстро оценили все потребители. Это предопределило успех реализации изделий. Парсонс на все сто процентов реализовал принцип: «В нужное время и в нужном месте».

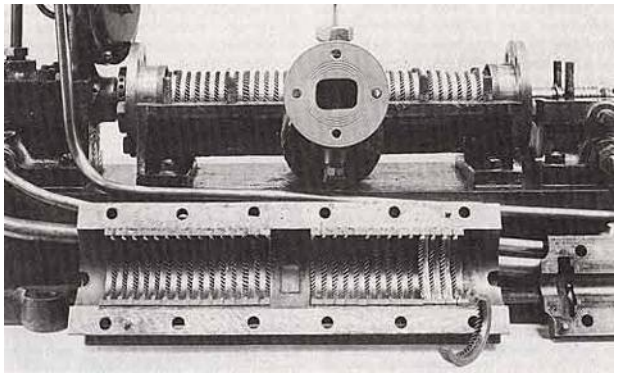


Рис. 3.91. Турбина Парсонса [95]

В турбине Парсонса мощностью 6 л.с. с целью уравновешивания осевого усилия пар подводился через полый вал к середине турбины и далее распространялся к периферии (рис. 3.91).

Как и для всякой конструкции быстроходного устройства сложности возникали с профилем лопаток, способом их крепления и уплотнения рабочего объема. В последующих вариантах турбины Парсонс использовал оригинальное лабиринтное уплотнение, что позволило реализовать однонаправленную подачу пара.

За пять лет фирма Парсонса построила по заявкам заказчиков 300 изделий. Благодаря стараниям Парсонса Англия на много опередила все страны в производстве турбин для получения электроэнергии.

В 1896 г. компанией была запущена в производство турбина мощностью 544 л.с (400 кВт). Общая мощность всех выпущенных компанией турбин для получения электроэнергии к 1896 г превысила 40 000 л.с. Лицензии на производство турбин Парсонса начали распространяться по всему миру. Все производители электрических установок начали быстренько менять громоздкие и металлоёмкие паровые двигатели на паровые турбины.

В 1899 г. в немецком Франкфурте по лицензии Парсонса на вновь строящейся электростанции была построена турбина мощностью 1360 л.с. (1000 кВт). Паровые двигатели были посрамлены. Их производители плели интриги, как обычно сочиняя леденящие душу сказочки о вреде турбин для здоровья обслуживающего персонала. Тем не менее, против экономики не попрёшь. Турбины начали строиться в Америке, Швейцарии, Франции, Австро-Венгрии и других, индустриально развитых странах. К памятному для нашей страны 1917 г. появились на электростанциях турбины мощностью до 30 МВт (40 788 л.с). Следующим рубежом победного шествия турбин стало их внедрение в качестве судовых силовых установок.

По сложившейся веками традиции все самые передовые технические достижения первым делом рассматривались с точки зрения их милитаристического применения. В конце XIX в. в военных флотах морских держав появился новый класс боевых кораблей, миноносцев.

Основным вооружением миноносцев были торпеды с мощным зарядом взрывчатых веществ, способным пустить на дно самые крупнотоннажные вражеские суда, несмотря на их броневую защиту, которая, в основном, предназначалась для защиты от снарядов ствольной артиллерии.

Главным средством защиты в морском сражении для миноносцев была их скорость и маневренность. В этой связи на первый план становился вопрос о компактной, но с большой удельной мощностью силовой установке.

Первым судном, оборудованным турбоприводом была «Турбиния» всё того же Парсонса, которая не смогла достичь расчетной скорости 35 узлов по причине кавитации винтов. Как потом выяснилось при испытаниях винтов в гидродинамической трубе, их форма была такова, что на поверхностях лопастей присутствовала кавитация, которая помимо эрозионного износа значительно меняла характеристики воды в области вращения винта.

После выяснения обстоятельств, приведших к нарушению условий работы винта, конструкторы по рекомендации Парсонса одновальную систему заменили трёхвальной, под кормой стали работать с меньшими оборотами три винта, Кавитационное мракобесие прекратилось. «Турбиния» с тремя винтами разогналась до 34,5 узлов. Доведя мощность турбинной установки до 2400 л.с. корабелы в 1897 г. достигли мирового рекорда скорости 34,5 узлов.

Успех вскружил Парсонсу голову настолько, что он решился на совершенно хулиганскую выходку. В честь шестидесятилетия правления королевы Виктории, англичане решили устроить грандиозный военно-морской парад лучших боевых кораблей, которые должны были на полной скорости пронестись перед светлыми очами её величества.

В самом начале действа весь несущийся строй кораблей, как стоячих, обогнало небольшое судёнышко и на глазах у изумлённой публики скрылось за горизонтом. Конечно это была «Турбиния». Все присутствующие, включая представителей Адмиралтейства имели вид известных животных, взирающих на новые ворота.

Пиар удался на славу. Английский парламент принял решение на весь быстроходный новострой, прежде всего на миноносцы, ставить в качестве привода турбины. Были и противники такого решения.

Ретроградствующие скептики снова затянули известные песнопения о повышенном уровне шума и вибраций и неизвестном моторессурсе. Приняли соломоново решение построить два однотипных миноносца с различными типами СЭУ.

Со стапелей практически одновременно сошли два миноносца одного и того же проекта. «Аметист» был движим турбокотельной установкой (ТКУ) мощностью 13 000 л.с., а «Топаз» был оборудован традиционной котломашинной установкой с максимальной мощностью 9600 л.с.

Миноносец «Аметист» на ходовых испытаниях достиг скорости 23,6 узла, в то время, как у «Топаза» она не превышала 21 узел, при этом турбокотельная установка сокращала удельное количество потребляемого топлива с ростом отбираемой от турбины мощности. Испытания показали полное преимущество турбопривода на высоких скоростях хода судна.

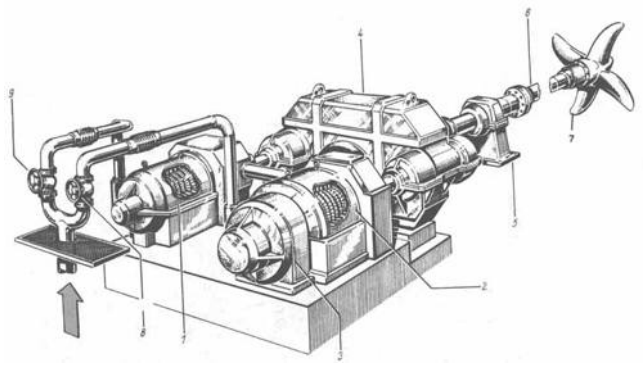


Рис. 3.92. Судовая паровая турбина

На рис. 3.92 приведена схема судовой паросиловой турбинной установки: *1* – турбина высокого давления, *2* – турбина низкого давления, *3* – подшипник вала турбины, *4* – редуктор, *5* – подшипник валопровода, *6* – муфта, *7* – гребной винт, *8* – управляющие клапаны переднего хода, *9* – управляющие клапаны заднего хода.

На малых скоростях турбина была не эффективна, поэтому Парсонс предложил строить комбинированные СЭУ, на малых скоростях предлагалось использовать привычные котломашинные агрегаты, а при достижении предельной для паровых машин скорости 16 – 18 узлов подключать турбину и наращивать скорость далее. На пассажирском лайнере «Титаник» два винта приводились в движение паровыми двигателями, а третий винт – турбиной, для питания которой использовался отработанный в поршневых машинах пар.

Рис. 3.93. Миноносец «Новик»

На Путиловском заводе в Петербурге в 1910 г. был заложен корабль, который в апреле 1911 года введён в состав ВМФ России под названием «Новик» как эскадренный миноносец (рис. 3.93). Котлы корабля питались нефтью, что позволяло развивать этому турбоходу на три валопровода мощность около 42 000 л.с. при максимальной скорости хода 37,3 узла. Это был мировой рекорд скорости на воде.

Основное боевое крещение минососца произошло в 1915 г. в районе маяка Михайловский, что находился в Финском заливе Балтийского моря.

Обнаружив два новейших немецких эсминца, направлявшихся для атаки русского линейного корабля «Слава», миноносец навязал им морское сражение. Умелые действия капитана и команды, а так же непревзойдённые скоростные характеристики позволили последовательно нейтрализовать вражеские корабли.

На головном немецком миноносце уже после третьего залпа был полностью разрушен ходовой мостик и сбита вторая дымовая труба. На флагманском корабле противника начался сильный пожар. Оставаясь на плаву, он пытался покинуть поле боя, но профессиональными манёврами и залпами русского миноносца был загнан на минные поля, где и подорвался.

На втором вражеском корабле в результате прямого попадания была сильно повреждена корма, там тоже вспыхнул пожар. Капитану ничего не оставалось делать, как на максимально возможном ходу ретироваться.

В том же 1915 г. патрулируя побережье, команда «Новика» обнаружила немецкий сторожевой корабль «Нобург», и посчитал своим долгом потопить его, накрыв двумя залпами орудия главного калибра.

В мае 1916 г. совместно с эсминцами «Победитель» и «Гром», «Новик» атаковал караван немецких кораблей из 14 транспортов, крейсера и двух канонерских лодок, вчистую выиграв и это сражение.

Современный военно-морской флот в своём составе имеет целые классы кораблей оснащённых турбинами, как например сторожевые корабли и большие противолодочные корабли (рис 3.94).

3.94. Современный противолодочный корабль

Как видно из приведенных материалов, там, где нужна скорость, там эффективна турбина. Эта очевидность сложилась во всех отраслях человеческой деятельности, поэтому авиация не стала исключением.

Аппараты, тяжелея воздуха, отрываются от взлётной полосы только потому, что их конструкция позволяет создавать подъемную силу, превосходящую силу земного притяжения. Для перемещения в воздухе должна быть создана ещё и сила тяги.

Как и на всяком движущимся объекте, созданном руками и разумом человека, на летательных аппаратах должен быть источник энергии. Источник энергии необходим для увеличения скорость потока воздуха в области летательного аппарата и для продвижения его в нужном направлении.

В подавляющем большинстве случаев такая энергия в авиации и космонавтике получается за счёт сжигания углеводородного топлива, впрочем, как и в других конструкциях, движущихся по земле и воде.

Следует отметить, что в первой половине XX в. после открытия энергии возникающей при делении атомного ядра, чрезмерно романтически настроенные учёные и фантасты были уверены, что в недалёком будущем появятся атомные силовые установки и на воздушных судах. Однако, этого к настоящему времени не произошло. Причины отсутствия атомных источников энергии в авиации в настоящее время обсудим в третьей части пособия, когда коснёмся рассмотрения энергии атома.

В соответствие со вторым началом термодинамики, количество тепловой энергии, трансформируемой в полезную механическую работу, определяется разностью температур источника тепла и холодильника, т.е. температурой окружающей среды.

Для углеводородных топлив, использующихся в авиационных двигателях, температура сгорания составляет примерно 2500 К. Теоретически, такие высокие температуры сгорания должны обеспечивать коэффициент полезного действия близкий к единице, однако в реальности КПД гораздо ниже.

Эффективная температура рабочего тела значительно ниже температуры горения, кроме того при организации рабочих процессов возникают не хилые потери при сжатии и расширении в различных элементах авиационных турбодвигателей. Реальные величины КПД, которых удалось достичь к настоящему времени, составляют около 60 %.

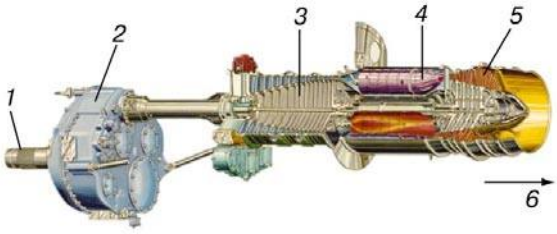


Рис. 3.95. Турбовинтовой двигатель

Рис. 3.96. Турбовинтовой моноплан

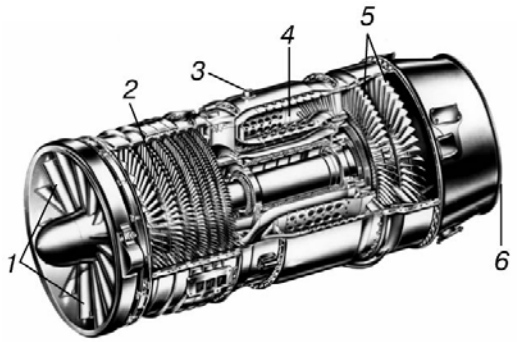


Рис. 3.97. Ранний турбореактивный авиационный двигатель

Чаще других в современной авиации для увеличения скорости воздушного потока в области планеров используются турбовинтовые и турбореактивные двигатели, гораздо реже применяются поршневые двигатели.

В современных винтовых самолётах в качестве привода используются турбовинтовые двигатели (рис. 3.95), включающие в себя вал винта *1*, редуктор *2*, нагнетающий компрессор *3*, камеру сгорания *4* и сопло *5*.

Турбина экономически становится эффективной только при достаточно высоких оборотах её ротора. Естественно, что пропеллер не может вращаться с такими высокими частотами, поэтому используется редуктор, как правило, на основе зубчатых передач, которые забирают часть вырабатываемой турбиной энергии, снижая тем самым КПД.

Кроме того работа редуктора любой конструкции сопровождается высоким уровнем шума, превышающего уровень 100 дБ, на грани болевого порога человеческого уха.

Турбореактивные двигатели ранних поколений (рис. 3.97) с осевым компрессором включали: воздухозаборник *1*, компрессор *2*, систему подачи топлива *3*, камеру сгорания *4*, турбину *5* и выходное сопло *6*.

Компрессор обеспечивает попадание большого количества окислителя (воздуха) в камеру сгорания, куда впрыскивается распыленное топливо, как правило,

авиационный керосин. Продукты сгорания всасываются турбиной и отбрасываются через сопло в атмосферу, обеспечивая тягу двигателя.

Коэффициент полезного действия такого двигателя можно приближённо оценить следующим уравнением

$$\eta = \frac{2v_1}{v_1 + v_2},$$

где v_1 – скорость летательного аппарата, v_2 – скорость истечения реактивной струи. Сила тяги турбореактивного двигателя определяется через массовый расход окислителя Q и разность скоростей истекающей из сопла струи и самолёта

$$F_\tau = Q(v_2 - v_1).$$

Как видно из приведенных уравнений, разность между скоростью истечения струи и скоростью движения самолёта обеспечивает с одной стороны высокие значения силы тяги, а с другой – низкий коэффициент полезного действия. Полезной, в данном случае считается работа, затрачиваемая на движение воздушного судна. Полезная мощность определится в виде работы, совершаемой в единицу времени

$$A_p = F_\tau v_1.$$

На рис. 3.98 показана зависимость тягового КПД от силы тяги и количества движения, цифрами показаны значения отношения скоростей полёта и струи.

Рис. 3.98. Тяговый КПД

Увеличение относительной скорости струи приводит к снижению тягового КПД. Таким образом, турбореактивный двигатель хорош для сообщения летательным аппаратам высоких скоростей при относительно низком тяговом КПД.

Воздушный винт (пропеллер) благодаря значительному по сравнению с воздухозаборниками реактивных двигателей диаметру имеет большой расход воздуха с относительно низкой скоростью воздуха, поэтому у них КПД выше, а сила тяги ниже в сравнении с реактивными двигателями.

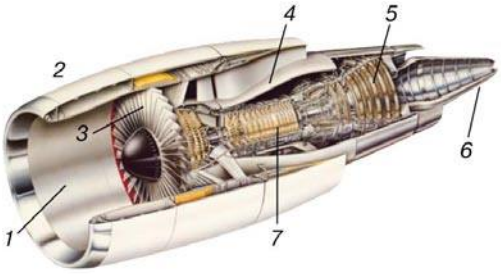


Рис. 3.99. Турбовентиляторный двигатель

Стремление снизить относительную скорость струи привело к созданию, так называемых, турбовентиляторных двигателей (рис. 3.99) имеющих в своём составе воздухозаборник *1*, расположенный в мотогондоле *2*, вентилятор *3*, спло вентиляторного контура *4*, турбину *5*, сопло турбокомпрессора *6* и компрессор *7*. Через выходные сопла в турбовентиляторном двигателе, по сути, истекают две струи, одна из которых создаётся вентилятором, а вторя, так же как и в турбовинтовом двигателе инициирована сгоранием топлива и работой турбины.

Таким способом удалось увеличить значения Q и снизить величину относительной скорости. КПД турбовентиляторных двигателей (3.100) ниже чем у турбовинтовых, но выше, чем у турбореактивных.

Рис. 3.100. Турбовентиляторный двигатель отечественного самолёта ЯК – 40

Рис. 3.101. Авиалайнер ИЛ – 86 с турбовентиляторными двигателями

Этот тип двигателей получил широкое распространение в транспортной авиации, летающей на скоростях ниже скорости звука. Подавляющее большинство пассажирских авиалайнеров снабжены турбовентиляторными двигателями, которые ко всему прочему имеют относительно низкий уровень шума и высокие экологические показатели.

Скорость реактивной струи у турбовентиляторных двигателей ниже, чем у турбореактивных, но выше чем у турбовинтовых. Отсюда и промежуточное значение тягового КПД.

При выборе типа силовой установки для вновь проектируемого самолёта главенствующим критерием является предполагаемая скорость авиалайнера, которая представляется в виде относительной величины, числа Маха М

$$M = \frac{v_1}{c},$$

где с ≈ 340 м/с (1224 км/час) – скорость звука в воздухе на заданной высоте. Самолёты летающие с М < 0,5 наиболее эффективным во всех отношениях является винт, приводимый в движение либо поршневым, либо турбовинтовым двигателем. Для средних скоростей полёта с М < 1 предпочтение отдаётся турбовентиляторным двигателям. Турбовентиляторные двигатели обладают лучшим из всех сочетанием тягового усилия и расхода топлива.

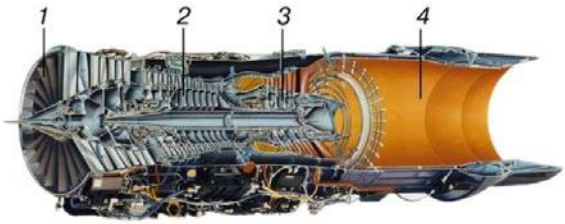


Рис. 3.102. Турбовентиляторный двигатель с форсажной камерой

Рис. 3.103. Боевой самолёт МИГ – 29 с двумя форсированными двигателями

В военной авиации, где параметры скорости и маневренности представляются главенствующими, применяются турбовентиляторные двигатели с форсажной камерой (рис. 3.102). Как и в турбовентиляторных двигателях имеется воздухозаборник 1, вентилятор 2, турбину 3. Сразу за турбиной располагается форсажная камера 4, в которую дополнительно подаётся топливо, при сгорании которого возникает добавочная тяга. Двигатели с форсажем устанавливаются, как правило, на боевых самолётах (рис. 2.103), летающих при 2 < М < 4.

Все рассмотренные выше авиационные двигатели являются тепловыми, преобразующими внутреннюю энергию углеводородного топлива в механическую работу. В рабочих органах двигателей происходит изменение состояния рабочего тела вследствие его сгорания, представляющего собой химиче-

скую реакцию окисления. Процессы горения сопровождаются повышением температуры. В поршневых двигателях повышение температуры происходит в постоянном объёме, поэтому сопровождается увеличением давления. В газотурбинных двигателях температура повышается при практически постоянном давлении. В турбореактивном двигателе турбина служит своеобразным приводом компрессора, основная же часть энергии рабочего тела трансформируется в силу тяги при расширении потока в выходном сопле.

Так как термический КПД всякого теплового двигателя от парового до турбореактивного, определяется в соответствии со вторым началом термодинамики разностью температур рабочего тела и окружающей среды, то в авиационных двигателях используют высокие степени повышения давления.

В современных авиационных газотурбинных устройствах давление повышается в 25 раз и более. Повышение температуры в авиационных силовых агрегатах ограничивается термостойкостью используемых материалов, прежде всего турбинных лопаток и стенок форсажной камеры.

С 1950 г. по настоящее время температура турбины увеличилась с 1570 ^{0}К до 2270 ^{0}К, при принудительном охлаждении лопаток. Принудительно лопатки турбины охлаждаются отбором некоторой части воздуха на выходе из компрессора.

В газотурбинных авиационных двигателях изменение энергии потоков осуществляется лопаточными механизмами. В компрессоре, состоящем из последовательных подвижных и направляющих лопаток, происходит увеличение температуры за счёт сжатия потока. Каждая ступень компрессора последовательно увеличивает давление и температуру. В многоступенчатых компрессорах удаётся получить высокую степень увеличения давления. В турбине поток раскручивая ротор совершает работу, вращая компрессор и вентилятор. Мощность, отнесённая к одной лопатке турбины пропорциональна квадрату её угловой скорости.

При работе с высокими окружными скоростями наряду с термическими нагрузками лопатки турбин испытывают и значительное механическое воздействие вследствие возникающих центробежных сил. Это обстоятельство предъявляет дополнительные прочностные требования к материалам. В современных турбинах используются композитные материалы на основе титановых сплавов.

Борьба за скорость и удельную мощность развернулась не только на флоте, в авиации и железнодорожном транспорте. Тенденции развития силовых установок на всех видах транспорта имела идентичные стратегические направления.

Современная цивилизация, имеющая явно выраженный милитаристический окрас, все свои лучшие научно-технические достижения использовала, прежде всего, при создании боевых средств нападения и обороны. Такова уж энергетическая суть человечества.

Из недр военно-промышленных комплексов разработки с некоторой задержкой во времени, обусловленной, прежде всего, условием секретности, распространялось и в сугубо гражданские области производства, подтягивая их до уровня «оборонки».

В этом смысле война, как самый эффективный способ за минимальное время преобразовывать максимально возможные потоки энергии, является двигателем прогресса. Обусловлено это не только тем, что на войну работают лучшие интеллектуальные силы, но и уровнем финансирования разработок.

Перелицовывая любимую фразу политических лидеров всех стран и народов, можно сказать: «Всё лучшее для войны!». Когда идеи применения в силовых установках турбин перестали быть секретными, они стали успешно внедряться в

смежные гражданские отрасли деятельности, в частности для увеличения удельной мощности автомобильных двигателей, как карбюраторных, так и дизельных.

Всякий человек сидящий за рулём автомобиля или мечтающий об этом в большей или меньшей степени глубины постижения вопроса знают, что мощность подкапотного устройства, именуемого в простонародии двигателем, зависит от целого ряда параметров.

Прежде всего, мощность определяется суммарным объёмом цилиндров, количеством подаваемой топливно-воздушной смеси, эффективностью горения топлива, его теплотворной способностью.

При фиксированном объёме цилиндров определённом типе топлива вариантов увеличения мощности остаётся не так уж много. С самых ранних стадий развития автомобильного двигателестроения конструкторы и учёные стремились впрыснуть в цилиндры как можно больше топлива, но делать это можно было до определённого предела.

Дело в том, что процесс горения, как известно, представляет собой окислительную реакцию, для течения которой непременно должен присутствовать кислород. Нехватка кислорода приводила к неполному сгоранию топлива. Топлива в цилиндры подавалось много, а увеличение мощности не наблюдалось. Это происходило от того, что возможности самого двигателя всасывать атмосферный воздух ограничены, даже при использовании фильтров нулевого сопротивления.

Во время тактов впуска двигатель работает в режиме насоса, на пути втягиваемого воздуха находится воздушный фильтр, многочисленные изгибы, включая дроссельную заслонку. Всё это создаёт аэродинамическое сопротивление, которое, в конечном счёте, ухудшает наполняемость цилиндров смесью распыленного топлива и воздуха.

Выход из такой ситуации очевиден, как лунная дорожка на воде ив ясную погоду. Надо повышать давление топливно-воздушной смеси перед её попаданием в цилиндр. Было перепробовано много различных способов, но более других получили распространение различного рода нагнетатели воздуха.

Впервые нагнетатель роторного типа был предложен ещё в далёком 1860 г Фрэнсисом Рутсом, жителем США, для проветривания промышленных помещений. Конструкция была проста до безобразия. Две вращающиеся в противоположных направлениях шестерни были помещены в герметичный кожух с водным и выходным патрубками.

В 1949году конструкция роторного нагнетателя была усовершенствована американским инженером Итоном, который прямозубые шестерёнки заменил косозубыми роторами, которые нагнетали воздух в продольном направлении. В устройстве Итона воздух не подвергался существенному сжатию, он просто перемещался из одного объёма в другой, почему и стали их называть в технической литературе объёмными нагнетателями роторного типа.

Рис. 3.104. Роторный компрессор

Идея роторного нагнетателя в начале прошлого века была реализована в автомобильном двигателе (рис. 3.104).

За счёт изменения формы лопастей ротора удалось добиться эффекта сжатия воздуха в направлении его перемещения

вдоль ротора. Таким образом, объёмный нагнетатель превратился в компрессор. В пространстве между вращающимися лопастями вследствие значительных завихрений возникали градиенты давления, обеспечивающие сжатие. Затем на смену роторному компрессору пришёл центробежный компрессор, состоящий из улитки с помещёнными в неё лопастями сложного профиля.

В центробежном компрессоре воздух всасывался на оси вращения лопастей и центробежными силами отбрасывался к периферии с эффектом сжатия (рис. 3.105).

Рис. 3.105. Автомобильная турбина

Следующим шагом в совершенствовании воздушного «питания» автомобильных двигателей стало совмещение компрессора и турбины.

Турбину приспособили для привода компрессора, причём за счёт энергии отработанных продуктов сгорания (рис. 3.106).

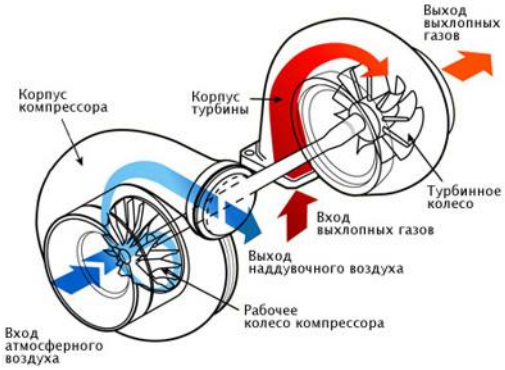


Рис. 3.106. Схема турбонаддува

Выхлопные газы в картере автомобильного двигателя (рис. 3.107) находятся при давлении существенно выше атмосферного, вполне достаточным, для того, чтобы сообщить турбине необходимую энергию для дальнейшей трансформации.

В современных конструкциях турбонаддува воздух перед попаданием в компрессор охлаждается. Чем ниже температура воздуха, тем в большей степени его можно сжать. Охлаждается воздух в специальных устройствах – интеркуллерах, представляющих собой радиаторы, охлаждаемые потоком атмосферного воздуха.

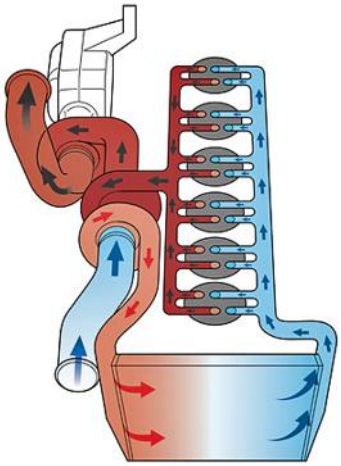


Рис. 3.107. Схема подачи к турбине отработанных продуктов сгорания

Зависимость плотности воздуха от температуры следует непосредственно из уравнения Клапейрона – Менделеева

$$pV = \frac{m}{\mu}RT,$$

где p – давление, V – объём, m и μ – масса и молярная масса воздуха, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура. Поделим обе части уравнения на объём

$$p = \frac{m}{V}\frac{RT}{\mu} = \rho\frac{RT}{\mu} \quad ,$$

и разрешим полученное соотношение относительно плотности воздуха ρ

$$\rho = \frac{p\mu}{RT},$$

т.е. плотность воздуха (масса в единице объёма) обратно пропорциональна температуре. Отсюда и все технические выгоды применения интеркуллера.

На практике, естественно, всё протекало не так быстро. Турбонаддув, сплошь и рядом применяющийся в современных двигателях имеет свою достаточно длительную историю.

У истоков внедрения идеи дополнительной подачи воздуха стоял Готтлиб Вильгельм Даймлер, тот самый. Он впервые применил в разрабатываемых его фирмой двигателях компрессорную подачу воздуха. На первых образцах компрессор приводился в движение путём отбора некоторой части мощности от коленчатого вала двигателя. Даже этот подход принёс свои плоды. Несмотря на увеличение массы двигателя эффект возрастания мощности был на лицо.

Эстафету совершенствования турбонаддува перехватил далее сотрудник фирмы Sulzer Brothers Альфред Бюхи, который в 1905 г. получил первый патент на устройство нагнетания воздуха в цилиндры двигателей с использованием турбины, раскручиваемой отработанными газами.

Это уже был настоящий турбонаддув, однако до полномасштабного внедрения в практику было ещё далеко. Причин тому было несколько, главными из которых являлись высокие температуры (в районе 1000 ^{0}C) отходящих газов и высокие (2000 об/мин) обороты турбины. Нужны были особые материалы и особые технологии, которые в автомобилестроении не применялись.

Широко на практике турбонаддув начал применяться во время Второй мировой войны при создании поршневых авиационных двигателей. Это было дорогое удовольствие, но за ценой не стояли, летать надо было быстрее и дальше всех, всем была нужна победа.

Рис. 3.108. Современная система турбонаддува

На гражданке в 50 годах прошлого столетия первыми турбонаддув начала применять американская компания Caterpillar, специализирующаяся на выпуске тракторов и другой гусеничной и колёсной техники с мощными дизельными двигателями.

На серийных легковых автомобилях турбонаддув практически одновременно начали использовать известные автомобильные компании свет Oldsmobile Jetfire и Chevrolet Corvair Monza (рис. 3.108).

При наличии неоспоримых достоинств турбонаддув обладает и недостатками. Кто бы в этом сомневался.

Дело в том, что турбина эффективно загоняет воздух в цилиндры только на высоких оборотах. На малых оборотах эффекта от турбонаддува практически нет. Как говорят продвитутые автомеханики: «Движок тупит».

Это явление получило и официальное прозвище – турбояма. В этой связи разработали и начали применять турбины низкого давления, но они были менее эффективны. Для искоренения турбоямизма начали снабжать двигатели двумя турбинами с последовательным и параллельным их включением.

3.8. Двигатели внутреннего сгорания

Двигатели внутреннего сгорания, пришедшие на смену паровым двигателям, стали самыми распространёнными устройствами, созданные человеком за всю историю его осознанного существования.

Чтобы убедиться в этом достаточно выйти на улицу и посмотреть вокруг. Растущее с пугающим постоянством количество автомобилей является ярким подтверждением тому.

В каждом самодвижущемся экипаже под капотом находится двигатель внутреннего сгорания, который, собственно, и движет эти экипажи по поверхности, страдающей от них планеты.

По сути своей двигатели внутреннего сгорания являются типичными тепловыми машинами, мало чем, в принципе, отличающимися от паровых двигателей. Нюансы, конечно, есть. Вот о них мы и поговорим более подробно.

Французский инженер, профессор академии мостов Филипп Лебон (рис. 3.109) в 1899 г. экспериментируя с разложением каменного угля, открыл, так называемый, светильный газ.

Рис. 3.109. Филипп Лебон

Лебон в 1799 г. получил патент на способ сухой перегонки угля. Внедрение в практику получения светильного газа из угля по способу Лебона позволило перейти при искусственном освещении на более прогрессивные технологии. Газовые светильники сменили фитильные фонари и свечи. Но вскоре применение светильного газа для фонарей отошло на второй план.

В 1801 г. всё тот же Лебон обратился в инстанции за подтверждением своего авторства на газовый двигатель. Будучи грамотным инженером, Лебон обратил внимание на выделение большого количества тепла при воспламенении открытого им газа.

Продукты сгорания, при этом, взрывообразно расширялись, создавая градиенты давления в закрытых объёмах. Именно этот факт натолкнул Лебона на мысль заставить возгораться светильный газ в цилиндре, закрытом поршнем. Двигатель Лебона состоял из двух нагнетателей (компрессоров) и камеры сгорания. В камеру смешения одновременно подавался сжатый воздух и сжатый светильный газ, а затем газовоздушная смесь далее подавалась в рабочий цилиндр и воспламенялась. Камеры сгорания в двигателе Лебона были расположены по обе стороны цилиндра. Прекрасная идея Лебона, к сожалению не была широко реализована на практике.

Двигатель Лебона не получил распространения. Однако идея использовать внутреннюю энергию светильного газа не умерла окончательно. Коммерчески конкурентноспособный двигатель на светильном газе создал бельгийский изобретатель Жан Этьен Ленуар (рис. 3.110). Ленуара первого посетили идеи использовать для воспламенения горючей смеси электрическую искру и для повышения долговечности – смазку.

Рис. 3.110. Этьен Ленуар

В юные годы по причине отсутствия средств на обучение Этьен был вынужден работать официантом в ресторане «Холостой парижанин», куда часто захаживали механики и владельцы мастерских. Слушая их разговоры, юноша увлёкся идеей усовершенствования двигателя, о котором много и подробно разговаривали некоторые посетители.

Оставив место гарсона, Этьен поступил на работу в одну из мастерских, но работал там не долго. Поссорившись с хозяином, Ленуар подался в вольные механики, он стал в свободном режиме чинить любого рода технику, на что приглашали.

Это была хорошая практика и возможность познакомиться с различными конструкциями. Поднаторев в техническом плане, Ленуар предложил свои услуги литейной мастерской итальянца Маринони. Это было время, когда начали интенсивно развиваться отрасли промышленности, связанные с использованием электричества. Учение об электрических явлениях проснулось от длительной спячки, им стали заниматься серьёзные учёные, что не преминуло сказаться на практическом применении тех эффектов, которые сопровождали прохождение электрического тока через среды.

Ленуар убедил хозяина мастерской в необходимости переориентации мастерской, с литейной в гальванопластическую. Дела пошли настолько хорошо, что Ленуар, обладая некоторой экономической независимостью от окружающих, мог заняться изобретательством. Он активно патентовал свои изобретения: электромотор малой мощности, регулятор оборотов для динамо-машин, водомер.

Но, главное увлечение Ленуара составляли паровые двигатели, особенно машины двойного действия. Владелец мастерской, будучи человеком прозорливым, стимулировал экономически творчество Ленуара.

Первый образец газотопливного двигателя, реализующий идеи Лебона, заработал. Мотор не так грохотал, как паровики, однако быстро перегревался и поршень заклинивало. А тут вследствие юридических неурядиц, власти закрыли мастерскую Маринони.

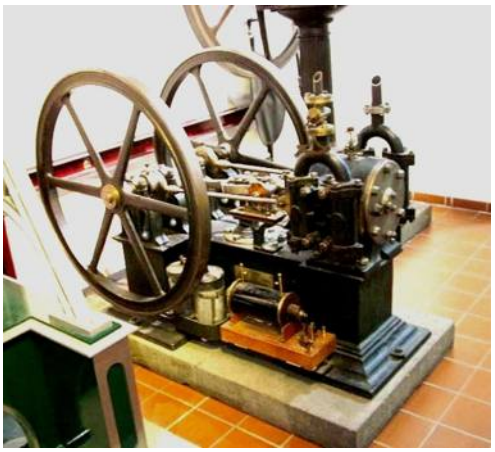


Рис. 3.111. Двигатель Ленуара

Как говорится: «Нет худа без добра». Ленуар, воодушевлённый первыми своими успехами в изобретательстве газовых силовых машин, открывает собственную фирму «Ленуар и К°» по производству газовых двигателей (рис. 3.111).

Получив в 1860 г. патент на двигатель мощностью в 4 лошадиных силы, Ленуар распространил его производство как во Франции, так и в Германии. Немцы, прежде всего инженер Отто, взялись посредничать между Ленуаром и немецкими заказчиками.

Закончилось такое сотрудничество известной концовкой. Отто, в конечном счёте, покрайней мере в Германии, оттеснил Ленуара от места под «двигательным солнцем», нацепив на себя жёлтую майку лидера. Конечно, тевтоны всегда недолюбливали «лягушатников», так сложилось исторически.

Во Франции же Ленуар в двигателестроении солировал. В 1862 г. на Парижской выставке демонстрировался омнибус Ленуара с его двигателем (рис. 3.112). Мотор Ленуара в 1872 г. даже был установлен на дирижабле, который успешно с его помощью плавал в воздухе в нужном направлении, а не туда, куда несут воз-

душные потоки. К 1864 г. только во Франции было выпущено более 300 двигателей.

Как и всякий истинный француз, разбогатев, Ленуар перестал активно заниматься модернизацией своего изобретения, а поводов для этого было предостаточно. Часто сбоила система зажигания, был неудовлетворительным мото ресурс впускных и выпускных устройств, которые работали при температуре около 800 ^{0}С, не до конца были решены вопросы смазки движущихся деталей. И конечно же КПД. Он превосходил несколько в среднем КПД паровиков, но, согласитесь, $\eta \approx 5$ % – это несколько маловато для XIX в.

Рис. 3.112. Автомобиль Ленуара

В 1864 г. компаньон Ленуара, немецкий инженер Николаус Август Отто (рис. 3.113) получает патент на свою модель газового двигателя и находит спонсора в лице состоятельного инженера (Во были времена!) Лангена.

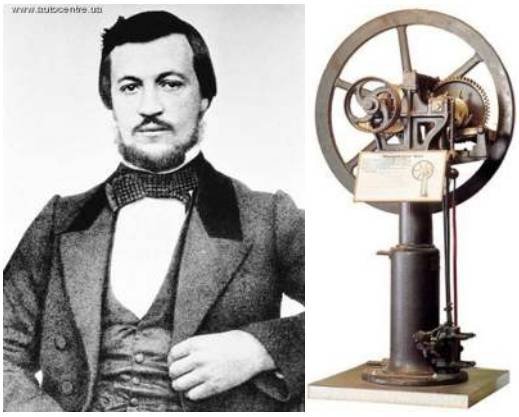


Рис. 3.113. Николаус Отто и его первый двигатель

Образованная ими фирма «Отто и К^o» начинает выпуск двигателей Отто. Цилиндр в двигателе Отто был расположен вертикально, а приводной вал располагался над цилиндром, сбоку.

Посредствам вала поршень поднимался на 1/10 высоты цилиндра, образуя разреженный объём, в который всасывалась горючая смесь из светильного газа и воздуха, затем смесь поджигалась.

Следует отметить, что Отто, так же как и Ленуар, с электричеством были совсем не на – ты, от этого здравая идея электрозапала горючей смеси не была доведена ими до необходимой надёжности. Электричество дело весьма тонкое.

Отто и его компаньон Ланген воспламеняли смесь, вдувая через специальную трубку открытое пламя. После взрывообразного окисления топливной смеси давление увеличивалось до 4 атм. и поршень поднимался вверх, рабочий объём увеличивался, – давление падало. Поршень сначала под действием давления продуктов сгорания, а затем за счёт инерциальной энергии маховика поднимался до тех пор, пока под поршнем не создавалось разряжение.

Главным отличием двигателя Отоо было то, что рабочий ход поршня вниз начинался под действием внешнего давления, когда давление в цилиндре сравнивалось с атмосферным, открывался выпускной вентиль и поршень своим весом вытеснял продукты сгорания в атмосферу.

Это позволило поднять КПД до $\eta \approx 15\%$, что превосходило КПД лучших, можно сказать, эксклюзивных образцов паровых машин. В отличие от Ленуара трудолюбивый Отто постоянно работал над усовершенствованием своего двигателя.

Зубчатая рейка, сновавшая вверх и вниз, была заменена кривошипно-шатунным механизмом, который был более надёжен и не производил такого устрашающего шума.

Но самым революционным шагом в двигателестроении, сделанным в 1887 г. стало **изобретение Отто четырёхтактного цикла**, который и по настоящее время лежит в основе работы подавляющего большинства двигателей внутреннего сгорания. Отто получил патент на четырёхтактный двигатель и запустил его в производство.

Четырёхтактный двигатель, у которого только один такт был рабочим, было одним из самых больших технических достижений XIX в. Вскоре после начала массового производства двигателя Отто обнаружилось, что его идея о четырёх тактах не была первой.

Французский инженер Бо де Рошь за несколько лет до Отто опубликовал материалы по четырёхтактному двигателю. Французы, не желая приплачивать немцам за патент Отто, затеяли судебные разбирательства и преуспели в них.

Суд наложил серьёзные ограничения на монополию Отто в производстве двигателей такого типа. Несмотря на эти коллизии, двигатель Отто был самым совершенным на то время и спрос на него был велик. К 1897 г. было выпущено более 42 тыс. таких моторов. Однако распространение сдерживалось отсутствием достаточных мощностей для производства светильного газа. Угля везде в Европе и тем более в Азии были производства по извлечению светильного газа. Так, например, в России функционировали всего два заводика в Петербурге и Москве, которые только и справлялись с заправкой фонарных горелок.

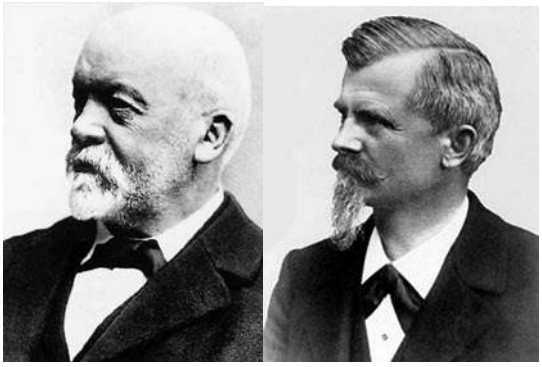


Рис. 3.114. Даймлер и Майбах

Дальнейший прогресс в двигателестроении связан с двумя известными в наше время немецкими фамилиями Юлиуса Даймлера и Вильгельма Майбаха, которые создали вполне работоспособный бензиновый двигатель.

Даймлер некоторое время работал в фирме Отто, которому впервые предложил разрабатывать свои идеи по поиску альтернативных светильному газу топлив, но старший товарищ по двигательному бизнесу отнёсся к предложению более чем прохладно, что заставило Даймлера покинуть процветающую компанию Отто и совместно со своим другом Вильгельмом Майбахом приобрести захудалую механическую мастерскую, чтобы заняться там воплощением своих идей.

Главную цель, которую ставили друзья – избавить проектируемый двигатель от газогенераторной зависимости. Даймлер и Майбах первоначально ориентировали свою конструкцию на автомобиль, поэтому двигатель был нужен компактный и достаточно мощный, ему нужно было конкурировать с паровыми агрегатами, которые к середине XIX в. получили в автомобилестроении распространение.

Всё, что каталось по немногочисленным дорогам, было исключительно паровым. Способов увеличения удельной мощности было не так уж много, одним из которых был очевиден, при стеснённых возможностях увеличивать габариты, было необходимо поднимать рабочие обороты приводного вала. Чтобы этого достичь, необходимо было улучшить систему зажигания топливно-воздушной смеси и заменить, наконец-то светильный газ чем-нибудь более приемлемым.

Начали с керосина. Решили испарять керосин и сжигать его пары, но керосин плохо испарялся и его отставили. Остановились на бензине, пары которого получались быстрее и они легко воспламенялись от раскалённой металлической трубочки открытой в цилиндр.

Даймлер и Майбах в своих двигателях с 1893 г. начали использовать изобретение венгерского инженера Донатана Банки, которое представляло собой карбюратор с жиклёром. Банки предлагал не испарять бензин а подавать его в цилиндр в распыленном жиклёром состоянии. Испарение же протекало в самом цилиндре под действием температуры и давления. Распыливание струи бензина происходило в потоке воздуха, причём количество всасываемого топлива было пропорционально секундному расходу воздуха.

Простейшая схема карбюратора (рис. 3.115) состояла из четырёх основных частей: поплавковой камеры *10* с поплавком *3*, жиклёра *9* с распылителем *7*, диффузора *6* и дроссельной воздушной заслонки *5*. Поплавковая камера из бака наполняется бензином. Латунный поплавок, опирающийся на запорную иглу *2*, служит регулятором уровня топлива. Когда топливо достигает заданного уровня, поплавок всплывает и игла перекрывает питательную трубку *1*, подача топлива в поплавковую камеру прекращается.

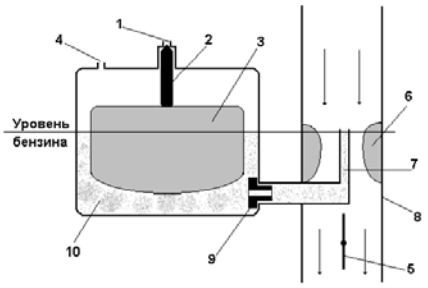


Рис. 3.115. Схема карбюратора

По мере истечения топлива из поплавковой камеры, поплавок опускается, игла открывает проход, и уровень бензина восстанавливается.

При движении поршня в период такта впуска, давление в цилиндре понижается и туда через впускную трубку *8* всасывается атмосферный воздух, количество которого регулируется положением дроссельной заслонки *5*. Топливо, истекающее из распылителя, дробится струёй воздуха и частично испаряется.

Рис.3.116. Современный карбюратор

Количество горючей смеси, т.е. мощность двигателя, регулируется дроссельной заслонкой (рис. 3.116), положение которой в современных двигателях регулируется педалью акселератора. Соотношение между объёмами паров топлива и воздуха играет очень важную роль.

Дело в том, что бензин отдаёт наибольшее количество тепла, сгорание более экологично когда 1 кг. бензина, условно говоря, смешивается с 14,5 кг воздуха, в котором, как известно, содержится около 21% кислорода, от и является активным окислителем горючего.

Первые четырёхтактные двигатели были одноцилиндровыми, для увеличения их мощности цилиндр делали большего объёма, что не совсем благоприятно сказывалось на габаритах агрегата. В конце XIX в. появились двухцилиндровые двигатели, а в начале XX в. и четырёхцилиндровые.

На рис. 3.117 показана схема работы четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания:

а) такт впуска, когда поршень из самого верхнего положения начинает двигаться вниз, при этом впускной клапан открыт, что обеспечивает втягивание топливной смеси, цилиндр и поршень работают в насосном режиме;

б) такт сжатия сопровождается подъёмом поршня, т.е. сжатием топливной смеси, оба клапана закрыты;

в) рабочий ход характеризуется тем, что когда поршень достигает самого верхнего положения, происходит принудительное воспламенение смеси, которая взры-

вообразно воспламеняется, давление многократно возрастает и поршень устремляется вниз;

г) такт выпуска сопровождается инерциальным движением поршня вверх, клапан выпуска открыт, продукты горения удаляются из цилиндра в атмосферу.

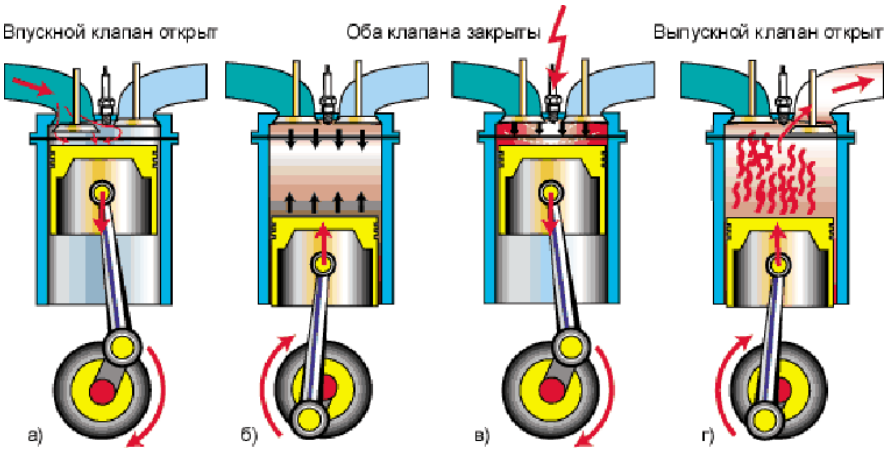


Рис. 3.117. Схема работы четырёхтактного двигателя

Несмотря на то, что топливная смесь воспламеняется взрывообразно, процесс окисления заданной массы паров бензина длится конечное время, поэтому электрическая искра должна появится за некоторое время до пребывания поршня в верхнюю мёртвую точку (ВМТ).

Угол, на который коленвал не дошёл до ВМТ называют углом опережения зажигания. Этот угол корректируется в зависимости от качества топлива и частоты вращения коленчатого вала.

Ранее зажигание вызывает детонационные эффекты. Когда в камере сгорания происходит воспламенение в режиме движения поршня вверх, то он испытывает ударные нагрузки. Двигатель теряет мощность, появляются характерные хлопки.

Позднее зажигание тоже нежелательно. Затягивание процесса горения чревато повышением температуры отходящих газов, от чего могут прогореть клапаны и увеличением вредных выбросов в атмосферу.

История двигателей внутреннего сгорания, как и многое в этом мире развивается по совету философов по спирали. Начавшись с двухтактного варианта, на определённом этапе своего развития гегемонию, по справедливости, получили четырёхтактные устройства.

Рис. 3.118. Скутер с двухтактным двигателем

Однако, при проектировании силовых агрегатов для мотоциклов и мотороллеров (теперь их зовут скутерами) вернулись к двухтактным двигателям (рис. 3.118).

Это было связано с их компактностью и простотой конструкции. В двухтактных двигателях отсутствуют клапаны, их роль выполняет поршень, он своим телом открывает и закрывает впускное и выпускное отверстие, продувочные окна.

При одинаковых рабочих объёмах цилиндра у двухтактных двигателей можно теоретически снять в два раза большую мощность по сравнению с четырёхтактной

конструкцией. На практике же сравнительные преимущества двухтактника укладываются в 60 – 70 %. Условия сгорания топлива у четырёхтактных двигателей лучше, что естественно сказывается на их КПД

В картере двигателя расположены подшипники, в которых вращается коленчатый вал, кинематически связанный через кривошипно-шатунный механизм с поршнем, совершающим возвратно-поступательное движение.

На поршне располагаются в специальных пазах подпружиненные стальные кольца герметизирующие объём и удаляющие с поверхности цилиндра остатки продуктов горения и смазки.

Смазка всех кинематических пар, имеющих относительное перемещение, в двухтактных двигателях до недавнего времени осуществлялась топливной смесью. Это было одним из эксплуатационных неудобств двухтактных двигателей.

Перед заправкой необходимо было в заданной пропорции смешивать топливо и масло, что естественно не способствовало улучшению параметров горения. Масло в бензин для двухтактных двигателей годилось не всякое, а только с высокой температурой вспенивания. В последних конструкциях двухтактных моторов этот недостаток устранён, разработаны системы электронного впрыска масла в цилиндр из самостоятельного объёма.

На рис. 3.120 приведена схема работы двухтактного двигателя.

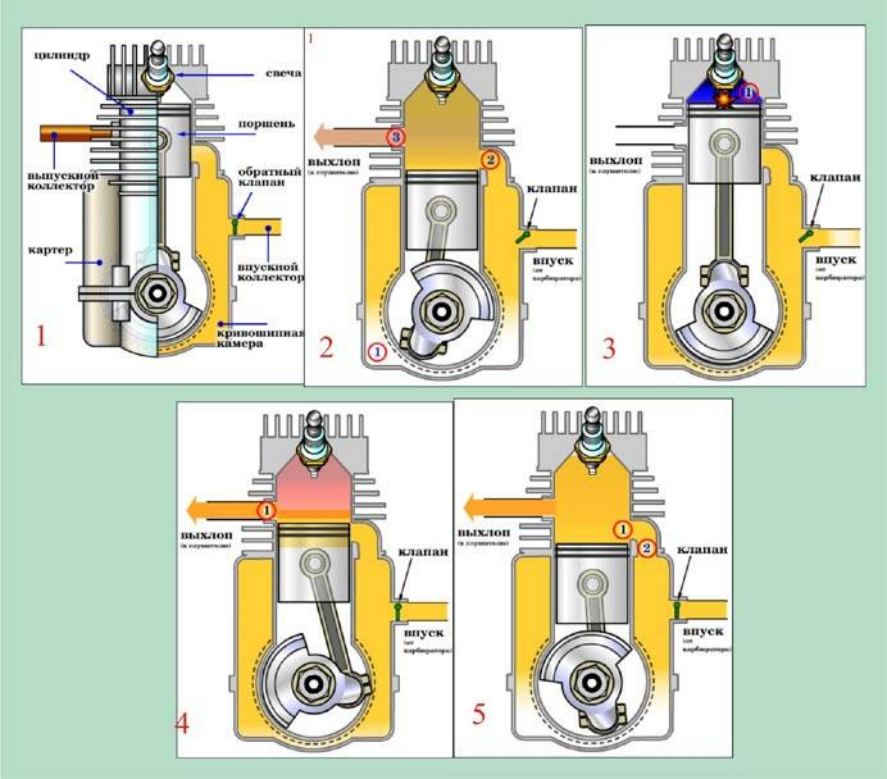


Рис. 3.120. Схема работы двухтактного двигателя

Во время такта сжатия (фрагмент 1) поршень перемещается из нижней мёртвой точки в верхнюю мёртвую точку, перекрывая вначале продувочное окно *2*, а затем и выпускное отверстие *3*. После перекрытия выпускного окна в цилиндре происходит сжатие поступившей до этого топливной смеси. Одновременно в кривошипной камере 1 (фрагмент 2) образуется разрежение и туда втягивается из карбюратора новая порция топливной смеси.

Такт рабочего хода характеризуется тем, что при положении поршня в районе ВМТ (фрагмент 3) сжатая топливная смесь воспламеняется электрической искрой.

Температура и давления в камере сгорания скачком увеличиваются, поршень с ускорением перемещается в НМТ, создавая по ходу высокое давление в кривошипной камере, т.е. сжимая присутствующую там топливную смесь.

Под действием повышающегося давления клапан закрывается, препятствуя попаданию горючей смеси в выпускной коллектор и в карбюратор. При достижении поршнем выпускного окна (фрагмент 4) оно открывается и начинается процесс эвакуации отработанных продуктов сгорания в атмосферу.

Затем поршень открывает продувочное окно (фрагмент 5). Давление в цилиндре понижается, что приводит к заполнению камеры сгорания новой порцией топливной смеси. Одновременно смесь вытесняет остатки предшествующей порции сгоревшей смеси. Далее цикл повторяется.

Таким образом, за один оборот коленчатого вала происходит полный цикл работы двигателя. Система опережения зажигания в двухтактных двигателях стала применяться сравнительно недавно, раньше угол опережения выставляли на оптимальные обороты.

В современных конструкциях двухтактных двигателей, так же как и в четырёхтактных машинах, устанавливаются электронные регуляторы, которые стали доступными благодаря невысокой стоимости элементной базы.

Двухколёсные самодвижущиеся экипажи, мотоциклы появились даже несколько раньше автомобилей потому, что подавляющее большинство конструкторов автомобилей начинали свою карьеру с двухколёсных машин.

Так, например, с Готлиб Даймлер в 1885 г. перед тем как построить первый автомобиль испытывал свои моторы на мотоциклах. Первый мотоцикл Даймлера был в основном деревянным (левый верхний фрагмент рис. 3.121), для устойчивости он имел два дополнительных колеса. Дело в том, что Даймлер не умел кататься на обычном велосипеде, поэтому ему было сложно удерживать равновесие.

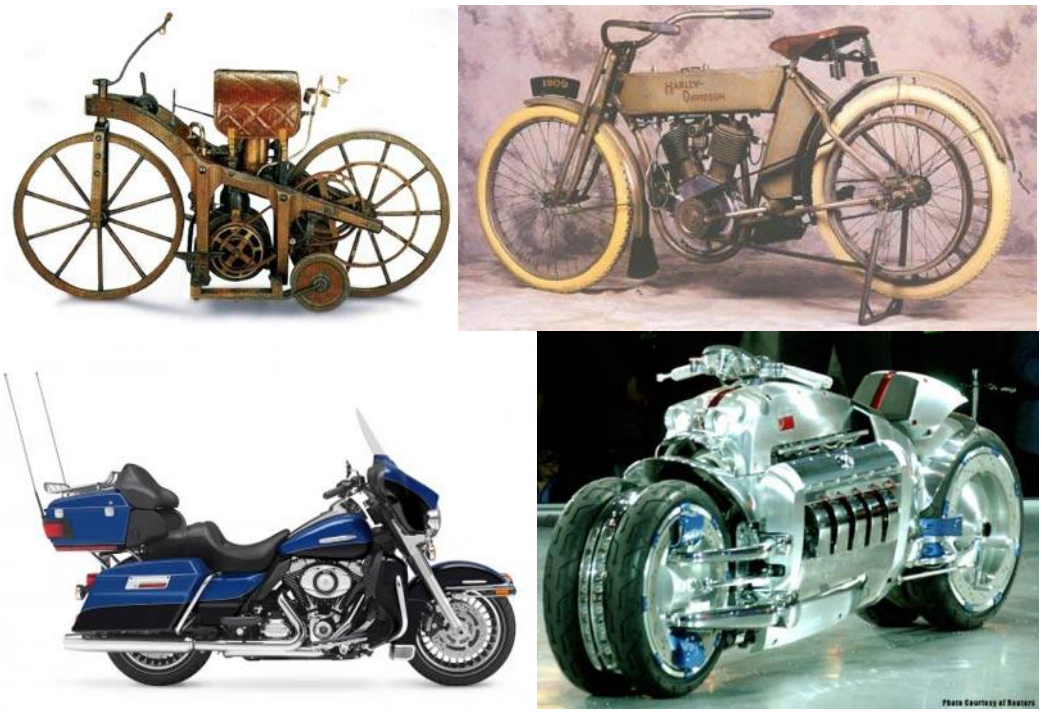


Рис.3.121. Эволюция мотоциклов

Двигатель располагался под сиденьем водителя и обладал мощностью 0,5 л.с., что позволяло развивать скорость до 12 км/час. В качестве топлива использовался бензин или керосин. Чтобы запустить мотор, нужно было предварительно паяльной лампой разогреть специальную калильную трубку, поместить её в камеру сгорания и ручкой раскрутить двигатель.

При благоприятном стечении обстоятельств, эта процедура укладывалась в минуту, не считая разогрева паяльной лампы.

Правый левый фрагмент посвящён одному из первых образцов мотоциклов знаменитой американской фирмы Harley-Davidson. Мощность, подаваемая на заднее ведущее колесо как и остановка машины, регулировалась натяжением приводного ремня.

На нижнем левом фрагменте показан современный мотоцикл этой фирмы.

Правый фрагмент нижнего ряда изображает образец японского мотоцикла планируемого к выпуску в ближайшие годы.

Распространение мотоциклов началось примерно в 1894 г., когда два инженера из германии Гильдебранд и Вольфмюллери французы, братья Вернеры начали выпускать лёгкие относительно недорогие машины, напоминающие по современным понятиям велосипеды с моторчиками (рис. 3.122).

Рис. 3.122. Лёгкий мотоцикл Гильдебранда и Вольфмюллера

В 1898 г. на рынок начали поступать мотоциклы конструкции чехов Лаурина и Клемента. Их машины уже снабжались электрическим воспламенением топливной смеси, мотоциклы были оборудованы магнето, представляющим собой механический генератор высоковольтных электрических импульсов.

Движение на заднее колесо по прежнему передавалось посредствам ремённой передачи. На производство мотоциклов, как и на все остальные образцы техники, наложила отпечаток Первая мировая война.

Она ещё не полностью стала войной моторов, но лёгкие средства передвижения требовались уже в изобилии. Разработка и строительство мотоциклов приобрели размах практически во всех странах Европы, участвовавших в войне. На трёхколёсных машинах размещали даже станковые пулемёты с расчетом в три бойца (рис. 3.123). Такие установки были маневренными и могли передвигаться достаточно скрытно.

Рис. 3.123. Пулемётный моторизованный расчет времён Первой мировой войны

Мотоциклы завоёвывали рынок транспортных средств благодаря своей относительной дешевизне и простоты эксплуатации. Массовое производство мотоциклов началось в XX в. во многих странах, включая и Россию, но наиболее преуспели воинственные немцы.

В 1922 г., используя огромный военный опыт эксплуатации двух и трёхколёсной мототехники в Германии фирмой «Расмуссен АГ» начал выпускаться мотоцикл ДКВ 140, который весил всего 46 кг и расходовал на 100 км не более трёх литров бензина (рис. 3.124).

Рис. 3.124. Мотоцикл ДКВ 140

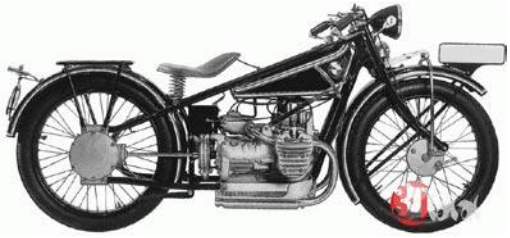


Рис. 3.125. Мотоцикл BMW R42

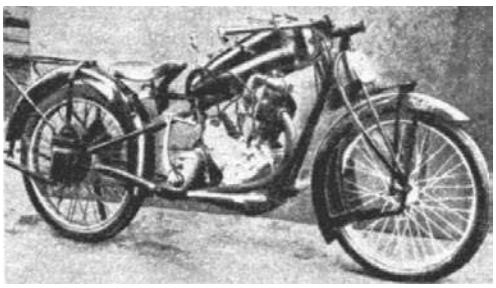


Рис. 3.126. Первый советский мотоцикл

Перед началом продаж ДКВ 140 совершил пробег по дорогам Германии, побывав, практически, во всех городах и городках. Реклама удалась. На дорогах с твёрдым покрытием (у тевтонов они были уже тогда) при стечении народа, пилоты ДКВ 140 демонстрировали его скоростные качества, разгоняя машину на твёрдых покрытиях до 65 км/час.

Небезызвестная немецкая компания BMW, занимавшаяся во время Первой мировой войны производством авиационных моторов в 1923 г. разработала и стала продавать мотоцикл R 42 (рис. 3.125), оснащённый двухцилиндровым нижнеклапанным двигателем мощностью 12 л.с., который развивал скорость до 95 км/час.

В Советском Союзе первые мотоциклы начали собирать в Москве на заводе «ОСАВИАХИМ» (рис. 3.126), конструкция которых была во многом заимствована у лучших иностранных образцов.

Значительной переделке, как правило, подвергалась ходовая часть, потому что условия отечественных дорог и их протяжённость налагали свои неумолимые условия. Машины по сравнению с иноземными аналогами получались тяжелее, но более приспособленными к бездорожью.

В двадцатых годах прошлого столетия в стране Советов мотоциклетное производство было организовано в Ижевске. На рис. 3.127 (левый фрагмент) показан первый тяжёлый ижевский одноцилиндровый мотоцикл с объёмом двигателя 503 см^3, который при массе 127 кг мог двигаться со скоростью до 70 км/час.

Перед началом Второй мировой войны в Таганроге на инструментальном заводе для военных был налажен выпуск мотоциклов ТИЗ-АМ 600 (правый фрагмент рис. 3.127) мощностью 16 л.с. с четырёхступенчатой коробкой передач.

Рис. 3.127. Первые ижевские и таганрогские мотоциклы

В послевоенное время мотоциклы стали основным средством передвижения населения СССР. Массово выпускались мотоциклы ИЖ 49 (рис. 3.128), многие, из которых дожили до наших дней. На «Ижиках» устанавливались двухтактные двигатели мощностью 14 – 18 л.с.

Рис. 3.128. Массовые отечественные мотоциклы

В г. Коврове в период с 1941 по 1951 гг. выпускались одноместные мотоциклы К 125 с одноцилиндровыми двухтактными двигателями объёмом 123,7 см^3 с трёхступенчатой коробкой передач, что позволяло развивать максимальную мощность 4,25 л.с. при скорости с водителем 70 км/час.

Завод в г. Минске выпускал одноцилиндровые мотоциклы М 105, прозванные в народе «козликами».

История мотоциклов «Урал», ставших наследниками знаменитого тяжёлого мотоцикла М 72 началась в военный 1941 г., когда из фронтовой Москвы в г. Ирбит был эвакуировано оборудование, на котором выпускались мотоциклы для военных. Во многом М 72 был похож на немецкую машину BMW R71.

В послевоенный период конструкция была существенно модернизирована. «Уралы» стали оснащать двухцилиндровыми двигателями объёмом 750 см^3 мощностью 45 л.с. Будучи изначально проектированным как военная машина, ирбитские мотоциклы отличались высокой проходимостью и непревзойдённой надёжностью. «Урал» единственный отечественный мотоцикл успешно конкурирующий с лучшими иностранными аналогами. Мотоциклы этой марки экспортируются в страны Северной и Южной Америки, в Азию и на ближний восток.

Автомобили стали массовым видом транспорта после того, как на них стали устанавливать двигатели внутреннего сгорания. Первым, кто это сделал в 1885 г.

был немецкий конструктор Карл Бенц. В конце января 1886 г. Бенц получил патент на свой автомобиль и продемонстрировал его возможности на Рингштрассе в г. Мангейме. Бенц снабдил свой первенец испытанным на мотоцикле двигателем, но более мощным, с объёмом единственного цилиндра 945 см^3. При максимальных 400 об/мин двигатель развивал мощность около 1 л.с. Весил двигатель не многим менее 100 кг (рис. 3.129).

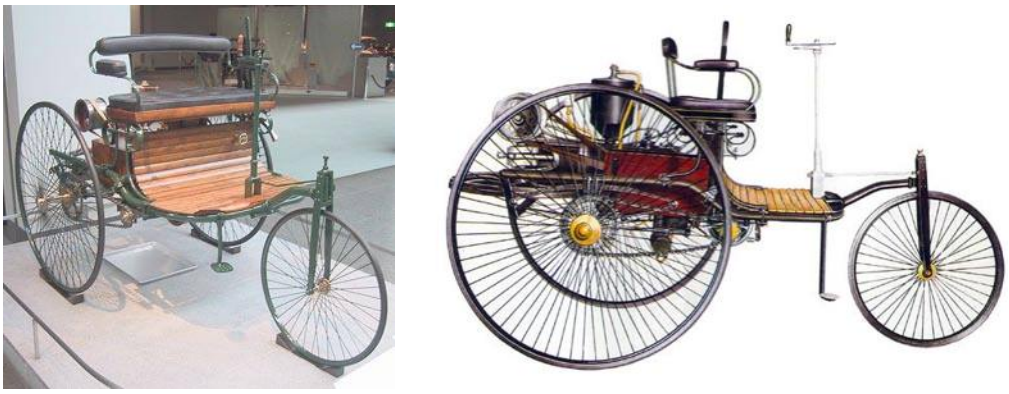


Рис. 3.129. Автомобиль Карла Бенца

В 1872 г. в компании Deutz начали свою автомобильную карьеру Готтлиб Даймлер, в качестве главного инженера и Вильгельм Майбах, в должности главного конструктора. Эти знаковые в автомобилестроении фигуры, осознали, что в массовое производство автомобилей станет возможным только при запуске в производство недорогого и надёжного двигателя.

Практически десять лет Даймлер и Майбах занимались усовершенствованием и выпуском двигателей внутреннего сгорания с электрическим воспламенением горючей смеси.По Европе разошлось более двух тысяч их моторов.

Рис. 3.130. Автомобиль Маркуса

Известно, что в 1875 г. Зигфрид Маркус построил автомобиль (рис. 3.130) с двигателем Отто, но кроме опытного образца дела дальше не пошли. Всё было дело в двигателе, вернее в светильном газе, который по-прежнему имел ограниченное распространение.

В 1862 г. француз Альфонсо Беа де Роша получил патент на четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания, который за шесть последующих лет буквально вытеснил с рынка двигатели Отто.

Даймлер и Майбах в 1882 г. покинули фирму Deutz и основали в Штутгарте свою собственную компанию. В 1883 г. уже от имени своей компании они представили на рынок относительно компактный двигатель весом всего около 80 кг (в те времена вес ДВС достигал 300 кг) мощностью 0,5 л.с.

Конечно, этот мотор мог использоваться только для очень лёгких повозок и мотоциклов. Тем не менее, усовершенствованный двигатель был размещён в корпусе и позиционировался, как автомобильный.

В это же время, в 1886 г. Бенц из Мангейма на базе своей компании «Бенц и К^0» наладил выпуск своих трёхколёсных экипажей. В 1890 г. было продано более 1900 лицензий на производство двигателей конструкции Даймлера. Знаменитый в

музыкальном мире Вильям Стенвей, выпускавший одни из лучших роялей, и тот по лицензии удовлетворял американские потребности в двигателях.

В 1883 г. компания «Бенс и К^0» начала выпускать автомобили «Виктория» с одноцилиндровым двигателем мощностью 3 л.с., в последствии мощность этого двигателя была за счёт улучшения системы охлаждения увеличена до 5 л.с.

«Виктория» стал первым автомобилем, выпускаемым в Германии серийно. С 1886 г. в Германии начали выпускать четырёхколёсный автомобиль Даймлера (рис. 3.131).

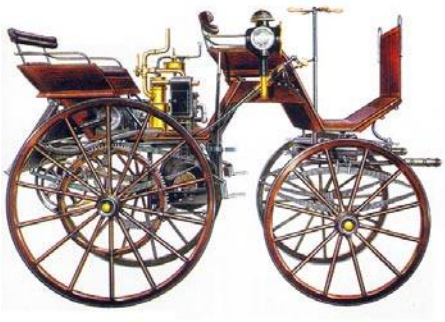


Рис. 3.131. Автомобиль Даймлера

В общей сложности к 1895 г. во Франции находилось в эксплуатации 350 авто, в Германии – 255 автомобилей. Так начиналась автомобильная экспансия. Автомобили с двигателями внутреннего сгорания начали стремительно вытеснять как реальные лошадиные силы, так и паровики.

Помимо личного транспорта в Европе конца XIX в. стало модным идти в ногу с прогрессом, т.е. летать на самолётах и дирижаблях и с ветерком (буквально до 20 км/час) проносится на четырехколесных транспортных средствах, снабжённых не натурализованными лошадиными силами, а двигателями внутреннего сгорания.

Зажиточные жители европейских столиц, а затем и городов Северной Америки могли позволить себе прокатиться на таксомоторе, который в сочетании с распространившимся уже телефоном существенно повысил мобильность населения.

Следом за таксомотором (рис. 3.132), который мог перевозить всего не более двух пассажиров, появились более вместительные экипажи (рис. 3.133).

Рис. 3.132. Первый таксомотор

Это произошло после запуска в производство, прежде всего, в Германии и Франции, четырёхтактных бензиновых двигателей мощностью более 5 л.с.

Первые автобусы (омнибусы) были удивительно похожими на каретные экипажи. Место откуда торчало дышло, у автобусов было занято фарой, а всё остальное, включая место возничего – шофёра, было мало отличимым.

Рис. 3.133. Первый омнибус с ДВС

Но это на первых порах, пока выпуск автомобильных комплектующих, прежде всего, двигателей не приняли промышленных масштабов. С начала XX в. началась эволюция, которая продолжается до настоящего времени. Конца ей пока не видать.

Динамику эволюционного автомобильного процесса рассмотрим на примере известной всем фирмы Мерседес, выпускающей в настоящее время одни из престижнейших авто.

Каждый уважающий себя президент, не говоря уже об олигархах и банкирах, почитают зачесть перемещать свои тела на машинах именно этой марки. И это не просто так, не дань моде. Это предпочтение более чем столетнему опыту и немецкой аккуратности, отягощённой самыми современными разработками во всех смежных с автомобилестроением областях человеческих знаний.

История этой автомобильной марки, как уже нами кратко обсуждалось, началась в середине позапрошлого века, когда Готлиб Даймлер разошёлся в стратегии развития двигателей с хозяином фирмы «Deutz» и сосредоточился на совершенствовании ДВС, питаемых не светильным газом, а жидкими сортами углеводородного топлива.

Даймлер сделал ставку на бензиновые двигатели внутреннего сгорания и в конечном счёте выиграл, по крупному. Правда технология производства бензина в последней трети XIX в. была несовершенной и затратной, но Готлиб был оптимистом и сеть забрасывал широко.

Желание создать совершенный бензиновый двигатель привело на целый год Даймлера в Россию, где он досконально изучал возможности добычи нефти и её переработки в подходящее для ДВС жидкое топливо.

Следует напомнить, что первое жидкое топливо получалось из угля, однако процесс был сложным и ещё более дорогим, чем получение при пиролизе светильного газа. Именно после возвращения из России Даймлер пригласил в фирму «Deutz» Вильгельма Майбаха, а затем эти два талантливейших и способных работать до самозабвения после организации собственного дела приступили к производству авто.

Первые экземпляры автомобилей были как и у всех в то время похожи на лошадные экипажи, но с двигателями внутреннего сгорания. Майбах внёс в работу компании свежую струю. Он в свободное от автомобильных забот время установил на лодку бензиновый двигатель. Лодка при испытаниях оказалась, по чистой случайности, на старте майнской регаты. Блюстители порядка на шлюпке решили разобраться с нарушителем спортивного порядка, однако их ждало разочарование. Майбах на своей моторной лодке легко избежал встречи с блюстителями порядка. Это была не запланированная, но весьма эффектная реклама сконструированного Майбахом и Даймлером мотора.

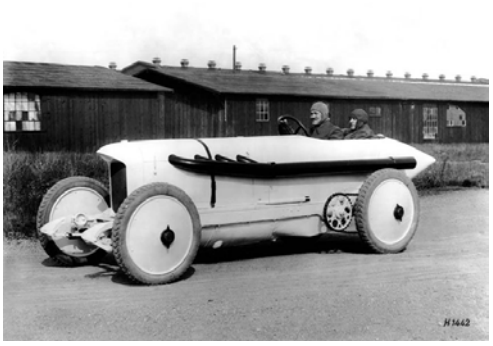


Рис. 3.134. «Блитцен Бенц», 1909 г.

К 1909 г. фирмами «Даймлер-Моторен-Гезелльшафт» и «Бенц», которые развивались параллельно, не мешая друг другу, по крупному на рынке продаж автомобилей, было выпущено много оригинальных конструкций автомобилей. Обе компании вполне благополучно развивались самостоятельно, из всех выпущенных моделей, самым известным стал спортивный болид «Блитцен Бенц», рекордсмен по мощности используемого двигателя внутреннего сгорания (рис. 3.134).

При фантастическом в те времена объёме 21594 см^3 двигатель развивал мощность 200 л.с. С момента начала в 1886 г. производства автомобилей фирма «Даймлер-Моторен-Гезелльшафт» до объединения в 1926 г с фирмой «Бенц» выпустила 47555 автомобилей, включая автобусы, таксомоторы и грузовики.

Начиная с 1901 г. поссовету главы представительства фирмы «Даймлер» во Франции автомобили начали называться именем дочери консула «Мерседес».

Первый «Мерседес – 35 PS» (рис.3.135) имел четырехцилиндровый двигатель объёмом 5913 см^3. Эта модель с модной в те времена внешностью претерпела несколько модернизаций, в частности «Мерседев Симплекс» (рис. 3.136), объём двигателя которого увеличился до 6785 см^3. Затем было освоено производство модели «Мерседес – 65 PS» с двигателем объёмом цилиндров 9235 см, он мог двигаться по шоссе со скоростью 90 км/чвс

Рис. 3.135. Мерседес 35 HP, 1902 г.

В 1923 г. на должность главного женера фирмы пришёл Фердинанд Порше. К этому времени конструкторской работой занялся сын Юлиуса Даймлера, Пауль Даймлер. Порше и младший Даймлер начали успешные эксперименты с компрессорами для наддува воздуха, что позволило в полтора раза увеличить мощности двигателей. В 1924 г. в продажу поступили новаторские автомобили «Мерседес-24/100/140PS» (рис. 3.137) с шестицилиндровыми двигателями объёмом 6240 см^3, которые развивали мощность до 140 л.с. К 1926 г. фирма «Даймлер-Моторен-Гезелльшафт» произвела в странах Европы 147961 автомобиль. Максимальное количество авто 24690 штук было выпущено в 1918 г.

Рис. 3.136. «Мерседес-Симплекс», 1904 г.

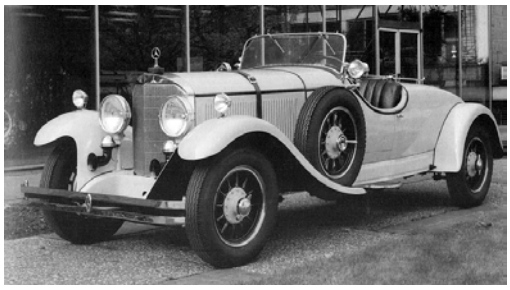


Рис. 3.137. «Мерседес-24/100/140», 1924 г.

После слияния компаний Фердинанд Порше усовершенствовал модели «Мерседес-24/100/140PS», которые стали продаваться под маркой «Мерседес-Бенц 630» (рис. 3.138). Мало того, что на таком Мерседесе рассекал Адольф Гитлер и другие высокопоставленные чиновники III Рейха, так эта модель ещё и открыла серию автомобилей класса S, потомки которой, кстати, продолжают выпускаться до настоящего времени.

Рис. 3.138. «Мерседес-Бенц 630», 1928 г.

В рамках серии S в 1928 г. была выпущена самая внушительная модель фирмы на то время, «Мерседес-Бенц 770» (рис. 3.139) с объёмом восьмицилиндрового двигателя 7655 см^3, который развивал мощность в 200 л.с. Такие шикарные Мерседесы заказывали главы государств, в частности на рис. 3.30 показан автомобиль японского императора Хирохито. Этот шедевр немецкого автопрома появился на базе более скромных моделей серии «Штутгарт 200», «Маннхайм 350» и «Нюрбург 460».

Рис. 3.139. «Мерседес-Бенц 770», 1928 г.

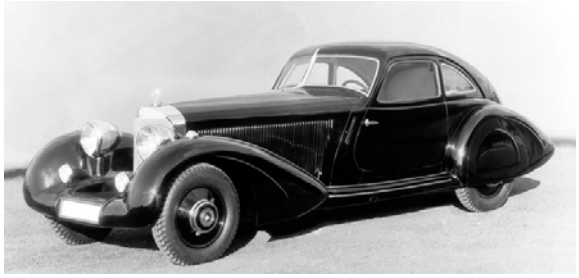


Рис. 3.140. «Мерседес-Бенц 540 К», 1934 г.

Фирма с 1933 г. начала параллельно с серийными моделями выполнять заказы на эксклюзивные образцы. На базе «Мерседес-Бенц 380» стали выпускать под заказ двухместные красавцы спортивного стиля «Мерседес-Бенц 540 К» (рис. 3.140)с восьмицилиндровыми двигателями различных внушительных объёмов.

С 1934 г. по 1939 г было построено всего 342 автомобиля. Это была ручная сборка, лужёный кузов 2 мм толщины, кожаный салон, одним словом – сплошной эксклюзив и роскошь.

Современное состояние Мерседеса общеизвестно. Эта один из самых передовых авто концернов. Но сейчас признанной знаменитости вовсю наступают на пятки азиатские тигры, особенно японские, которые берут автолюбителя если не шиком, то разумной экономичностью, привлекательными ценами и надёжностью, не уступающей немецкой.

Рис. 3.141. Знаменитая «Эмка», Газ – ММ

Рис. 3.142. Зис – 110

Отечественное автостроение во все времена большими успехами не отмечалось. Тому было несколько причин. Основная, из которых заключается в том, что сразу после революции и гражданской войны для индустриализации страны и вооружения армии требовалось скорейшее развитие тяжёлого машиностроения.

Не успела страна залечить раны революции и гражданской войны, как накатила Великая отечественная война со всеми своими требованиями к промышленности. Требовалось много простых и надёжных автомобилей.

И они были разработаны и выпускались в больших количествах. До войны на отечественных дорогах появился легковой автомобиль Газ – ММ (рис. 141), который вполне мог конкурировать с иностранными аналогами.

После войны выпускался вполне достойный автомобиль представительского класса Зис – 110.

3.9. Двигатель Рудольфа Дизеля

Не многие учёные и инженеры добиваются своей деятельностью того, чтобы их фамилия писалась с маленькой буквы.

Это происходит тогда, когда плоды их творчества, связанные с именем автора получают такое распространение, что люди постепенно забывают, что название предмета связано с конкретной фамилией.

Рис. 3.143. Рудольф Дизель

Многие современные люди, произнося распространённое слово «дизель» никак не связывают этот тип двигателя внутреннего сгорания с конкретным человеком. Действительно, дизель – это двигатель внутреннего сгорания, а его автор Рудольф Дизель (1858 – 1913 гг.) – знаменитый немецкий конструктор, увековечивший свою фамилию изобретенным им совершенно оригинальной конструкцией силового агрегата, получившего распространение не меньшее, чем обычные, карбюраторные двигатели внутреннего сгорания.

Рудольф Дизель получил добротное техническое образование, в начале в реальном училище, где был самым лучшим, а затем высшей политехнической школе г. Мюнхена. Талант Рудольфа и его феноменальная работоспособность были замечены профессором от термодинамики Карлом фон Линде, который занимался теорией тепловых двигателей и изобрёл на основании своих разработок «холодильник Линде». Профессор пригласил Дизеля на работу в должности директора парижского филиала своей фирмы, которая занималась, помимо прочего, усовершенствованием только что появившихся двигателей Николауса Августа Отто.

Дизелю было поручено заниматься абсорбционными двигателями, работающие на аммиаке. В свободное от основных занятий время, Дизель изобретал микро моторчики для швейных машин и гигантские силовые агрегаты, использующие солнечную энергию. Но мечтой юного Дизеля было создать такой двигатель, который бы переплюнул по КПД и удельной мощности лучшие образцы паровиков.

Рудольф Дизель к своей цели пошёл не совсем типичным для того времени путём (рис. 3.144). Большинство конструкторов поступало старым проверенным способом.

Рис. 3.144. Рудольф Дизель за работой

Строили опытный образец и методом многочисленных модернизаций доводили его до относительного совершенства. Рудольф же за советами обратился к трактату «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» незабвенного Сади Карно.

По учению Карно двигатель с максимально возможным КПД можно получить, увеличивая температуру рабочего тела быстрым сжатием. Когда же топливо вспыхнет, то желательно температуру продуктов сгорания некоторое время остав-

лять неизменной. Такое возможно только при одновременном сгорании топлива и расширении нагреваемых продуктов горения.

PATENT-URKUNDE

AUF GRUND DER ANGEHEFTETEN BESCHREIBUNG UND ZEICHNUNG IST DURCH BESCHLUSS DES KAISERLICHEN PATENTAMTES

an Rudolf Diesel, Ingenieur, in Berlin

EIN PATENT ERTHEILT WORDEN.

GEGENSTAND DES PATENTES IST:

Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungskraftmaschinen.

ANFANG DES PATENTES: 23. Februar 1892.

ZU URKUND DER ERTHEILUNG DES PATENTES IST DIESE AUSFERTIGUNG ERFOLGT.

Berlin, den 23. Februar 1893.

KAISERLICHES PATENTAMT.

Рис. 3.145. Патент на двигатель

В 1890 г. Дизель переехал в Берлин, где его осенило, как можно исполнить в современных двигателях завещание великого Карно: «Нужно вместо аммиака взять сжатый горячий воздух, впрыснуть в него распыленное топливо одновременно со сгоранием расширить его так, чтобы возможно больше тепла использовать для полезной работы».

Вот как полезно читать классиков, имея за плечами приличное инженерное образование. Оформив свои мысли в виде соответствующих слов, в 1892 г. Дизель получает патент на новый тип двигателя внутреннего сгорания и публикует его описание (рис. 3.145).

Рудольф понимал будущую значимость своего изобретения: «Моя идея, настолько опережает все, что создано в данной области до сих пор, что можно смело сказать – я первый в этом новом и наиважнейшем разделе техники на нашем маленьком земном шарике! Я иду впереди лучших умов человечества по обе стороны океана!».

Конструкция двигателя Рудольфа Дизеля, подкреплённая им же разработанной теорией вызвала у специалистов живой интерес. Как водится, все, ознакомившиеся с опусами Дизеля, разделились на два непримиримых лагеря.

Одни в идею верили, а другие, не менее авторитетные, считали её теоретически красивой, но, несбыточной мечтой. Для примирения нужен был работающий образец двигателя.

В течение 1893 г в г. Аугсбург под патронажем самого Дизеля были построены четыре варианта двигателей, из которых только последние два оказались работоспособными. Первый двигатель должен был использовать в качестве топлива мелкодисперсные частицы каменного угля, второй – светильный газ, а третий и четвёртый – жидкое топливо.

В феврале 1895 г. наконец появляется вполне работоспособный образец двигателя, в конструкции которого было водяное охлаждение и жидкое топливо впрыскивалось сжатым воздухом.

Интересно, что водяное охлаждение, вынужденно использованное в конструкции, было Дизелем очень изящно теоретически оправдано в докладе на съезде Союза германских инженеров: «Обращаю внимание на то, что эта машина работала без водяной рубашки и что, таким образом, была доказана возможность работать без водяного охлаждения, предусмотренная теоретически.

По практическим соображениям при дальнейших выполнениях машины была применена водяная охлаждающая рубашка, которая главным образом дает возможность получать при тех же размерах цилиндра большую работу.

На основании большого опыта, приобретенного на испытаниях, для меня стало совершенно ясно, что точка зрения, будто водяная рубашка при двигателях внутреннего сгорания является главным препятствием для достижения более высокой отдачи, – неправильна».

Официальные испытания аппарата (рис. 3.146) прошли в 1897 г. под руководством профессора М. Шретера. Двигатель конструкции инженера Р. Дизеля при расходе керосина 0,24 кг/л.с. достиг эффективного КПД $\eta \approx 0{,}26$. В те времена такого КПД не имел ни один из эксплуатирующихся двигателей. Работа мотора Р. Дизеля проходила тоже за традиционные четыре такта.

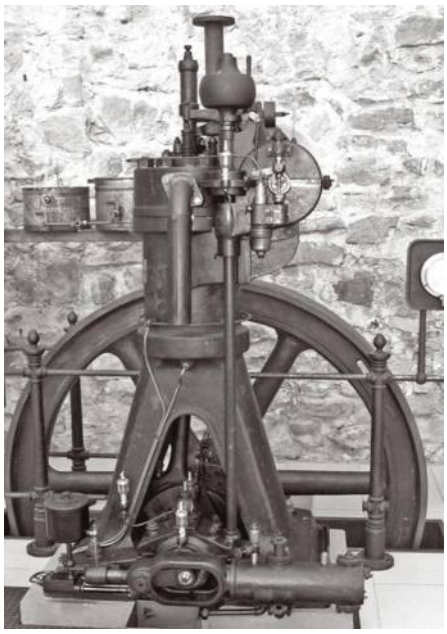


Рис. 3.146. Двигатель Р. Дизеля

1. Такт впуска. При движении поршня в цилиндре образуется разряжение и через воздушный фильтр в его полость поступает атмосферный воздух. При этом впускной клапан открыт.

2. Такт сжатия. Поршень движется, сжимая поступивший воздух. Для надежного воспламенения топлива необходимо, чтобы температура сжатого воздуха была выше температуры самовоспламенения топлива. Впускной и выпускной клапаны при этом закрыты.

3. Такт расширения (или рабочий ход). Впрыснутое в конце такта сжатия топливо, перемешиваясь с нагретым воздухом, воспламеняется, начинается процесс сгорания с быстрым повышением температуры и давления. В этот момент оба клапана закрыты. Под действием давления газов поршень перемещается, тем самым совершая полезную работу.

4. Такт выпуска. Поршень перемещается вверх, выталкивая в выпускной коллектор отработанные газы, температура которых снижается.

После завершения последнего такта рабочий цикл повторяется заново, в той же самой последовательности.

Следует отметить, что работа реального дизеля не соответствовала схеме, заявленной в патенте. Дизель заявлял постоянство температуры, так хотелось, а протекал процесс при постоянном давлении.

Тем не менее, первый практический дизель был создан в Аугсбурге в 1897 г. Одноцилиндровый агрегат с диаметром поршня 250 мм делал 172 об/мин и развивал мощность около 20 л.с., расходуя 0,258 кг сырой нефти на 1 л.с в час. КПД двигателя составил $\eta \approx 0{,}26$, что было практически в два раза больше, чем у лучших образцов паровых машин.

В 1989 г. Рудольф Дизель продемонстрировал возможности своего детища на технической выставке в Мюнхене, после чего за лицензиями на производство двигателей новой конструкции предприимчивые промышленники стали в очередь.

А далее случился скандал, потому, что построенные на разных заводах дизели не работали. В Германии репутация Дизеля стремительно сходила на нет. А дело оказалось в том, что все кто брался за изготовление дизельных двигателей, не располагали соответствующим станочным парком.

Детали новых моторов необходимо было изготавливать с большей точностью, чем аналогичные комплектующие паровиков. Кроме того особые требования предъявлялись к материалам, они должны были быть термостойкими.

Вместе с тем, за пределами Германии, были люди, готовые преодолеть технические и технологические трудности производства. Так, например, небезызвест-

ный Нобель, ознакомившись с проектом Дизеля, переориентировал свой петербургский машиностроительный завод на производство двигателей нового типа.

При непосредственном участии Альфреда Нобеля двигатель, принятый к производству был модернизирован системой внутреннего смесеобразования и в 1900 г. начал выпускаться. За год было построено 7 дизелей мощностью 30 и 40 л. с. Двигатели работали исправно.

Нобель наращивал производство. К 1912 г. на заводе работало более 1000 рабочих, которые вместе с инженерно-техническим персоналом выпускали 300 силовых агрегатов в год. Двигатели «Русского дизеля» исправно крутили динамомашины нескольких петербургских электростанций, приводили в движение насосы водозаборных станций и освещали Невский проспект.

В 1912 г. в американском Сент-Луисе случилась научно-практическая конференция, куда был приглашён и Рудольф Дизель с докладом. В частности Дизель развил такую мысль: «Изобретение. никогда не было лишь продуктом творческого воображения: оно представляет собой результат борьбы между отвлеченной мыслью и материальным миром... Изобретателем история техники считает не того, кто с той или иной степенью определенности высказывал раньше подобные же мысли и идеи, а того, кто осуществил свою идею, мелькнувшую, может быть, в уме множества других людей...».

А сказал Дизель это совсем не для красного словца. Если бы вариант двигателя с питанием каменноугольной пылью пошёл бы в серию, то этой сентенции бы не потребовалось. Шла полномасштабная энергетическая война, вернее её очередной всплеск. Воевали угольщики и нефтяники, воевали жестоко и неистово.

Вот между этими жерновами и попал Дизель со своим изобретением. В Германии, несмотря на очевидные преимущества нового типа двигателя, его и конструктора организованно травили. Профессор Людерс, нанятый угольщиками, разразился целым фолиантом на 236 стр. в котором «тепловой двигатель высокого сжатия» был представлен, как образец несовершенства, а сам Дизель был обвинён в научной, инженерной и технической безграмотности.

Промышленный шпионаж был развит и вначале XX в. Заказчики снабдили Людерса данными о всех неудачах, произошедших во время испытаний нового двигателя. Естественно, что мелкие конструкторские недоработки были возведены в книге в ранг принципиальных ошибок. Книга была написана в лучших традициях хулительно – разгромного чтива. Выход пасквиля Людерса ожидался в октябре 1913 г., а в ночь с 29 по 30 сентября Рудольф Дизель трагически погибает.

Некоторые биографы Дизеля считают, что это было самоубийство. Рудольф Дизель, по их мнению, предвидя новые войны за своё изобретение и пошатнувшиеся экономические дела, решил свести счёты с жизнью, прыгнув с высокого борта парома «Дрезден», который вёз пассажиров через пролив Ламанш из Антверпена в Харвич. Хотя этой версии гибели Дизеля придерживаются далеко не все исследователи биографии великого изобретателя.

Вполне обоснованной является версия о расправе над конструктором немецкой разведкой, которой стало известно, что Дизель собрался передать документы на новые образцы двигателей Англичанам. А Европа, как известно, стояла на пороге Первой мировой войны.

Через два дня устье Шельды флиссингенские рыбаки нашли труп хорошо одетого человека. Они подобрали плавающее в воде тело и направились к берегу. Внезапно поднялись ветровые волны. Рыбаки были недалёкими и суеверными людьми, хоть и жили не в Полинезии, в просвещенной Европе. Не раздумывая, они вернули тело волнам, и никто и никогда уже тело Рудольфа дизеля не видел.

Двигатели Рудольфа дизеля получали всё большее распространение по мере совершенствования станочного парка и внедрения новых термостойких материалов. С позиций КПД дизели, по сравнению с карбюраторными, имеют ряд преимуществ. Низкооборотные двигатели большого объёма могут иметь КПД до $\eta \approx 0{,}5$. Высокооборотные малогабаритные дизели нашли применение в автомобилях. Лидером в выпуске дизельных автомобилей стал концерн «Мерседес-Бенц», который освоил в 30 годах XX в. выпуск автомобилей всех классов (рис. 3.147).

Рис. 3.147. Дизельные автомобили марки «Мерседес – Бенц»

Весьма эффективными оказались дизели и на флоте, особенно на военном и ещё более особенно, на подводном флоте. Попыток создания подводных лодок, как эффективного наступательного и патрульного средства за историю флота было предпринято довольно много, однако лодки стали в первом приближении такими, как хотели моряки и военно-морские стратеги только с появлением на субмаринах дизельных двигателей.

Подводный ход лодок обеспечивался электрическими моторами, питаемыми от аккумуляторов. Такая схема движения могла работать ограниченное время, систематически требовалась подзарядка аккумуляторов. Нужна была силовая установка, которая бы крутила электрогенераторы. Как нельзя лучше для этих целей подошли дизели (рис.3.148).

Рис. 3.148. Лучшая в своём классе отечественная дизельная подводная лодка и её моторный отсек

Лодки прибавили в автономности, особенно при использовании, изобретенного пред последней мировой войной шноркеля (дыхательной трубы для подачи к дизелю воздуха из атмосферы). Подводные лодки могли, как правило ночами, подсвплывать на шноркельную глубину, запускать дизели, подзаряжать на ходу аккумуляторы, а с рассветом снова нырять в пучину и перемещаться глубоко под водой эклектическим ходом.

Современные дизельные подлодки создают гораздо меньше шума, чем атомные. Отечественная подводная лодка класса «Лада» оснащена воздушно-независимым двигателем. Специальные топливные элементы вырабатывают кислород для питания дизелей. Автономность таких лодок возрасла до 45 суток. В подводном положении, без всплытия лодка может проходить расстояние до 500 морских миль.

Вообще с определённого момента времени дизельные двигатели, как самые надёжные и достаточно эффективные стали неотъемлемым атрибутом армий и флотов всего мира. В сухопутных войсках у дизельных двигателей, особые заслуги, если можно так сказать о железе, в бронетанковых войсках.

Первыми в мировой практике дизельный двигатель БД-2 мощностью 400 л.с. был поставлен на Советский серийный средний танк Т-34, который по итогам XX в. специалистами разных стран был признан лучшим за историю Второй мировой войны. Появление дизеля на танке, кстати, многими специалистами было встречено без особого восторга.

Дизель не обеспечивал танку по шоссе скорости в 90 км/час, но со скоростью 40 км/час стальная машина могла двигаться, практически по любой пересечённой местности. и это стало её несомненным достоинством.

Кроме того, перед войной при запуске бензиновых танков должен был обязательно присутствовать пожарный наряд. Вспыхивали они часто, питались-то авиационными сортами бензина, да и двигатели стояли на танках почти авиационные.

А дизельный танк стал более неуязвим, непосредственное вспыхивание топлива свелось к минимуму. Танк Т-34 (рис. 3.149) стал самым знаменитым военным механизмом, практически во всех городах и посёлках эти танки ставили в качестве памятников.

Рис.3.149. Танки с дизельными двигателями, легендарный Т-34 и современный танк Т-90

В ноябре 2009 г. на военном параде участвовала целая колонна танков Т-34, некоторые из которых ещё участвовали в боях Великой Отечественной войны. Вот такую уникальную технику умели делать наши отцы и деды.

Когда у Уинстона Черчилля после войны спросили, какие виды оружия он считает самыми совершенными, он ответил: «Три. Английская пушка. Немецкий самолет «Мессершмитт». Русский танк Т-34. Однако, если в первых двух случаях мне понятно, как это было сделано, то я совершенно не понимаю, как появился такой танк…». Это признание многого стоит.

3.10. Роторный двигатель Феликса Ванкеля

Рассказ об этом удивительном во всех отношениях силовом агрегате уместно начать с описания промежуточного финала. В семидесятых годах прошлого столетия на автомобильные ранки Европы начала поступать малогабаритная модель легкового автомобиля Мазда RX-2, оборудованная не совсем обычным двигателем внутреннего сгорания.

Немецкие журналисты, тестировавшие новое японское детище были поражены до крайности, и это, заметьте в до нельзя амомобилизированной германии с вековыми традициями.

Неказистая, по понятиям любителей мерседесов и майбахов, машинка продемонстрировала темперамент гоночного болида. При оборотах приводного вала 5500 об/мин машинка легко разогналась по автобану до скорости 195 км/час. Подобная прыть у обычной малолитражки сама по себе удивительна даже для не специалистов.

А ещё странным было наблюдать такие гоночные качества и серийного экземпляра взятого наугад из фирменного автосалона. Всё дело оказалось в том, что под капотом у этого японского чуда был спрятан роторный двигатель, о котором так много спорили специалисты ведущих производителей автомобильных и иных двигателнй, склоняясь к невозможности реализации силового агрегата такой необычной коструккции(рис. 3.150).

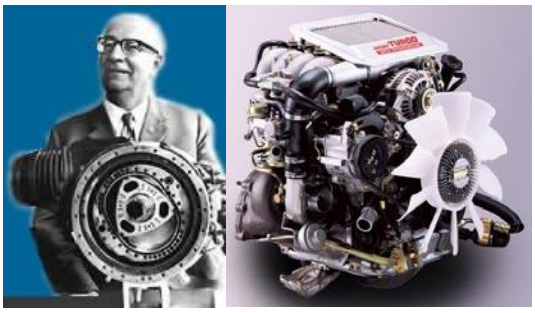


Рис. 3.150. Феликс Ванкель и его роторное чудо фирмы «Мазда»

Феликс Ванкель в 1929 г. получил патент на двигатель внутреннего сгорания без кривошипно-шатунного механизма и коленчатого вала. Как это часто бывает, патент не вызвал особого ажиотажа, хотя лицензию на производство роторных двигателей купили многие фирмы, более 20.

Одни для проверки работоспособности идеи в масштабах массового производства, другие, про запас, так сказать, на чёрные дни. До 1959 г. страстей по «ванкелю» практически не было, а если и были то на уровне коммерческих тайн. Специалисты фирмы НСУ заинтересовались роторным двигателем, но с практически обоснованной осторожностью. Требовалось установить его себестоимость, технологичность при массовом производстве, эксплуатационные характеристики.

Самым первым автомобилем с роторным двигателем стал германский NSU Wankel Spider, который в ограниченных масштабах выпускали с 1964 по 1967 год.

Интенсивные работы начали такие известные концерны как, Citroen, Daimler-Benz и Alfa-Romeo и конечно японские автогиганты.

Однако в серию моторы не пошли. Машины с роторными двигателями летали, как самолёты, но и топлива «кушали» тоже, как самолёты. Это обстоятельство не остановило только специалистов «Мазды», которые посчитали, что впечатлительный КПД и способность быстро разгонять машины перевешивают недостатки.

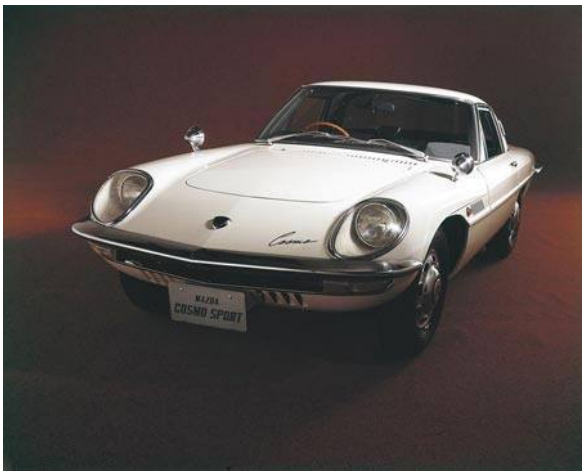


Рис. 3.151. Рроторная «Мазда Cosmo»

В 1963 г. на мотошоу в Токио роторный двигатель L8A, объёмом 798 см^3 дебютировал на автомобиле «Mazda Cosmo» (рис. 3.151), двигатель развивал максимальную мощность 110 л.с.

Чтобы доказать, что новые двигатели не уступают традиционным ДВС, в 1968 г. «Mazda» изготовила автомобиль «Cosmo» для 84 часовой непрерывной гонки Marathon de la Route, в которой участвовали все ведущие автомоюильные фирмы Европы и Северной Америки.

Выдержать всю гонку, уже было достижение, а «Mazda» не только не сошла с дистанции, но и умудрилась долететь до финиша четвёртой. На гоночном варианте «Cosmo» стоял двигатель Ванкеля объёмом 982 см^3, N = 130 л.с.

В 1991 г. автомобиль фирмы «Mazda» в 24 часовых гонках Ле-Мана занял первое место с двигателем мощностью 700 л.с. и объёмом 2,6 литра.

Рис. 3.151. «Mazda RX-8» с роторным двигателем

К настоящему времени «Mazda» сменила восемь поколений «роторов». На известной современной модели RX-8 (рис. 3.151) стоит 1,3 литровый роторный двигатель Renesis мощностью 250 л.с.

В 2004 и 2005 гг. этот мотор был признан лучшим автомобильным двигателем. На сегодняшний день Mazda является единственной корпорацией, массово выпускающей автомобили с роторными двигателями, в год продаётся более 200 тыс. таких машин. Успех японских специалистов вызван те только их удивительным динамично развивающимся научно-техническим уровнем, но и самим принципом действия роторных двигателей внутреннего сгорания.

В этом двигателе более чем на 40% меньше деталей, чем в обычном ДВС, и эти моторы на 20 % легче. Кроме того, двигатель великолепно уравновешен, в выхлопных газах содержится меньше окислов азота, а окись углерода и остатки продуктов сгорания легко нейтрализуются несложными устройствами. Современные японские роторные двигатели потребляют до 15 литров бензина на 100 км. Японские производители дают полную гарантию на пробег 100 тыс. км.

Главной особенностью роторного двигателя является использование поршня (ротора) особой формы (рис. 3.152), имеющего в профиль вид, так называемого, треугольника Рело, вписанного в построенные особым образом отрезки окружностей. Классика, друзья, классика – сплошная евклиловщина!

Поверхность цилиндра имеет тоже сложную эпитрохоидальную форму. Вот именно поэтому с 1929 г. идея Ванкеля так и не была реализована по серийной схеме, только в лаборатории.

Как известно, в обычном четырёхтактном поршневом ДВС один и тот же цилиндр используется для различных процессов: для впуска смеси, её сжатия, сгорания и выпуска.

Роторный двигатель позволяет осуществлять все эти процессы в разных частях статора (понятие цилиндра здесь во многом условное), т.е. в отдельной ограниченной ротором камере одного и того же статора.

Надо сказать, что идея непосредственного преобразования избыточного давления газа или пара во вращательное движение приводного вала занимала учёных, инженеров и техников давно, со времён появления первых паровиков.

Все понимали, что кривошипно-шатунный механизм усложняет конструкцию, ворует КПД и создаёт эксплуатационные сложности. Понимали, но мирились. Под рукой ничего лучшего не было, это было до Феликса Генриха Ванкеля (1902 – 1988 гг.), который совместил треугольник Рело с эпитрохоидой. Ещё раз подчеркнём гораздую полезность классического чтива для придумывания современных конструкций.

Совмещение треугольника Рело с эпитрохоидой позволило Ванкелю избежать возвратно-поступательного движения поршней. Давление, возникающее в различных частях статора и выпуклого треугольного ротора, приводит к появлению осевого вращательного момента. Таким образом, сгорание топливно-воздушной смеси приводит к вращению ротора, обеспечивая относительно беспрецедентную эффективность преобразования внутренней энергии углеводородного топлива.

Рис. 3.152. Форма ротора и статора роторного двигателя

Однако Сади Карно и в этом случае остаётся неумолимым. Как видно из нижнего фрагмента рис. 3.152 внутри ротора находится малая шестерёнка с внешними зубьями, которая жёстко соединена со статором. Шестерёнка с внутренними зубьями сопряжена с малой шестерёнкой, что задаёт траекторию вращения ротора. Ротор и приводной вал имеют некоторый эксцентриситет (оси вращения не совпадают), в течение одного оборота ротора приводной вал делает три оборота. Каждая из вершин трёхгранного ротора, двигаясь по эпитрохоидальной поверхности статора, отсекает переменные объёмы трёх камер, снабжённых клапанами.

Цикл двигателя Ванкеля (рис. 3.153) состоит тоже из четырёх тактов: такта впуска *1* (голубой сектор); такта сжатия *2* (зелёный сектор); такта рабочего хода *3* (красный сектор); такта выпуска продуктов сгорания (жёлтый цвет).

Приведенная схема позволяет, в принципе, реализовать любой четырёхтактный цикл, как Отто, так и Дизеля без использования специальных механизмов газораспределения.

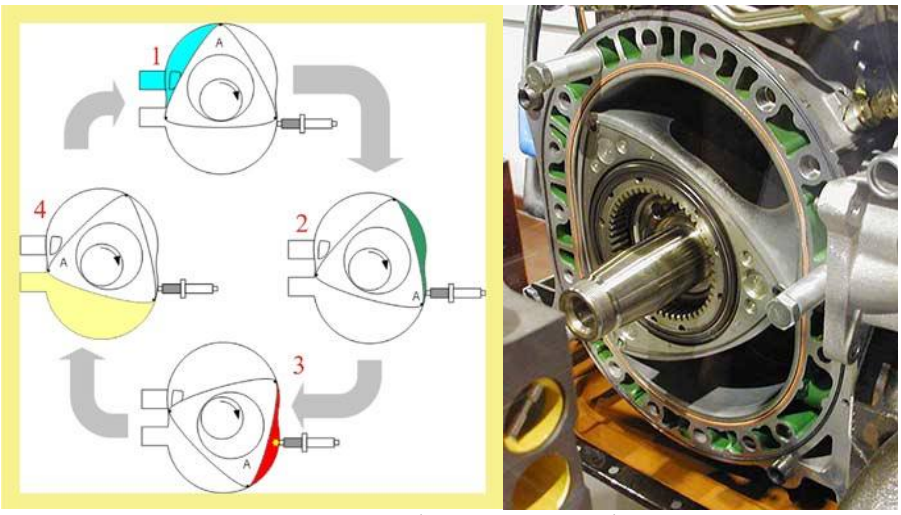


Рис. 3.153. Схема работы роторного двигателя

Роторный двигатель позволяет на низких передачах без излишней нагрузки на двигатель разгоняться до 100 км/час при оборотах приводного вала до 8000 об/мин. Роторные двигатели обладают высокими значениями удельной мощности вследствие малой массы основных частей двигателя.

Нет коленвала и шатунов, да и поршень – один. Однороторный двигатель превращает тепло в механическую работу в течение трёх четвертей каждого оборота приводного вала. Одноцилиндровый поршневой двигатель генерирует мощность только одну четверть периода.

Вместе с тем роторный двигатель не лишён принципиальных недостатков, это, прежде всего относится к температурному режиму камеры сгорания, которая имеет линзовидную конфигурацию, характеризующуюся при малом объёме относительно большой площадью поверхности.

При сгорании топлива основные потери обусловлены излучением, интенсивность которого пропорциональна по закону Стефана температуре в четвёртой степени. Сферические поверхности излучением нагреваются более других, что для двигателя чревато перегревами.

Но самая основная сложность при серийном производстве роторных двигателей заключается в обеспечении высокой точности и технологичности. Многие фирмы хотели бы выпускать роторные двигатели, но станочные и технологические трудности отпугивают их от реализации своих намерений, причём не по-детски.

С двигателем Ванкеля приключились те же протуберанцы, что и с двигателем Дизеля, который поначалу тоже мало кто мог изготавливать ввиду необходимости обеспечения высокой степени точности изготовления топливной аппаратуры.

Потом научились. Кроме легендарного ВАЗа все фирмы делают вполне приличные дизельные агрегаты. Так что, судя по урокам истории, у роторного двигателя всё ещё впереди. Идея-то уж больно хороша!

3.11. Ракетные двигатели

Прежде чем приступить к рассмотрению этого типа двигателей, уместно напомнить, что их появление обнаруживается в Древнем Китае, естественно без какого либо теоретического обоснования.

Любили в Древнем Китае фейерверки, вот и придумали наполнять бамбуковые, закрытые с одного конца, трубочки селитрой, древесным углем и веществами, дающими цвет.

Как минимум, до начала современного летоисчисления, по мнению официальной истории, китайцы любовались красочными полётами ракет.

Рис. 3.154. Стартует «Протон»

Современные ракетные двигатели (рис. 3.154) представляют собой квинтэссенцию вех научных, технологических и технических достижений человечества, потому как, основным их назначением изначально было исключительно военное (рис. 3.155), правда, калужский мечтатель Константин Эдуардович Циолковский, впервые предложивший схемы космических полётов, похоже, о военных приложениях не задумывался. Из романтиков от науки он был.

Рис. 3.155. Вернер фон Браун

А вот Вернер фон Браун и Сергей Петрович Королёв (рис. 3.56) были вынуждены создавать средства доставки боевых зарядов на территорию противника.

Непременно надо отметить, что современная стабильность в мире и автономность нашей Родины, несмотря на её полнейшую экономическую никчемность, возможны только потому, что стоят у нас в шахтах, на подводных лодках и несут боевое мобильное дежурство, пока самые надёжные, баллистические ракеты.

Рис. 3.156. С.П. Королёв

Космические объекты различного назначения, гражданского в том числе, выводятся на околоземные орбиты посредствам ракет-носителей. Теоретически задача о движении ракеты может быть представлена физической моделью материальной точки с переменной массы.

Такую задачу впервые решил в 1897 г. отечественный учёный Иван Всеволодович Мещерский (1859-1935 гг.). Им была впервые решена задача движения точки переменной массы в поле тяжести Земли.

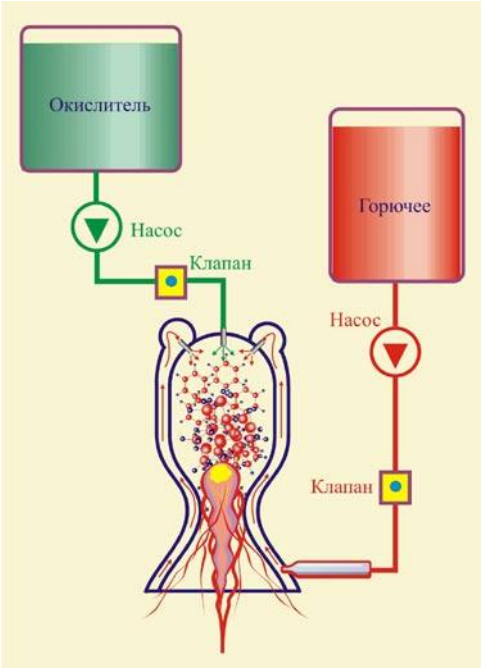


Рис. 3.157. Схема жидкостного ракетного двигателя (ЖРД)

Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) в качестве горючего используют керосин, спирт, гидразин, жидкий водород и т.п. горючие вещества более сложного химического состава.

Окислителем, как правило, служит жидкий кислород, азотная кислота, перекись водорода.

Горючее и окислитель помещаются в различных ёмкостях (рис. 3.157). Смесь горючего и окислителя называется ракетным топливом.

Всё кажется просто, создаётся впечатление, что ракетный двигатель проще всех ранее рассмотренных. Так то оно так, схема действительно проста аки амёба: два бака с жидкостями, два насоса, два клапана, да сопло похожее на лавалевское. Простота.

Это очень обманчивое представление. Из всех типов тепловых двигателей, ракетные были реализованы самыми последними, хотя их идея была известна, ох как давно. Дело в том, что элементы этой простой схемы и технология их взаимодействия в экстремальных условиях являются вершиной всех научно-технических достижений человечества.

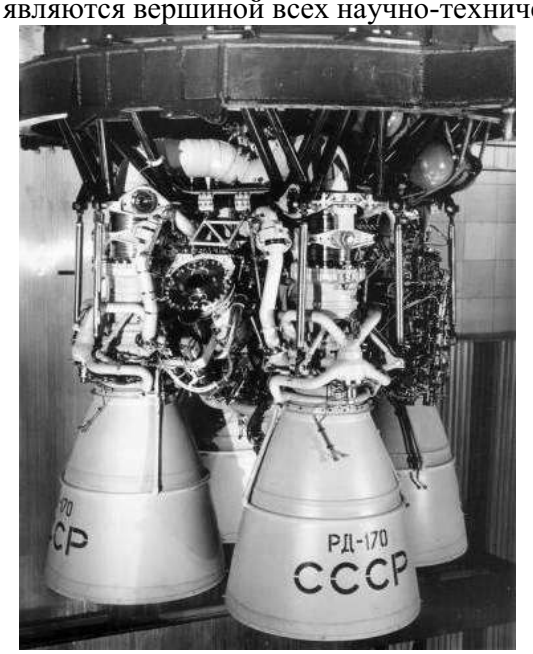


Рис. 3.158. Самый мощный в мире ракетный двигатель РД – 170

Горючее и окислитель раздельными насосами через клапаны распыливаются в головной части камеры сгорания форсунками, в хвостовой части камеры имеется особой формы раструб заканчивающийся соплом.

В реальных современных конструкциях ракетные двигатели используются в виде пакетов, состоящих из нескольких камер сгорания и сопел. Советские ракетные двигатели, например, РД – 170 имеют в пакете по четыре камеры сгорания (рис. 3.158).

В камерах сгорания двигателей температура поднимается до 5000 ^{0}К, это накладывает особые требования к материалам.

Камеры сгорания во время работы охлаждаются холодным топливом, температуру стенок удаётся понизить до 1000 ^{0}К.

Наиболее предпочтительными горючими являются химические элементы занимающие первые десять клеток в периодической таблице Д.И. Менделеева, кроме инертных газов, разумеется.

Эти химические элементы имеют минимальную молярную массу. Оптимальные сочетания горючего и окислителя могут образовывать ракетное топливо, позволяющее при его сгорании получить скорости истечения до $v_r \approx 5$ км/с.

В первых (нижних) ступенях ракет-носителей используются углеводородное горючее, как правило, производные керосинов, а в качестве окислителя – жидкий кислород.

Такие относительно доступные компоненты позволяют получить скорость истечения $v_r \approx 3$ км/с. Согласно теории, самые эффективное горючее с малой молярной массой и при создании в камере сгорания давления порядка сотен атмосфер могут обеспечивать скорость истечения более 4,5 км/с.

Рекорд принадлежит Советскому ракетному двигателю РД – 119, работавшему на несимметричном диметилгидразине и жидком кислороде. В этом двигателе была достигнута скорость истечения $v_r \approx 3{,}45$ км/с.

Ракетные двигатели на жидком водороде и фторе позволили отечественным разработчикам создавать устройства со скоростями истечения до 4,7 км/с. Однако жидкий фтор является чрезвычайно агрессивной жидкостью, для которой нужно создавать особые условия хранения и транспортировки. Использование в качестве горючего жидкого водорода требует низких температур, порядка – 253 ^{0}С.

В настоящее время в отечественной практике успешно применяются высококипящие топлива. На ракетном двигателе второй ступени ракет серии «Космос» РД – 219 (рис. 3.159) азотнокислотно-диметилгидразиновом топливе удалось получить очень высокие тяговые показатели.

Рис. 3.159. Двигатель РД – 219

Ракетные двигатели на твёрдом топливе (РДТТ). Твёрдое топливо в таких двигателях горит за счёт кислорода, содержащегося в самом топливе.

Твёрдотопливные двигатели имеют гораздо более простую конструкцию нежели ЖРД, не требуется насосов и раздельных баков для горючего и окислителя. Вместе с тем в твёрдотопливных двигателях труднее обеспечивать регулировку скорости сгорания топлива, однако хранение твёрдого топлива на борту ракеты проще, чет жидких компонентов.

Рис. 3.160. Твёрдотопливная ракета «Тополь - М»

В течение короткого времени работы, порядка сотни секунд, РДТТ способны сообщать ракете значительные ускорения. Двигатели такого типа находят применение в качестве первых стартовых ступеней (бустеров), особенно в беспилотных средствах, таких как Российская боевая ракета серии «Тополь» (рис. 3.160). Малогабаритные РДТТ используются в тормозных и ориентационных двигателях.

История твёрдотопливных двигателей берёт своё начало с пороховых ракет, когда о космосе, в общем-то, и не мечтали. Создание РДТТ тесным образом связано с изобретением в Древнем Китае и

Древней Индии пороха. Типичные, так называемые, чёрные пороха того времени состояли из 75 % нитрата калия KNO_3 (именуемого в простонародии калиевой селитрой), 15 % древесного угля и 10 % серы.

На протяжении не одного столетия твердотопливные ракеты переживали взлёты и падения популярности. Всё дело было в том, что при сгорании чёрного пороха выделялось небольшое количество по объёму пороховых газов, было невозможно получить высокие значения удельного импульса, отношения силы тяги к массе топлива, расходуемого в единицу времени.

Эта величина имеет размерность скорости и, практически, совпадает со скоростью истечения реактивной струи из сопла. Кроме того, конструктивно и технологически было затруднительно создавать пороховые заряды, которые бы горели дольше 1 – 3 с.

Другими словами порох взрывался, чем он и стал привлекателен для огнестрельного оружия. В конце XIX в. француз П. Вьель, швед А. Нобель и Д.И. Менделеев разработали независимо друг от друга, так, по крайней мере, принято считать, составы более эффективного бездымного пороха.

Коллоидный порох представлял собой твёрдый раствор органических веществ, сложных эфиров азотной кислоты. Например, раствор нитроцеллюлозы в нитроглицерине. Нитроцеллюлоза являлась окислителем, а нитроглицерин – горючим.

Бездымный порох получил распространение в ствольной артиллерии, потому что был энергетически эффективнее и не демаскировал стреляющие орудия.

Появление бездымного пороха инициировало идеи его применения в ракетах. В России 1895 г. Н. И. Кибальчич подал заявку, а в 1924 г. получил патент на летательный аппарат с двигателем, использующим в качестве топлива бездымный порох. В ходе экспериментов выяснилось, что артиллерийские пороха для ракет мало пригодны.

В артиллерии весь пороховой заряд практически мгновенно превращался в газ, создавая давление в сотни мегапаскалей, что и являлось причиной выбрасывания снаряда из ствола с большой начальной скоростью.

В ракетостроении же требовались пороховые шашки значительных размеров, время горения которых измерялось бы единицами секунд. Кроме того, было необходимо снизить давление продуктов сгорания и организовать их равномерный выход через срез сопла.

Создание зарядов для РДТТ в нашей стране было осуществлено в 1929 г. совместными усилиями сотрудников Ленинградской газодинамической лаборатории и Российского института прикладной химии.

Удалось наладить производство шашек диаметром до 40 мм. Эти разработки легли в основу создания знаменитого реактивного оружия времён Великой Отечественной Войны, реактивной установки БМ-13 и последующих систем ракетного залпового огня, включая самые современные (рис.3.161).

Рис. 3.161. Ракетная установка БМ-13, «Катюша» и система залпового огня "Смерч"

В середине прошлого века стараниями американских учёных, технологов и инженеров, появились ракетные твёрдые топлива на основе окислителя из кристаллических частиц перхлората калия ($KClO_4$) или аммония (NH_4ClO_4), которые равномерно распределялись в массе горючего полисульфидного синтетического каучука. Такая пастообразная смесь заправлялась в корпус двигателя и там в результате сложной реакции полимеризации превращалась в топливный элемент.

Такое топливо получило название смесевого. Синтетический каучук помимо роли горючего являлся своеобразным связующим элементом. При горении смесевые топлива инициировали давления в несколько мегапаскалей, что позволило снизить массу камер сгорания и упростить защиту от динамических и тепловых нагрузок.

Отечественные учёные и разработчики ракетных двигателей во все времена, в отличие от пресловутого автопрома, занимали ведущие мировые позиции.

Рис. 3.162. Ракета корабельного базирования П-120 «Малахит»

К примеру, ракета корабельного базирования П-120 «Малахит» (рис. 3.162) относится к классу крылатых ракет, она имела стартовую массу 3180 кг и максимальную дальность полёта 150 км по баллистической траектории со скоростью v ≈ M (1300 км/час). На ракете стоял универсальный стартовый твёрдотопливный агрегат, который позволял осуществлять запуски из подводного положения лодок. Ракетный двигатель состоял из двух твёрдотельных стартовых агрегатов и двух двигателей подводного движения, устанавливаемых дополнительно при размещении ракет на подводных лодках.

Ядерные ракетные двигатели (ЯРД). В настоящее время существует достаточное количество научных разработок ракетных двигателей с использованием энергии расщепляющихся атомных ядер. Непревзойдённо высокий уровень удельной ядерной энергии, которая выделяется из ядерного горючего в виде тепла, излучения в широком диапазоне частот и ударных волн, явился отличным стимулятором для разработчиков ракетной техники.

Естественно, что идеи использования ядерной энергии не заставили себя долго ждать. Одним из принципиальных недостатков ЖРД является практическая невозможность получения высоких, более 5 км/с скоростей истечения газовой струи.

В отличие от ЖРД в ядерных двигателях температура рабочего тела увеличивается не за счёт собственной химической энергии, а от постороннего внешнего источника ядерной реакции.

В ЯРД рабочее тело пропускается через реактор, подвергаясь интенсивному нагреву (рис. 3.163), а далее приобретя большую скорость, выбрасывается через сопло. В ЯРД отпадает необходимость в окислителе, т.е. они, по сути, однокомпонентные. В качестве рабочего тела, с точки

Рис. 3.163. Схема ядерного ракетного двигателя

зрения силовых показателей (удельной мощности двигателя), наилучшим образом подходит водород, затем следует аммиак, потом гидразин и вода.

Ядерные реакторы, используемые в ЯРД, бывают двух типов: деление ядер радиоактивного вещества и синтез ядер, например, когда из двух ядер водорода синтезируется одно ядро гелия.

В реальных ЯРД используются изотопные источники энергии, потому что у искусственно созданных ядерных топлив удельная массовая энергия выше, чем у естественных радиоактивных элементов с максимальной степенью очистки.

Удельная массовая энергия изотопов существенно превосходит этот параметр самых современных химических топлив, лучшие из них, например бериллий с кислородом обладает удельной массовой энергией $3 \cdot 10^4$ кДж/кг, а Po^{210} – $5 \cdot 10^8$ кДж/кг. Заманчиво, но применять двигатели на таком топливе в современных условиях нецелесообразно по вполне экономическим мотивам.

Производство изотопов обходится очень дорого. Кроме того изотоп выделяет энергию постоянно, даже на этапах его производства и транспортировки, её приходится экранировать очень не дешёвыми способами.

Более рационально использование топлив на основе урана: U^{233}, U^{235}, U^{238}, Pu^{239}. В сочетании с такими видами ядерного топлива возможны применения в качестве рабочего тела спиртов, жидкого водорода, аммиака.

ЯРД по-видимому не скоро станут применяться на пилотируемых ракетах, т.к. технические сложности, возникающие при создании защитных устройств экипажа нивелируют все преимущества ЯРД.

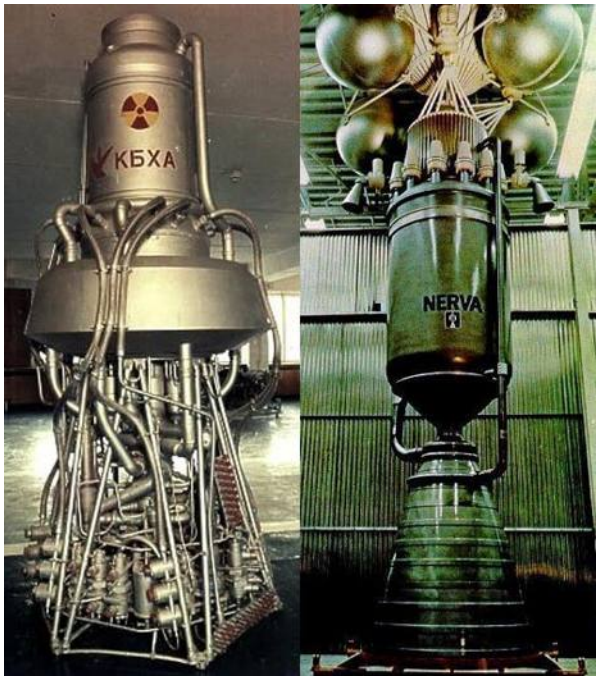


Рис. 3.162. Отечественный ядерный двигатель РД-410 и американский аналог – Nerva

ЯРД были разработаны как в СССР, так в США, причём отечественный двигатель РД-140 по ряду параметров, как стало известно гораздо позже времени их создания, превосходил американский аналог (рис. 3.164). Но как у нас, так и у американцев дальше стендовых испытаний дело не пошло, правда, по разным причинам.

Американцы, предположительно не разглядели перспектив, а у нас, просто прекратили финансирование. Перестройка началась у нас, а потом и модернизация с капитализацией подоспели, не до ракет стало.

Вместе с тем, теоретические работы и конструкторские проработки ЯРД, до недавнего времени в партизанском режиме всё-таки велись. Не могут серьёзные ученые, занимавшиеся всю сознательную жизнь созданием ракетных двигателей, в одночасье по велению новых кремлевских сидельцев прекратить заниматься любимым делом и переквалифицироваться в ларечники.

Работы по созданию ЯРД в Советском Союзе и США велись по радикально разным методикам. Американцы, как обычно рванули нахрапом, буквально, на

пролом. Ими сразу начал создаваться двигатель целиком, начиная с реактора и заканчивая индивидуальными средствами защиты. Денег у америкосов было не меряно. Учёная и инженерная братия не задумывалась об их экономии и рациональном использовании.

В СССР ситуация была иной, разработчики были ограничены выделенными лимитами, поэтому были вынуждены вначале шибко думать, а потом уже вваливать рублики в реализацию проектов. И это принесло результаты.

Наши учёные не стали делать дорогущую полномасштабную модель. Изготавливали отдельные агрегаты и испытывали на специально созданном для этих целей импульсным графитовом реакторе (ИРГ). Реактор обеспечивал нейтронные потоки нужной интенсивности, можно было моделировать реальные процессы в широких пределах нагрузок. Когда двигатель РД-410 был собран, то на испытаниях продемонстрировал параметры, близкие к расчетным.

В восьмидесятых годах прошлого века в СССР начались работы по созданию газофазного ЯРД который в проекте выглядел весьма перспективным. Так, например расчётная скорость истечения газа в срезе сопла должна составлять 35 – 40 км/с, что в более чем восемь раз больше, чем у лучших образцов ЖРД. Ничего подобного в мире ещё даже не проектировали.

На конечной стадии, когда двигатель был готов к испытаниям, финансирование, как водится в нашей стране, с якобы рыночной экономикой, прекратилось. Началась приватизация. Руководителям державы стало не до междупланетных полётов, надо было делить социалистическое наследие. А у конструкторов и учёных в стадии моделирования находился ещё один газофазный ЯРД с расчётной скоростью истечения газов 70 км/с. Тоже не нашлось денег.

В вопросах финансирования различных отраслей промышленности в предшествующие 20 лет, (последние годы пока рано анализировать) просматривается определённая негативная тенденция.

Те отрасли знаний и промышленности, где наша страна являлись абсолютным лидером, не финансировались вообще. Яркий пример тому программа «Буран», о которой мы скажем несколько слов позже.

Первыми в новой России, кому перестали платить зарплату, были научные сотрудники, инженеры, техники и рабочие предприятий, занятых разработкой подводного оружия, где наши успехи были особенно впечатляющи. Затем настала очередь ядерщиков и всех прочих «ящиков». Только в последние два, три года, о престиже страны, хотя бы заговорили с высоких трибун.

В заключение рассмотрим заглавные, на наш взгляд, триумфальные достижения отечественного ракетного двигателестроения, утвердившие нашу Родину на передовых позициях в освоении космического околоземного пространства.

Искусственный спутник Земли. В далёком 1957 г. в начале октября весь мир вначале оцепенел, а потом вздрогнул в изумлении.

В СССР на околоземную круговую орбиту 4 октября 1957 года в 22 ч 28 мин по московскому времени ракетоносителем 8К7ПС был выведен первый в мире искусственный спутник нашей планеты (рис. 3.163).

Рис. 3.163. Первый искусственный спутник Земли

Главным конструктором проекта был Сергей Павлович Королёв, который руководил разработкой и созданием межконтинентальных баллистических ракет, предназначенных

для доставки боевых зарядов в любую точку земного шара. Присутствуя на некоторых заседаниях президиума Академии наук СССР и сотрудничая по долгу службы со многими ведущими учёными страны, С.П. Королёв осознал будущую роль искусственных спутников Земли в жизни цивилизации.

Имея к тому времени в проекте и макетировании самую мощную в мире ракету, приводимую в движение жидкостными ракетными двигателями РД 448 (рис. 3.164), главный конструктор уверился в возможности выведения на орбиту, для начала искусственного тела, а затем и человека.

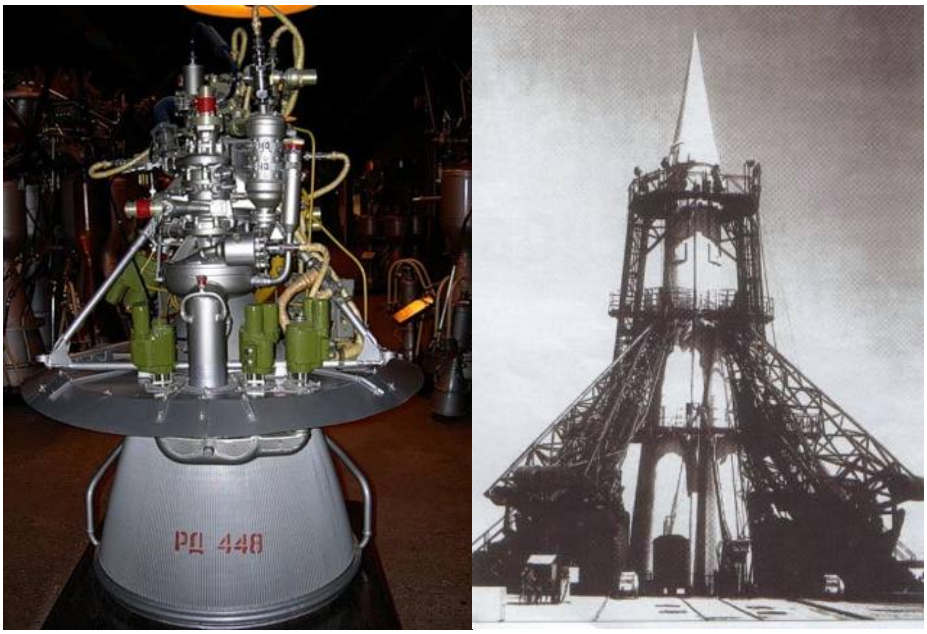


Рис. 3.164. Двигатель РД 448 и ракетоноситель 8К7ПС перед стартом с Байконура

В мае 1954 г. Королёв через министра обороны Устинова Д.Ф. обратился в правительство предложением о запуске ИСЗ. В частности, в письме обращалось внимание на то что: «ИСЗ есть неизбежный этап на пути развития ракетной техники, после которого станут возможными межпланетные сообщения».

При обсуждении предложения в правительстве нашлись и противники затеи. Военные выказывали озабоченность сроками создания боевых ракет. По их мнению, занятие «гражданским космосом» могло отвлечь силы и средства от оборонных заказов. Однако 30 января 1956 г. постановление об ИСЗ было принято, идея Королёва обрела государственный статус.

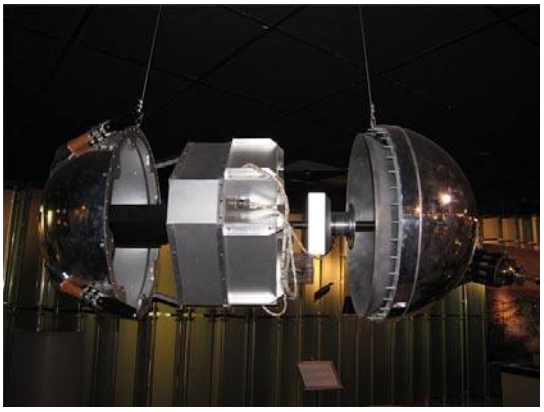


Рис. 3.165. Устройство спутника

Простейший спутник ПС-1 представлял собой контейнер из двух полусферических оболочек диаметром 580 мм со стыковочными шпангоутами, соединёнными болтами. Внутренность контейнера после начинки аппаратурой заполнялась осушенных азотом под давлением 1,3 атм (рис. 3.165).

В верхней части полуоболочки располагались две радиоантенны длиной по 2,4 м, и две – длиной по 3,9 м, на разные диапазоны длин волн. На спутнике был установлен радиопередатчик

мощностью 1 Вт, который излучал сигналы длительностью 0,4 с попеременно в диапазоне длин волн 7,5 и 15 м. Источники бесперебойного питания были рассчитаны на две недели. Общая масса ПС-1 составляла 83,6 кг. Параллельно с разработкой, изготовлением и подготовкой спутника шла работа по трансформации боевой ракеты Р-7 для доставки на орбиту ПС-1.

Первый образец межконтинентальной баллистической боевой ракеты Р-7 появился на испытательном полигоне в марте 1957 г. В заправленном состоянии масса ракеты составляла 280 т, головная часть с имитатором полезного груза – 5,5 т.

Масса заправляемых компонентов (жидкий кислород, керосин, перекись водорода, сжатый азот) была равна 253 т. Впервые в мировой практике на одном носителе использовались одновременно 5 блоков двигателей, каждый из которых состоял из четырёх ракетных двигателей РД-448.

Ракету, таким образом, должны были разгонять 20 слаженно работающих двигателей. Чтобы обеспечить устойчивость изделия при таком количестве источников тяги была нужна сложная и разветвлённая с неоднократным дублированием система управления двигателями, интегрированная в навигационную систему управления полётом ракеты.

Первый пуск Р-7 состоялся 15 мая 1957 г. Старт прошёл в штатном режиме, управляемый полёт продолжался до 98 с, когда без команды выключился один из блоков двигателя и самопроизвольно отделился от ракеты, которая из-за возникшей не симметрии тяги потеряла устойчивость и на борту прошла команда выключения всех двигателей.

Ракета упала на расстоянии 300 км от старта. Такой ход событий считался вполне успешным для первого старта такого сложного изделия. Ракета со старта ушла, красиво ушла, пусковые сооружения остались целыми, на самом важном участке траектории ракета вела себя штатно.

При обработке телеметрической информации выяснилось, что причиной самопроизвольного отключения одного блока двигателей стал пожар, возникший вследствие нарушения герметичности в керосиновой коммуникации высокого давления.

Второй экземпляр ракеты со старта не ушёл, в одном из блоков двигателей перемерзал кислородный клапан. Ракету сняли со стартового стола и вернули в ангар. Третий запуск состоялся, ракета со старта ушла, но начала отклоняться от курса, на 33 с полёта один из пакетов развалился и фрагменты ракеты упали в степь.

Причиной было короткое замыкание в одном из блоков управления. Четвёртый вариант ракеты стартанул благополучно, достиг заданной высоты, над заданным районном, над Камчаткой, вошёл в плотные слои атмосферы и исчез навсегда. Термодинамические нагрузки превысили все ожидаемые учёными и конструкторами, теплозащитное покрытие имитатора полезного груза не выдержало.

Несмотря на такой финал 27 августа 1957 г. ТАСС опубликовало официальное сообщение: «В Советском Союзе осуществлен запуск сверхдальней межконтинентальной многоступенчатой баллистической ракеты. Имеется возможность пуска ракет в любой район Земного шара». Носитель, в принципе, был готов.

Неудачи с доставкой полезного груза не остановили работы по спутнику, ему-то теплоизоляционное покрытие было не нужно. Королёв получил согласие Н.С. Хрущёва на запуск спутника.

После старта, через 295,4 с спутник и центральный блок ракеты вышли на круговую орбиту. Впервые в мировой практике была достигнута первая космическая скорость 7780 м/с.

Уже поле того, как весь мир услышал знаменитые «бип-бип-бип», выяснилось, что во время полёта на борту ракеты возникали нештатные ситуации. Один из двигателей бокового блока включился на 1 с позже нужного времени, а один из четырёх двигателей центрального блока выключился на секунду раньше положенного. Эти неполадки показали, что носитель имеет запас по мощности и может выводить на орбиту более массивные объекты.

После совершенно неожиданного для американцев запуска спутника министр обороны США заявил: «Победа в войне с СССР более не достижима». А спутник пробыл на орбите 92 суток, совершив за это время 1440 обратов. Спутник могли наблюдать жители нашей планеты невооружённым глазом как яркую звезду. И как прав оказался С.П. Королёв. Заменив ядерную боеголовку маленьким спутником, наша страна одержала огромную политическую и общечеловеческую победу.

Запуск первого космонавта. Американцы в новейшей своей истории три раза пересматривали систему своего школьного и университетского физико-математического образования. Первый раз, когда в СССР, тоже совершенно в незапланированные Пентагоном сроки, была взорвана первая атомная бомба. Второй раз, после запуска первого искусственного спутника Земли, и в третий раз после пребывания на орбите первого в мире космонавта Ю.А. Гагарина.

Рис. 3.166. Первая в мире

Если говорить точно, то первым живым существом, отправленным на орбиту Земли, была дворняжка «Лайка», которая умерла в космосе от стресса и перегрева (рис. 3.66). Заслуга этого человеческого друга перед человечеством была настолько велика, что на территории военно-медицинского института ей был установлен памятник (рис. 3.167) и её имя помещено на гранитную плиту с фамилиями погибших космонавтов на Байконуре.

Рис. 3.167. Памятник Лайке

Впервые на Землю из орбитального космического полёта в августе 1960 г. вернулись два других космонавта, собаки Белка и Стрелка (рис. 3.168). Генеральная репетиция возвращаемого полёта была проведена на корабле «Восток» с экипажем в составе собаки Звёздочки и манекена пилота «Ивана Ивановича».

Звёздочка вернулась живой и невредимой после полного витка вокруг Земли, а «пилот» в приземном пространстве был катапультирован и спущен на парашюте.

На конференции в Академии наук, куда были приглашены, в том числе и иностранные корреспонденты, центром внимания стала Звёздочка. Никто из журналистов не обратил внимание на сидящего в первом ряду молодого офицера Юрия Алексеевича Гарина.

Всего с июля 1951-го по сентябрь 1962-го состоялось 29 стартов собачьих экипажей в стратосферу на высоту 100-150 километров. Восемь из них закончились неудачами. Собаки гибли от разгерметизации ка-

бины, отказа парашютной системы, неполадок в системе жизнеобеспечения. Но эти жертвы не были напрасными. Отрабатывались системы жизнеобеспечения корабля.

Собачья космическая атака заставила американцев торопиться, они не располагали в то время таким мощным носителем как Р-7, поэтому развивали свою программу «Прыжок блохи».

Рис. 3.168. Стрелка и Белка

Капсула с лётчиком, космонавтом его можно считать только условно, поднималась на некоторую пограничную с атмосферой высоту и тут же начинала спуск, а затем и приводнение.

По сообщениям американцев их первый космонавт находился вне пределов атмосферы менее 10 минут, как первые отечественные собачки. После собак, перед пилотируемым полётом было совершено пять успешных тренировочных стартов беспилотных кораблей «Восток» с «Иваном Ивановичем» на борту. Отрабатывались вероятные внештатные ситуации.

Рис. 3.169. Первый космонавт Юрий Гагарин

Наконец, когда все элементы полёта были успешно отработаны, 12 апреля 1961 года, стартовав с космодрома Байконур, корабль «Восток» (рис. 3.170) с человеком на борту совершил один полный виток вокруг Земли и приземлился в заданном районе.

Пилотировал корабль Юрий Алексеевич Гагарин. Первый в мире космонавт.

Все двигатели ракетоносителя отработали в штатном режиме, без сбоев и корректировок. Всё прошло настолько гладко, что на одном из послеполётных банкетов Юрий Алексеевич по поводу хода полёта, пошутил: «Так до конца и не понял, кто я? Первый космонавт – человек или последняя собака – космонавт».

Рис. 3.170. На стартовый стол

Это конечно шутка, но, как и во всякой шутке есть серьёзность. Полёт Гагарина стал вершиной той огромной научно-технической и производственной пирамиды, которую в течение более чем пятнадцати лет строил огромный коллектив, во главе которого стояли выдающиеся учёные, конструкторы, хозяйственники, испытатели и космонавты, включая обычных московских дворняжек. Они тоже наряду с людьми прокладывали своими жизнями дорогу человечеству в космос.

Рис. 3.171. «Энергия» и «Буран»

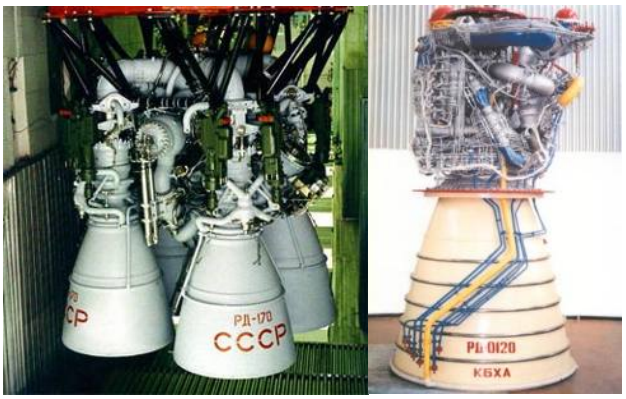


Рис.3.172. Двигатели первой и второй ступени «Энергии» РД – 170 и РД – 0120

Программа «Энергия – Буран». А теперь о грустном. О не состоявшейся в полном объёме программе полётов отечественных многоразовых космических аппаратов «Буран» и универсальном ракетоносителе «Энергия» (рис. 3.171).

В 1965 г. в Советском Союзе велись работы по созданию ядерных ракетных двигателей РД – 0410 и РД – 0411, в которых рабочим телом являлся водород. После принятия правительством в 1976 г. решения о развёртывании программы создания многоразовых космических кораблей наряду с ядерными двигателями началась работа над двигателем РД – 0120 (рис. 3.172), который предназначался для носителя «Энергия», нужного для вывода на орбиту больших масс.

В процессе проектирования широко использовался опыт, накопленный при реализации ядерных двигателей. Были заимствованы системы питания двигателей жидким водородом.

Расчетная мощность ракеты должна была составлять $1{,}7 \cdot 10^8$ л.с. Реальная мощность, измеренная при испытаниях, была даже несколько выше.

«Энергия» была двухступенчатой ракетой с «пакетным» расположением двигателей, достаточно хорошо отработанным на носителях «Восток» и «Союз». В параллель были включены четыре кислородно-керосиновых блока первой ступени, расположенных вокруг центрального кислородно-водородного ракетного блока второй ступени с ассиметричным расположением полезного груза.

Такая компоновка позволила «Энергии» быть более универсальным носителем, способным выводить на околоземную орбиту объекты, масса **которых превышала 100 т**.

В частности это мог быть многоразовый орбитальный корабль «Буран» или крупногабаритные космические аппараты иного назначения. Именно в этом заключалось принципиальное отличие РН «Энергия» от американской системы «Space Shuttle» (рис. 3.173), силовой основой которого являлся не центральный двигательный блок, а подвесной топливный отсек.

Американский носитель не может быть использован без орбитального корабля, на котором установлены маршевые кислородно-водородные ЖРД. На обычных американские «шаттлах» по сути, нет ракеты, корабль крепится к огромному топ-

ливному баку, который составляет силовую основу конструкции, а в движение приводят ее двигатели самого корабля.

Стартовая масса «Энергии» составляла 2400 т. Каждый блок первой ступени был оборудован четырьмя ЖРД (РД – 170), работающих на жидком кислородном окислителе и углеводородном горючем.

Первая ступень развивала тягу около 740 т. у поверхности Земли и 806 т. – в безвоздушном пространстве.

Вторая ступень разгонялась четырьмя однокамерными ЖРД (РД – 0120) с тягой каждого у поверхности Земли по 148 т. и по 200 т. в пустоте.

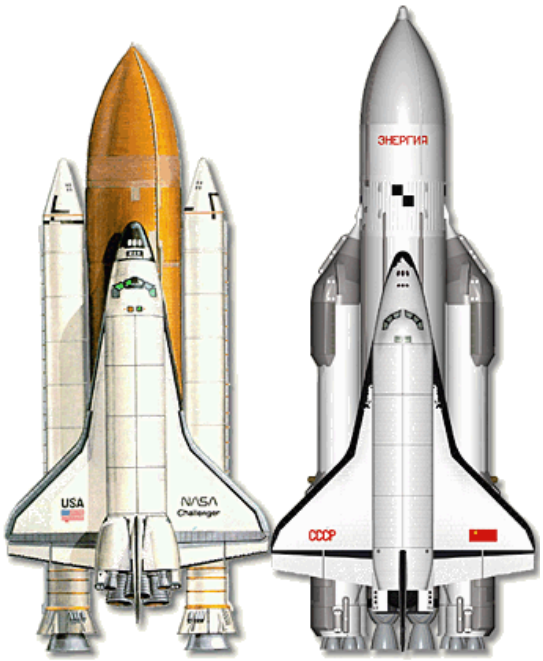


Рис. 3.173. «Space Shattl» и «Энергия», «Буран»

Двигатели второй ступени использовали кислородно-водородное топливо. Окислитель содержался при температуре –186 ^{0}С, водород – при – 255 ^{0}С. Суммарная тяга первой и второй ступени на старте составляла беспрецедентную величину 3550 т.

Двигатели РД – 170 обладают уникальными силовыми характеристиками, не достигнутыми до настоящего времени лучшими зарубежными аналогами. Двигатели РД – 0120 имели трёхкратный запас моторесурса.

Все двигатели «Энергии» были построены по экономически эффективной замкнутой схеме, отработанный в турбинах газ дожигался в основной камере сгорания.

Все двигатели запускались на старте практически одновременно при контроле с наземного командного пункта управления, что избавляло от сложностей запуска двигателей в невесомости, повышая тем самым надёжность выведения.

После выработки топлива блоки первой ступени отделялись попарно на 140 с полёта на высоте примерно 53 км при скорости 1,8 км/с. Блоки первой ступени на парашютных системах приземляются в заданных районах на удалении 426 км от точки старта. Помимо парашютных систем была предусмотрена мягкая посадка на амортизационные стойки, обеспечиваемая специальными твёрдотопливными двигателями.

Блоки первой ступени могли использоваться до 10 стартов, а большинство агрегатов были рассчитаны на 15 полётов. Центральный блок, вторая ступень, отделялась от носителя на 480 с полёта на высоте 115 км и падала в один из необитаемых районов Тихого океана.

Подобная схема исключала загрязнение околоземного пространства крупногабаритными фрагментами носителя и снижала энергопотребление на старте. В зависимости от решаемых носителем задач, разгон до необходимой орбитальной скорости полезного груза достигался двигателями орбитального корабля или специального разгонного блока, выполняющего роль третьей ступени (рис. 3.174).

Были разработаны разгонные ракетные блоки «Смерч» и «Везувий» с автономной системой управления. «Энергия» с разгонными блоками была способна вывести на траектории полёта к Луне, Марсу и Венере космические корабли массой до 28 т., а также беспилотные аппараты массой до 6 т. к Юпитеру и Солнцу.

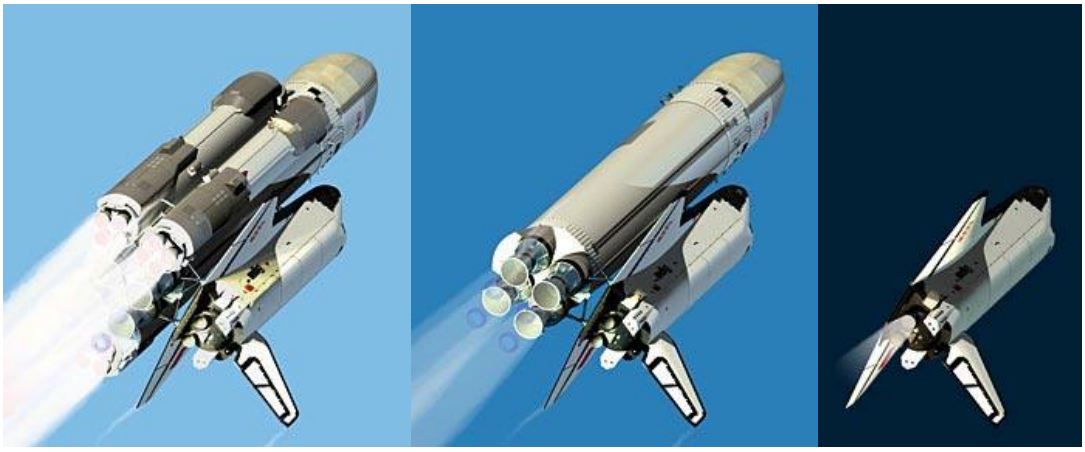


Рис.3.174. Этапы выхода челнока «Буран» на околоземную орбиту

На «Энергии» было предусмотрено резервирование наиболее важных с позиций жизнеобеспечения и сохранности конструкции систем и агрегатов, включая маршевые двигатели, системы питания, рулевые приводы, турбогенераторные источники электропитания, пиротехнические средства.

Изначально, при проектировании «Энергии», предусматривался полёт в полностью автономном режиме без вмешательства пилотов и наземных служб. Ракета была оборудована многочисленными средствами аварийной защиты, обеспечивающими диагностику состояния маршевых двигателей в реальном бортовом времени всех ступеней носителя с возможностью автоматического отключения при выходе параметров за расчетные пределы.

В программу бортового компьютера «Энергии» было заложено более 500 возможных экстремальных ситуаций и алгоритмов их автоматического устранения. Многоразовый орбитальный корабль при частичном отказе двигателей первой и второй ступени на собственной тяге мог выходить на «одновитковую» орбиту с последующей посадкой на один из специальных аэродромов или на штатную полосу Байконура. «Энергия» получила вполне заслуженное неофициальное прозвище «царь – ракета».

Рис. 3.175. «Энергия со сверхтяжелым спутником

Первый испытательный старт носителя «Энергия» со спутником «Полюс» состоялся 15 мая 1987 г. (рис. 3.175) «Полюс» представлял собой макет орбитальной боевой платформы, оснащённой лазерным оружием.

Запуск многоразового орбитального корабля «Буран» исключительно из соображений безопасности был осуществлён в полностью автоматическом режиме. Многоразовый челнок был выведен «Энергией» на околоземную орбиту, совершил два витка вокруг «Земли» и благополучно приземлился в самолётном режиме, несмотря на сильный боковой ветер над посадочной полосой.

В общей сложности «Буран» отработал в космосе 206 минут и преодолел 8000 км атмосферы. В отличие от американских шаттлов обшивка «Бурана» не отваливалась, после посадки он практически был готов к следующему старту. Это была победа. Сделать подобный вояж в автоматическом режиме стоило дорогого.

«Буран» относился к классу крылатых орбитальных кораблей многоразового использования и предназначался, прежде всего для решения целого ряда оборонных задач, выведения на орбиту вокруг Земли различных космических объектов специального назначения и их обслуживания в процессе эксплуатации.

Кроме того, планировалось использовать корабль для сборки крупногабаритных элементов орбитальных обитаемых станций.

«Буран» был выполнен по самолётной схеме с нижнепрофильным треугольным крылом двойной стреловидности по передней кромке (рис. 3.176). Самолётную посадку обеспечивало трёхопорное (с носовым колесом) выпускающееся шасси.

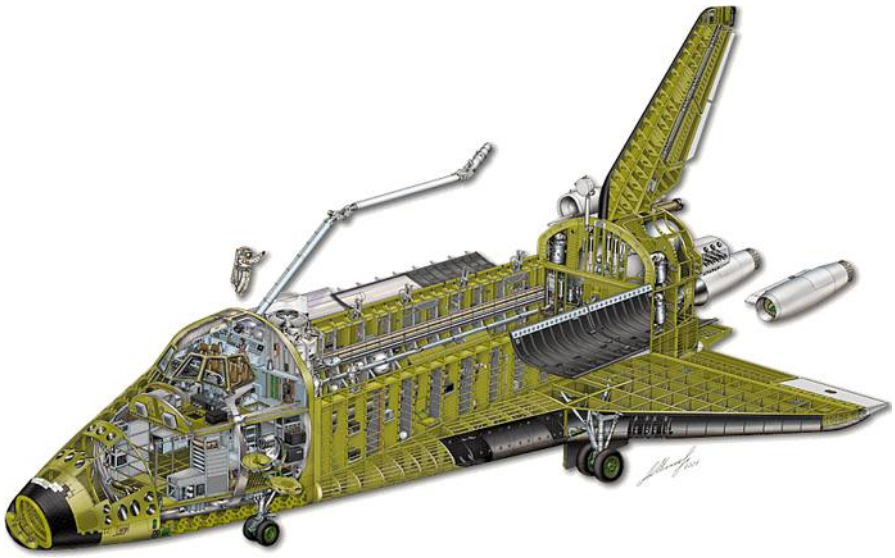


Рис. 3.176. Конструктивно-компоновочная схема «Бурана»

В носовой части планера расположена герметичная вставная кабина объёмом 73 м^3 для экипажа из четырёх космонавтов и шести пассажиров. Средняя часть корабля представляла собой грузовой отсек с манипуляторами для обслуживания космических объектов.

Под грузовым отсеком были расположены агрегаты энергоснабжения и обеспечения температурного режима. Хвостовой отсек занимала двигательная установка, топливные баки и агрегаты гидросистемы.

Внешняя облицовка «Бурана» состояла из теплозащитных плит многоразового использования на основе кварцевых соединений, выдерживающих значительные температуры до 1300 ^{0}С.

В наиболее нагреваемых областях планера, в носках фюзеляжа и крыла, где температура поднималась до 1600 ^{0} С использовались композитные материалы на основе углерода.

Каждая из 38600 теплозащитных плиток изготавливалась под конкретное место установки. Теплозащитное покрытие было рассчитано на 100 орбитальных полётов. Американцы до настоящего времени таких результатов не добились. У них в каждом полёте что-то отлетало и они уже на орбите вынуждены были совершать кульбиты, вести визуальный контроль.

Объединённая двигательная установка «Бурана» обеспечивала его выведение на опорную орбиту, выполнение межорбитальных переходов, ориентацию и стабилизацию в космическом пространстве, точное маневрирование и торможение при сходе с орбиты. Двигательная установка состоит из двух двигателей орбитального маневрирования, использующих углеводородное горючее и жидкий кислород в качестве окислителя. и 46 двигателей газодинамического управления, сгруппированных в три блока (один носовой и два хвостовых).

Орбитальный корабль был снабжён многофункциональной компьютерной системой, управляющей всеми функциями аппарата. Единый бортовой вычислительный комплекс мог обеспечивать в обитаемом режиме пребывание «Бурана» на орбите до 30 суток.

Рис. 3.71. «Буран» на авиаматке Ант – 225

Длина «Бурана» равна 35,4.м, высота с выпущенным шасси 16,5 м, размах крыла –24 м, диаметр грузового отсека 4,6 м, его длина – 18 м.

Стартовый вес – около 105 т, возвращаемого с орбиты – 15 т. Максимальная масса топлива – 14 т.

На космодром «Буран» доставлялся в полностью собранном виде многоцелевым транспортным самолётом Ан-225 (рис. 3.176).

На территории СССР были построены для посадки «Бурана» две дополнительные полосы длиной 5 км и шириной 84 м, на случай схода с орбиты в незапланированной точке.

В первом полёте продольное отклонение точки касания на полосе составило 15 м от расчётной, а по ширине, всего – 3 м, что является блестящим показателем даже для обычных широкофюзеляжных современных пассажирских самолётов.

Всего по программе было построено три корабля. Разразившаяся перестройка и распад СССР не позволил этим планам сбыться. Байконур был подарен первым президентом демократической России Казахстану вместе с летавшим кораблём. Добрый у нас был Борис Николаевич, хоть и пьяница.

В 2002 г. легендарный законсервированный «Буран» был полностью уничтожен рухнувшей при странных обстоятельствах крышей ангара. Второй корабль, готовившийся к стыковке со станцией «Мир» стал музейной экспозицией в парке им. М.Горького. Полномасштабный макет «Бурана» за 10 млн. евро купил немецкий музей г. Шпейра.

Сейчас в Интернете и прессе циркулирует много историй о невозможности продолжать, якобы бесперспективную космическую программу «Энергия – Буран». Это конечно же весьма хилые аргументы, потому как прагматичные американцы и не думали сворачивать аналогичную программу и много чего достигли. Просто в нашей стране в 90-х годах прошлого века решались задачи, стоящие очень далеко от её собственных интересов.

Многие научно-технические достижения программы «Энергия – Буран» не превзойдены никем до настоящего времени, что позволяет сделать предположение о том, что свёрнута программа была всё же из-за её недосягаемости вероятными нашими геополитическими недругами. Такое происходило не только с космическими технологиями. На всё где наша страна лидировала, – денег не находилось. А жаль. Как бы проще было сейчас договариваться в теми же американцами, хотя бы по вопросам ПРО в Европе, да и вообще!