



Е.В. Кондакова
В.М. Чаругин



АСТРОНОМИЯ

АСТРОНОМИЯ

Тетрадь-
практикум

10.11

БАЗОВЫЙ
УРОВЕНЬ



Е.В. Кондакова
В.М. Чаругин

АСТРОНОМИЯ

Тетрадь-практикум

10.11 классы

Учебное пособие
для общеобразовательных
организаций

**БАЗОВЫЙ
УРОВЕНЬ**

Москва
«Просвещение»
2018

УДК 373:52
ББК 22.6я72
К64

12+

Серия «Сферы 1—11» основана в 2017 году

Кондакова Е.В.

К64 **Астрономия. Тетрадь-практикум. 10—11 классы : учеб. пособие для общеобразоват. организаций : базовый уровень / Е.В. Кондакова, В.М. Чаругин. — М. : Просвещение, 2018. — 32 с. : ил. — (Сферы 1—11). — ISBN 978-5-09-058066-3.**

Тетрадь-практикум является составной частью учебно-методического комплекса «Астрономия» для 10—11 классов линии «Сферы 1—11». Пособие адресовано учащимся. В тетради содержится материал для организации практических работ с заданным алгоритмом их выполнения и формами для фиксирования результатов. Порядок практических работ соответствует структуре учебника. Последовательное выполнение практических работ, предложенных в тетради-практикуме, позволит связать теоретический материал, изучаемый на уроках астрономии, с практическим использованием этих знаний.

УДК 373:52
ББК 22.6я72

ISBN 978-5-09-058066-3

© Издательство «Просвещение», 2018
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2018
Все права защищены

Учебное издание
Серия «Сферы 1—11»

Кондакова Елена Владимировна
Чаругин Виктор Максимович

Астрономия
Тетрадь-практикум
10—11 классы



Учебное пособие для общеобразовательных организаций

Руководитель проекта «Сферы 1—11» **С.Г. Яньков**

Руководитель Центра «Сферы» **А.В. Сильянова**

Выпускающий редактор **Н.Н. Гриценко**. Художественный редактор **Ю.С. Асеева**.

Компьютерная верстка **Ю.С. Асеевой**. Художественное оформление **О.В. Поповича**,

С.Г. Куркиной. Дизайн обложки **О.В. Поповича**, **В.А. Прокудина**.

Технический редактор **Л.В. Марухно**. Корректор **М.А. Павлушкина**.

В издании использованы фотоматериалы **Д.Ю. Клыкова**,

фотобанков **Diomedia, Shutterstock, Picvario**

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц.
Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 08.02.18. Формат 84×108^{1/16}. Бумага офсетная.
Гарнитура SchoolBookCSanPin. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,93. Тираж 10 000 экз. Заказ № 7819ТПК

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».
127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано по заказу АО «ПолиграфТрейд» в типографии
ОАО «Тверской полиграфический комбинат». 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс (4822) 44-42-15
Home page: www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) - sales@tverpk.ru



РАБОТАЕМ С ПРАКТИКУМОМ

Дорогие старшекласники!

Основой науки астрономии являются наблюдения. Но при этом астрономы не являются пассивными наблюдателями, напротив, они ставят и решают фундаментальные проблемы в масштабах нашего пространства-времени.

С помощью тетради-практикума вы проведёте исследования астрономических объектов и явлений, сможете проанализировать полученные результаты и сделать выводы. Практические работы представлены в соответствии с главами учебника, поэтому каждую из них можно легко узнать по цвету, такому же, как и в учебнике. Каждая работа содержит необходимый для выполнения исследования теоретический материал, который углубляет и расширяет знания, полученные вами на уроках астрономии, а также ссылки на материал учебника. Для сложных заданий даются подробные пояснения.

Желаем вам успеха!

СОДЕРЖАНИЕ

Работаем с практикумом	3
ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ	
1. Оценивание расстояний и размеров объектов во Вселенной	4
АСТРОМЕТРИЯ	
2. Построение графических моделей небесной сферы	6
3. Исследование суточного видимого движения Солнца	10
НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА	
4. Исследование движения искусственных спутников Земли	13
СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	
5. Изучение вулканической активности на спутнике Юпитера Ио	16
АСТРОФИЗИКА И ЗВЁЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ	
6. Построение диаграммы Герцшпрунга—Рессела и её анализ	18
МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ — НАША ГАЛАКТИКА	
7. Оценивание формы Галактики методом «звёздных черпаков»	21
ГАЛАКТИКИ. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ	
8—9. Определение скорости удаления галактик по их спектрам	25
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ	
10. Оценивание возможности наличия жизни на экзопланетах	30

1

ОЦЕНИВАНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ

ЦЕЛЬ:

Идентифицировать космические объекты по их снимкам или иллюстрациям; систематизировать космические объекты по их удалённости от поверхности Земли; по их размерам.

**ПРИБОРЫ
И МАТЕРИАЛЫ:**

Фотографии космических объектов, планшет или персональный компьютер с доступом в Интернет.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
СВЕДЕНИЯ:**

Наряду с традиционными астрономическими объектами в поле деятельности астрономов сегодня находятся и искусственно созданные объекты — спутники, космические станции, космические аппараты. Астрономические объекты (небесные тела) и космические аппараты, находящиеся за пределами земной атмосферы в космическом пространстве, называют *космическими объектами*.

ХОД РАБОТЫ:

Внимательно рассмотрите фотографии космических объектов.



1. The first step is to identify the problem or question that needs to be answered. This involves understanding the context and the specific requirements of the task.

ОТМЕТКА

2

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ

ЦЕЛЬ:

Построить графические модели небесной сферы для заданного пункта наблюдения.

ПРИБОРЫ
И МАТЕРИАЛЫ:

Циркуль, цветные карандаши, линейка, транспортир.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
СВЕДЕНИЯ:

У древних народов звёздное небо ассоциировалось с куполом, или со сферой. Действительно, при взгляде на небо создаётся впечатление, что Солнце, звёзды, Луна и другие небесные тела расположены на внутренней поверхности гигантской небесной сферы, вращающейся в направлении с востока на запад. Поэтому для описания положений небесных тел на небе и было введено понятие *небесной сферы*.

Небесной сферой называется воображаемая сфера произвольного радиуса с центром в точке наблюдения (точка O), на которую проецируются астрономические объекты. Графическая модель небесной сферы для наблюдателя, находящегося в Северном полушарии Земли, представлена на рисунке 1.

Мы определили небесную сферу как сферу *произвольного радиуса*. Глядя на небо, мы не можем определить, какая из звёзд находится дальше, какая — ближе. Нам кажется, что все они одинаково удалены и расположены на небесном куполе, окружающем наблюдателя. Поэтому мы и не можем точно указать радиус небесной сферы и определяем его как произвольный. Это допустимо, так как небесная сфера — это *воображаемая*, или *условно выбранная*, сфера, в центре которой находится точка наблюдения. К тому же для решения многих задач практической астрономии важно знать не реальные расстояния до небесных объектов, а их взаимное расположение на небе, для определения которого измеряют углы между направлениями от точки наблюдения на эти объекты. Эти измерения удобно производить именно на воображаемой небесной сфере, используя специальные системы координат.

Небесная сфера вращается вокруг воображаемой линии PP' , называемой *осью мира*. Ось мира параллельна оси вращения Земли. Соответственно, P — северный полюс мира, P' — южный полюс мира (см. рис. 1).

Для определения основных элементов небесной сферы в астрономии используют понятие большого и малого кругов. *Большим кругом* называют окружность, которая получается при пересечении небесной сферы плоскостью, проходящей через её центр. Если плоскость не проходит через центр, то получается малый круг.

Большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна оси мира, называется *небесным экватором* (см. рис. 1). *Небесным меридианом* называется большой круг небесной сферы, проходящий через зенит Z , надир Z' и полюсы мира P и P' (см. рис. 1).



Рис. 1

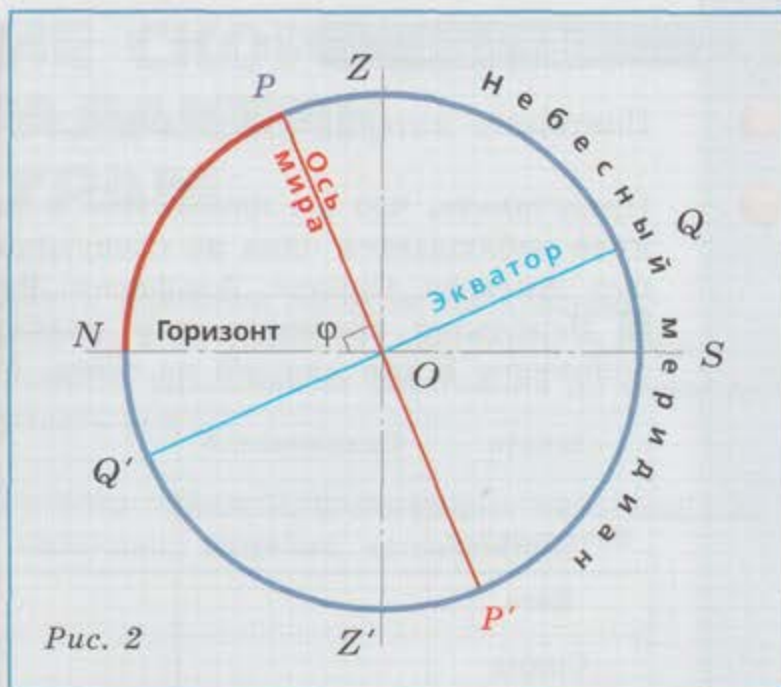


Рис. 2

Прямая линия, которая совпадает в данной точке с направлением действия силы тяжести, называется **отвесной линией**. Направление отвесной линии можно определить с помощью простейшего отвеса — грузика на тонкой нити. Отвесная линия пересекает небесную сферу в двух точках: верхняя (над головой наблюдателя) *Z* называется **зенитом**, нижняя *Z'* — **надиром** (см. рис. 1).

Большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна отвесной линии, называется **математическим горизонтом**. Математический горизонт пересекается с небесным меридианом в точках севера *N* (находится ближе к северному полюсу мира) и юга *S*, а с небесным экватором — в точках востока *E* и запада *W* (см. рис. 1).

Выберем на небесной сфере астрономический объект (такие объекты на небесной сфере принято называть **светило**). В течение суток светило описывает на небесной сфере малый круг, который называется **суточной параллелью** (см. рис. 1).

Для изучения видимого расположения и движения небесных объектов используют различные **системы небесных координат** (**горизонтальную** и **экваториальную**).

Зная широту места наблюдения φ и склонение δ небесного объекта, можно определить его высоту над горизонтом в момент кульминаций. Для наблюдателя в Северном полушарии Земли ($\varphi > 0$) объект, у которого склонение $\delta < \varphi$, кульминирует к югу от зенита. Его высота в верхней кульминации

$$h_v = 90^\circ - \varphi + \delta.$$

Если $\delta > \varphi$, объект кульминирует к северу от зенита, его высота

$$h_v = 90^\circ + \varphi - \delta.$$

В нижней кульминации $h_n = -90^\circ + \varphi + \delta.$

Для решения задач практической астрономии удобно бывает использовать проекции небесной сферы на плоскость небесного меридиана (рис. 2). Теорема о высоте полюса мира над горизонтом утверждает, что **высота видимого полюса мира над горизонтом равна модулю широты места наблюдения**: $h_p = |\varphi|$. Следовательно, вид небесной сферы зависит от положения наблюдателя, а точнее, от географической широты места наблюдения.



ХОД РАБОТЫ:

Повторите материал учебника (с. 20—21).

Представьте, что вы находитесь в таком месте земной поверхности, где в зените наблюдается одна из следующих звёзд: Бетельгейзе, Вега, Спика, Канопус, Антарес, Сириус, Альферац, Рукбах.

■ Используя Интернет или подвижную карту звёздного неба, определите склонение δ для каждой из звёзд. Результаты занесите в таблицу.

Звезда	Склонение δ	Широта φ места наблюдения, где звезда наблюдается в зените
Бетельгейзе		
Вега		
Спика		
Канопус		
Антарес		
Сириус		
Альферац		
Рукбах		

Определите широты φ мест наблюдения, где в зените наблюдаются указанные звёзды. Результаты занесите в таблицу.

Подсказка: высота светила, находящегося в зените, равна 90° .

На рисунках 3а и 3б постройте проекции небесной сферы для мест земной поверхности, где в зените наблюдаются две (по выбору учителя) из вышеуказанных звёзд:

■ Обозначьте центр небесной сферы O , точки зенита Z и надира Z' .

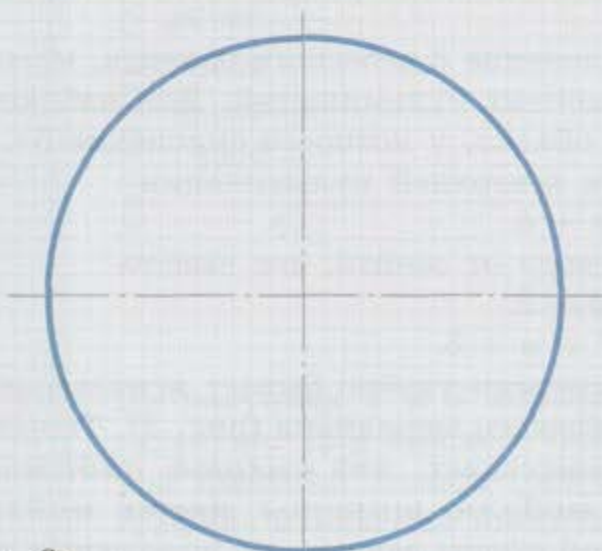


Рис. 3а

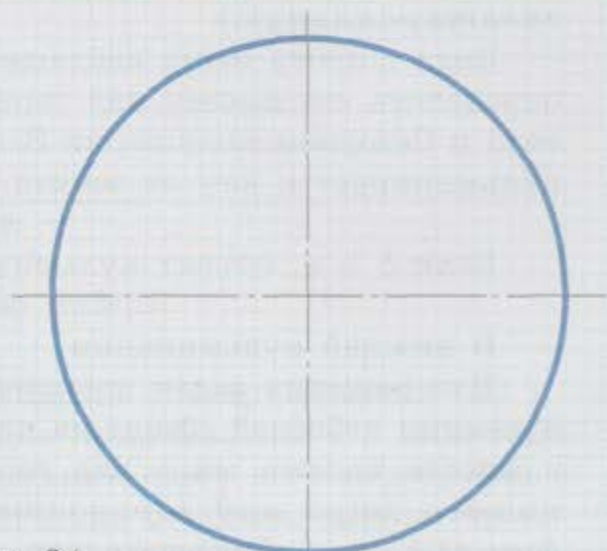


Рис. 3б

■ На линии горизонта обозначьте точки севера N и юга S .

■ Отметьте положения северного P и южного P' полюсов мира.

Подсказка: воспользуйтесь теоремой о высоте полюса мира над горизонтом. Обратите внимание: для наблюдателя в Северном полушарии Земли над горизонтом расположен северный полюс мира, в Южном — южный полюс мира.

■ Проведите линию POP' , изображающую ось мира.

■ Постройте линию, изображающую небесный экватор QQ' .

Используя построенные модели небесных сфер, определите высоту h_Q точки Q пересечения небесного экватора с небесным меридианом, лежащей над плоскостью математического горизонта.

На построенных моделях изобразите, используя цветные карандаши, суточные параллели звезды, которая в данной точке наблюдения является:

☐ незаходящей; ☐ невосходящей; ☐ восходящей и заходящей.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

■ Какое склонение должна иметь звезда, если она кульминирует в зените в месте, где вы проживаете? _____

■ Выведите формулу для определения интервала склонения звёзд, которые в месте наблюдения с широтой φ :

а) никогда не заходят

б) никогда не восходят

в) могут восходить и заходить

КОММЕНТАРИИ УЧИТЕЛЯ:

ОТМЕТКА



3

ИССЛЕДОВАНИЕ СУТОЧНОГО ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ СОЛНЦА

ЦЕЛЬ:

По фотографии суточного движения Солнца определить широту места, где производилась съёмка.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:

Фотография суточного движения Солнца, карандаш, линейка.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ:

Кажущееся вращение небесной сферы вокруг оси мира является следствием действительного вращения Земли вокруг своей оси. Наблюдатель, находящийся на поверхности Земли, видит, что в течение суток небесные тела перемещаются по небу. **Суточным движением** называется видимое движение светил, которое обусловлено вращением Земли вокруг своей оси.

Солнце, подобно звёздам, участвует в суточном движении: оно восходит в восточной части горизонта, описывает дугу на небе и заходит в западной части горизонта. В течение года Солнце перемещается среди звёзд по **эклиптике** — большому кругу небесной сферы, наклонённому к небесному экватору под углом $23,5^\circ$ (рис. 1). Поэтому экваториальные координаты Солнца α_s и δ_s изменяются в течение года.

Это интересно: название «эклиптика» (*ecliptic*) возникло потому, что только тогда, когда Луна (будучи в фазе новолуния или полнолуния) пересекает эклиптику, мы можем наблюдать затмения (*eclipse*) Солнца или Луны.

Из-за изменения склонения Солнца его суточные пути на небе, точки восхода и захода меняются день ото дня. Также ежедневно изменяется **полуденная высота** Солнца $h_{\text{св}}$ (т.е. высота Солнца в верхней кульминации; рис. 2).

Как вы знаете, по известным широте места наблюдения φ и склонению δ небесного объекта можно определить его высоту над горизонтом в момент кульминации.



Рис. 1



Рис. 2

В каких пределах меняется склонение Солнца в течение года?

Запишите формулу для вычисления полуденной высоты Солнца, если наблюдатель находится в пункте, географическая широта которого:

■ $\varphi > 23,5^\circ$

Используя полученную вами формулу, можно вычислить широту места наблюдения. Для этого нужно измерить высоту Солнца в кульминации. Конечно же нужно знать дату, когда эти измерения проводились!

Выведите формулу, по которой можно вычислить широту места наблюдения, если известны полуденная высота Солнца h_0 и его склонение δ_0 :

Склонение Солнца можно определить по подвижной карте звёздного неба либо найти в астрономическом ежегоднике. Также можно использовать любую доступную программу-планетарий (например, *Stellarium*).

Если в течение одного дня с фиксированной позиции делать снимки Солнца через равные промежутки времени, а затем смонтировать полученные фотографии на одном изображении, то мы получим **дневной трек Солнца** (рис. 3). Зная дату фотосъёмки, по этому изображению можно примерно определить высоту Солнца в кульминации. Определив склонение Солнца δ_0 , можно вычислить широту места, где проводилась данная фотосъёмка.

ХОД РАБОТЫ:

На рисунке 3 представлен суточный трек Солнца, смонтированный из реальных снимков (фото Д.Ю. Клыкова). На фото представлены 12 изображений Солнца с интервалом в 1 час. Точки восхода и захода отмечены стрелками. Первое изображение Солнца снято через 30 минут после восхода, последнее — за 30 минут до захода.

Рис. 3



Исходя из продолжительности дня, определите примерную дату фотосъёмки.

Соответствует ли дата съёмки (примерно) одному из дней равноденствия или солнцестояния? Если да, то какому?

На рисунке отметьте стороны света.

Измерьте линейкой расстояние между точками восхода и заката (помечены стрелками) в миллиметрах: $r_{\text{восход-закат-мм}} =$ _____

Определите, чему равно угловое расстояние между точками восхода и заката в данную дату: $r_{\text{восход-закат-град}} =$ _____

Примечание: угловое расстояние между точками восхода и заката равно угловой мере дуги математического горизонта между этими точками.

На снимке измерьте линейкой высоту Солнца в верхней точке трека (в кульминации) в миллиметрах: $h_{\text{кульм. мм}} =$ _____

Рассчитайте высоту Солнца в кульминации в градусах $h_{\text{кульм-град}}$. Для этого составим пропорцию:

$$\frac{h_{\text{кульм-град}}}{h_{\text{кульм-мм}}} = \frac{r_{\text{восход-закат-град}}}{r_{\text{восход-закат-мм}}}$$

Вычислите $h_{\text{кул.м.трел}}$: _____

■ Вычислите широту места наблюдения:

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

■ Почему происходит смена времён года? _____

■ В какие даты Солнце восходит точно на востоке и заходит точно на западе?

■ Можно ли на территории России увидеть Солнце в зените?

КОММЕНТАРИИ УЧИТЕЛЯ:



4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

ЦЕЛЬ:

Рассчитать скорости движения спутников по круговым и эллиптическим орбитам, определить условия, при которых спутники могут столкнуться, оценить последствия возможного столкновения спутников.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:

Рисунок орбит спутников, калькулятор.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ:

Согласно первому обобщённому закону Кеплера под действием силы притяжения одно небесное тело движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений — окружности, эллипсу, параболе или гиперболе. Движение искусственных спутников Земли (ИСЗ) также подчиняется этому закону. Мы рассмотрим ИСЗ, которые имеют круговые и эллиптические орбиты.

Скорость спутника на круговой орбите находится по формуле

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}},$$

где G — гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$; $M = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ — масса Земли, r — радиус орбиты.

При движении по эллиптической орбите скорость спутника будет меняться: скорость тем больше, чем ближе спутник к Земле. Среднее расстояние от спутника до центра Земли равно большой полуоси a эллипса. Используя закон сохранения энергии и третий закон Кеплера, получаем формулу для расчёта скорости движения небесного тела по эллиптической орбите:

$$v = \sqrt{GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} = V_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1},$$

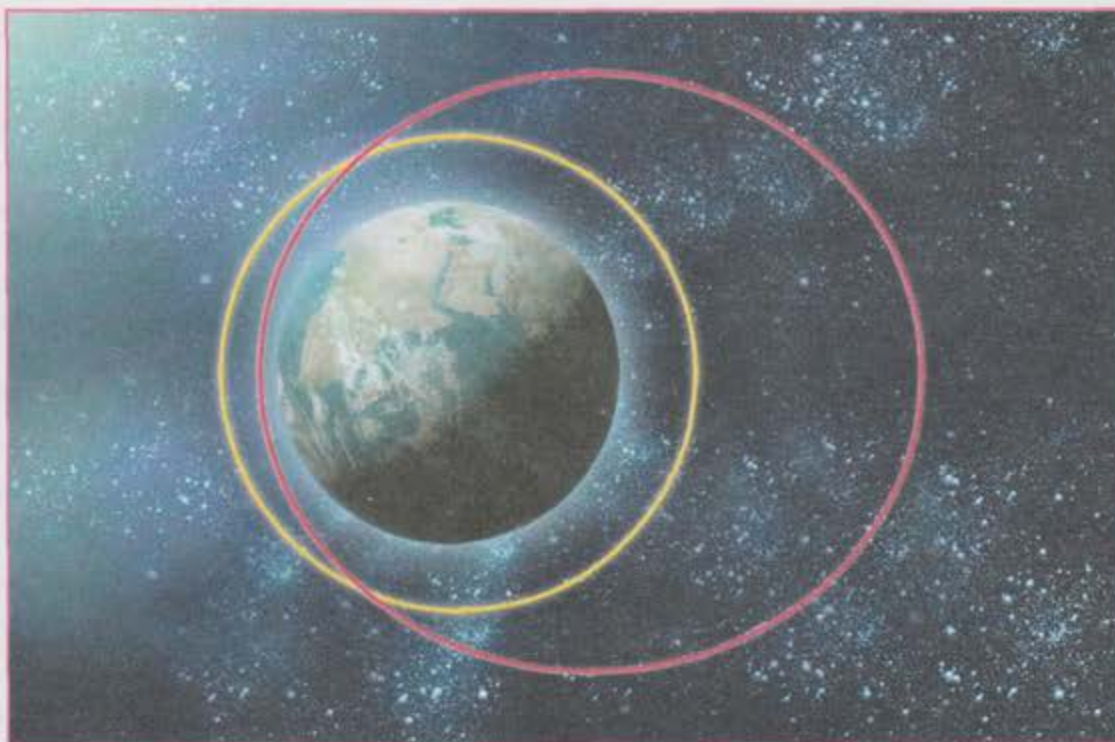
где G — гравитационная постоянная; M — масса Земли; r — расстояние от центра Земли до рассматриваемой точки орбиты; a — большая полуось эллиптической орбиты; $V_a = \sqrt{G \frac{M}{a}}$ — средняя круговая скорость эллиптической орбиты.

Радиус орбиты $r_{\text{спутника}}$ отсчитывается от центра Земли, поэтому если указана высота h орбиты спутника над поверхностью Земли, то

$$r_{\text{спутника}} = h + R_{\text{Земли}}, \quad R_{\text{Земли}} = 6400 \text{ км}.$$

ХОД РАБОТЫ:

На рисунке показаны орбиты двух спутников. Спутник № 1 движется по круговой орбите на высоте 2000 км от поверхности Земли. Орбита спутника № 2 — эллипс с большой полуосью 9000 км. Плоскости орбит и направление движения совпадают. Могут ли спутники столкнуться?



Подпишите номера спутников на рисунке. Отметьте стрелками места возможных столкновений.

Не производя вычислений, определите, какой спутник (№ 1 или № 2) имеет большую скорость в местах возможного столкновения. Ответ поясните.

Определите радиус орбиты R спутника № 1 в метрах.

Вычислите скорость спутника № 1 в метрах в секунду.

Определите, на каком расстоянии r от центра Земли находился спутник № 2 в момент столкновения (ответ дайте в метрах).

Вычислите скорость спутника № 2 в метрах в секунду.

Рассчитайте скорость сближения спутников в метрах в секунду.

Указание: скорость сближения равна отношению изменения расстояния между телами ко времени, за которое расстояние изменялось. Так как угол между касательными к орбитам в точке столкновения мал, им можно пренебречь и считать, что спутники в момент столкновения движутся по одной прямой.

■ Почему спутник, обращаясь вокруг Земли, не падает на её поверхность?

ОТМЕТКА

5

ИЗУЧЕНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СПУТНИКЕ ЮПИТЕРА ИО**ЦЕЛЬ:**

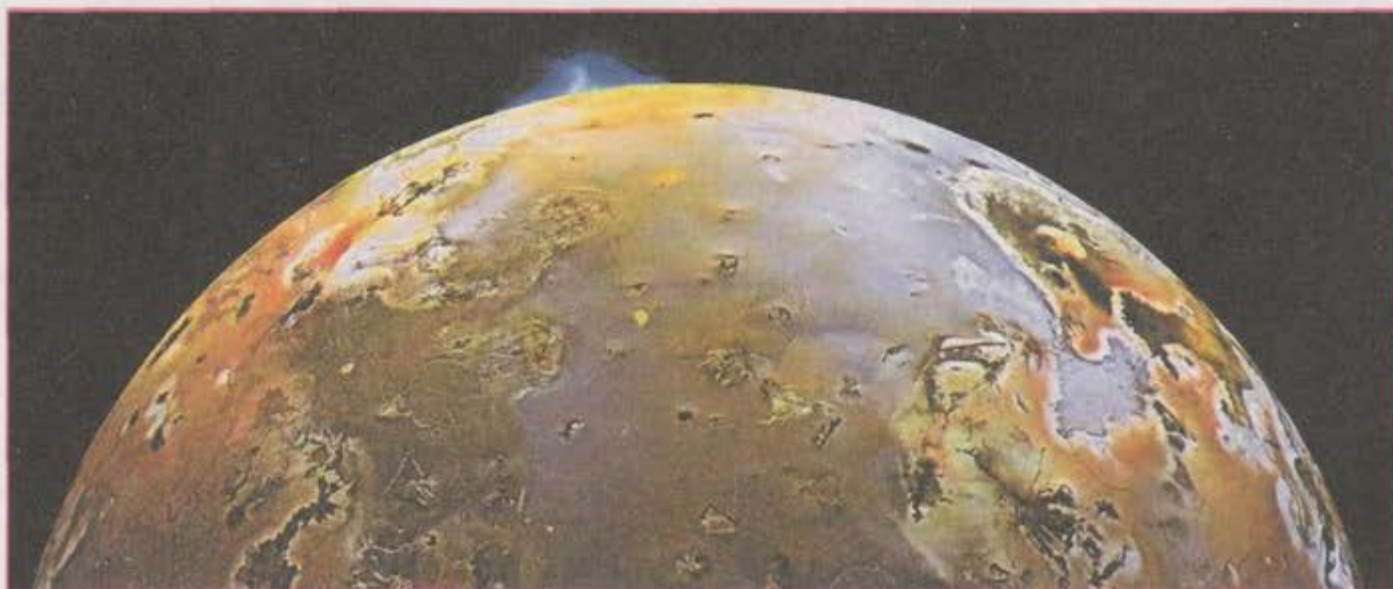
Определить высоту и скорость выброса вещества из жерла вулкана на спутнике Юпитера Ио.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:

Фотография Ио с извергающимся вулканом, линейка.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ:

Ближайший к Юпитеру крупный спутник Ио имеет радиус $R = 1820$ м и массу $M = 7,3 \cdot 10^{22}$ кг. Космические станции (Вояджер 1 и Вояджер 2) неоднократно фотографировали Ио и обнаружили на нём несколько извергающихся вулканов, что указывает на высокие температуры в недрах спутников. Основным механизмом разогрева вещества внутри Ио является приливное воздействие со стороны Юпитера, которое периодически деформирует его внешние слои, разогревая их. На фотографии показан действующий вулкан, который извергает вещество на большую высоту.

**ХОД РАБОТЫ:**

Определите масштаб снимка, учитывая, что радиус Ио равен 1820 км.

Измерьте высоту выброса в миллиметрах и с помощью масштаба рассчитайте реальную высоту выброса в километрах.

DATE: _____

Скорость извержения вещества в земных вулканах	Скорость выброса вещества из жерла вулкана на Ио

ОТМЕТКА

6

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ
ГЕРЦШПРУНГА—РЕССЕЛА
И ЕЁ АНАЛИЗ

ЦЕЛЬ:

Построить диаграмму температура—светимость и установить взаимосвязь между характеристиками звёзд.

ПРИБОРЫ
И МАТЕРИАЛЫ:

Карандаш, цветные карандаши, линейка.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
СВЕДЕНИЯ:

Звёзды — огромные газовые шары, которые находятся очень далеко от Земли. Единственным источником информации о далёких звёздах является их излучение. Уже в середине XIX в. астрономы научились определять физические характеристики звёзд по данным их наблюдений, и к началу XX в. накопились данные о десятках тысяч звёзд. Но как наблюдаемые характеристики звёзд — звёздная величина или светимость, спектральный класс — связаны с их физическими характеристиками?

В начале XX в. астрономы Эйнар Герцшпрунг (Дания) и Генри Норис Рессел (США) построили теоретические графики, которые связывали две основные характеристики звезды: светимость и спектральный класс. Учёные расположили звёзды на диаграмме, по вертикальной оси которой откладывали светимость звезды, а по горизонтальной — её спектральный класс. Оказалось, что звёзды на этой диаграмме располагаются не беспорядочно, а образуют определённые группы.

Известно, что спектр звезды зависит от температуры. Поэтому на горизонтальной оси диаграммы откладывают либо спектральный класс звезды, либо её температуру. В последнем случае ось шкалы температур принято направлять справа налево, т.е. температура по горизонтальной оси убывает. Подобное построение — это дань традиции, чтобы диаграмма имела такой же вид, как и построенная Герцшпрунгом и Ресселом.

В честь первооткрывателей диаграмму называют их именами: *диаграмма Герцшпрунга—Рессела*. Но наряду с этим используют и другие названия: диаграмма спектр—светимость или температура—светимость, в зависимости от того, какие величины откладывают по горизонтальной и вертикальной осям диаграммы.

Исследование диаграммы Герцшпрунга—Рессела является важнейшим источником сведений об эволюции звёзд. По положению звезды на диаграмме определяют и каков её дальнейший «жизненный путь». С помощью диаграммы можно определить абсолютную звёздную величину звезды и оценить расстояние до неё. Кроме того, диаграмма спектр—светимость позволяет оценить основные характеристики звёзд, не прибегая к долгим утомительным вычислениям.

Более подробные сведения о диаграмме Герцшпрунга—Рессела вы можете найти в «Астронет»: <http://www.astronet.ru/db/msg/1191489>.



ХОД РАБОТЫ:

В таблице даны характеристики звёзд: температура T (в К), светимость, выраженная в светимостях Солнца (светимость Солнца принята за 1).

№ п/п	Звезда	T , К	$L_v/L_\odot$
1	Солнце	5800	1
2	α Центавра А	5800	1,3
3	α Центавра В	4100	0,36
4	Барнарда	2800	0,0004
5	Сириус А	10 400	23
6	Сириус В	10 700	0,008
7	Процион А	6500	7,6
8	Процион В	7400	0,0005
9	Канопус	7400	1500
10	Арктур	4500	90
11	Вега	10 700	60
12	Капелла	5900	150
13	Ригель	11 800	40 000
14	Бетельгейзе	3200	17 000
15	Ахернар	14 300	200
16	Альтаир	8000	10
17	Альдебаран	4200	90
18	Спика	21 300	1900
19	Антарес	3400	4400
20	Денеб	9900	40 000

Постройте диаграмму Герцшпрунга—Рессела для приведённых в таблице звёзд. По вертикальной оси откладывайте светимость (в светимостях Солнца), по горизонтальной — температуру. Горизонтальная шкала неравномерна.

Нанесите на диаграмму пунктиром главную последовательность.

Используя таблицу учебника «Спектральная классификация звёзд» (с. 92), постройте на диаграмме вертикальные цветные полосы, соответствующие цвету звёзд.

Отметьте на диаграмме области, где расположены красные гиганты, белые карлики, сверхгиганты.

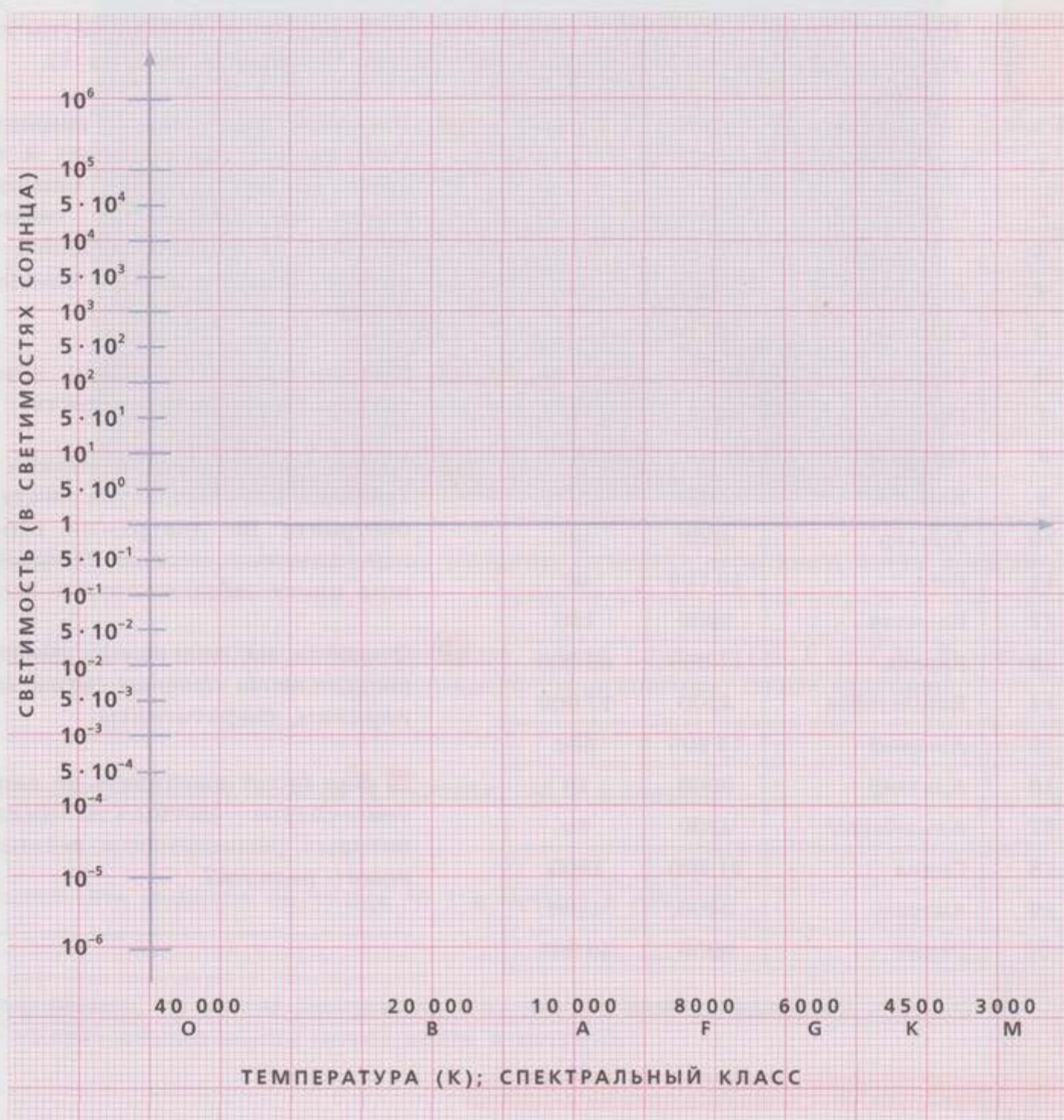
Как будут выглядеть на диаграмме температура—светимость линии, вдоль которых располагаются звёзды одинакового радиуса?

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Какую зависимость между температурой звезды и её цветом вы можете установить, пользуясь построенной диаграммой?

Оцените температуру и цвет звезды главной последовательности спектрального класса А. Приведите пример такой звезды.

Диаграмма Герцшпрунга—Рессела



КОММЕНТАРИИ УЧИТЕЛЯ:

ОТМЕТКА



7

**ОЦЕНИВАНИЕ ФОРМЫ
ГАЛАКТИКИ МЕТОДОМ
«ЗВЁЗДНЫХ ЧЕРПАКОВ»****ЦЕЛЬ:**

Познакомиться с методом «звёздных черпаков» и, используя его, охарактеризовать форму Галактики.

**ПРИБОРЫ
И МАТЕРИАЛЫ:**

Комплекты карт участков созвездий (по одному на группу учащихся), подвижная карта звёздного неба или любая другая карта неба, карандаш, компьютер, электронная таблица (Excel, OpenOffice.org Calc или подобная).

ПРИМЕЧАНИЕ:

Комплекты карт до начала выполнения работы скачайте с сайта <http://stellaria.school/page/milkyway>; <http://spheres.ru> и распечатайте необходимое количество экземпляров. В одном комплекте содержатся карты для двух участков неба.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
СВЕДЕНИЯ:**

В ясную безлунную ночь на небе хорошо различима светлая полоса — Млечный Путь. Если вы внимательный наблюдатель, то наверняка заметили неодинаковую в разных местах яркость и клочковатую структуру этой полосы. А посмотрев на Млечный Путь в бинокль или телескоп, вы увидите огромное число звёзд, неразличимых невооружённым глазом.

Млечный Путь, который мы наблюдаем на небе в виде светлой полосы, опоясывающей всё небо, — это проекция нашей звёздной системы (Галактики) на небесную сферу. Можно ли, находясь внутри этого «звёздного острова», определить его форму и размер? Одним из первых, кто занимался систематическим исследованием этой проблемы, был английский астроном Вильям Гершель (1738—1822). Он использовал особый способ подсчёта звёзд в отдельно взятых небольших площадках, разбросанных по всему небу, — метод «звёздных черпаков». Гершель предположил, что ближе всего к Земле находятся самые яркие звёзды, а самыми далёкими являются, соответственно, самые слабые звёзды, с трудом различимые в телескоп (телескоп Гершеля позволял различать звёзды до 15-й звёздной величины). Исследуя площадки, которые находились по обе стороны и на разных угловых расстояниях от средней плоскости Млечного Пути, Гершель обнаружил, что число звёзд возрастает по мере приближения к Млечному Пути и достигает максимальных значений в самых ярких его областях.

В этой работе вы сможете повторить исследование Гершеля и сделать вывод о форме нашей Галактики.

ХОД РАБОТЫ:

Вам предстоит подсчитать количество звёзд заданной звёздной величины, используя комплекты карт участков различных созвездий. Для исследования выбраны участки неба равной площади, расположенные как вблизи Млечного

Пути, так и в отдалении от него. Каждый комплект содержит по 7 карт двух участков неба.

Для выполнения работы объединитесь группы (от 2 до 6 учащихся по указанию учителя).

В заголовке второго и третьего столбцов таблиц 1 и 2 допишите названия созвездий, карты которых входят в ваш рабочий комплект.

Подсчитайте количество звёзд до 9, 10, 11, 12, 13, 14-й звёздной величины для участков созвездий и результаты занесите в соответствующие столбцы таблицы 1.

Примечание: некоторые карты разделены на прямоугольные участки. Если звёзд на карте много (более 300), то для удобства можно подсчитать количество звёзд в одном квадрате и умножить на число квадратов. Строго говоря, количество звёзд в каждом квадрате, скорее всего, не одинаково, но можно принять, что эти значения в пределах одной карты примерно равны. На картах изображены звёзды от самой яркой до заданной звёздной величины, т.е. указаны звёзды с величинами 8^m , 9^m и т.д. до 12^m . Для того чтобы подсчитать количество звёзд ступени 11-й звёздной величины, нужно из числа звёзд до 12^m вычесть число звёзд до 11^m .

Таблица 1

До какой звёздной величины	Число звёзд	
	на участке в созвездии _____	на участке в созвездии _____
9^m		
10^m		
11^m		
12^m		
13^m		
14^m		

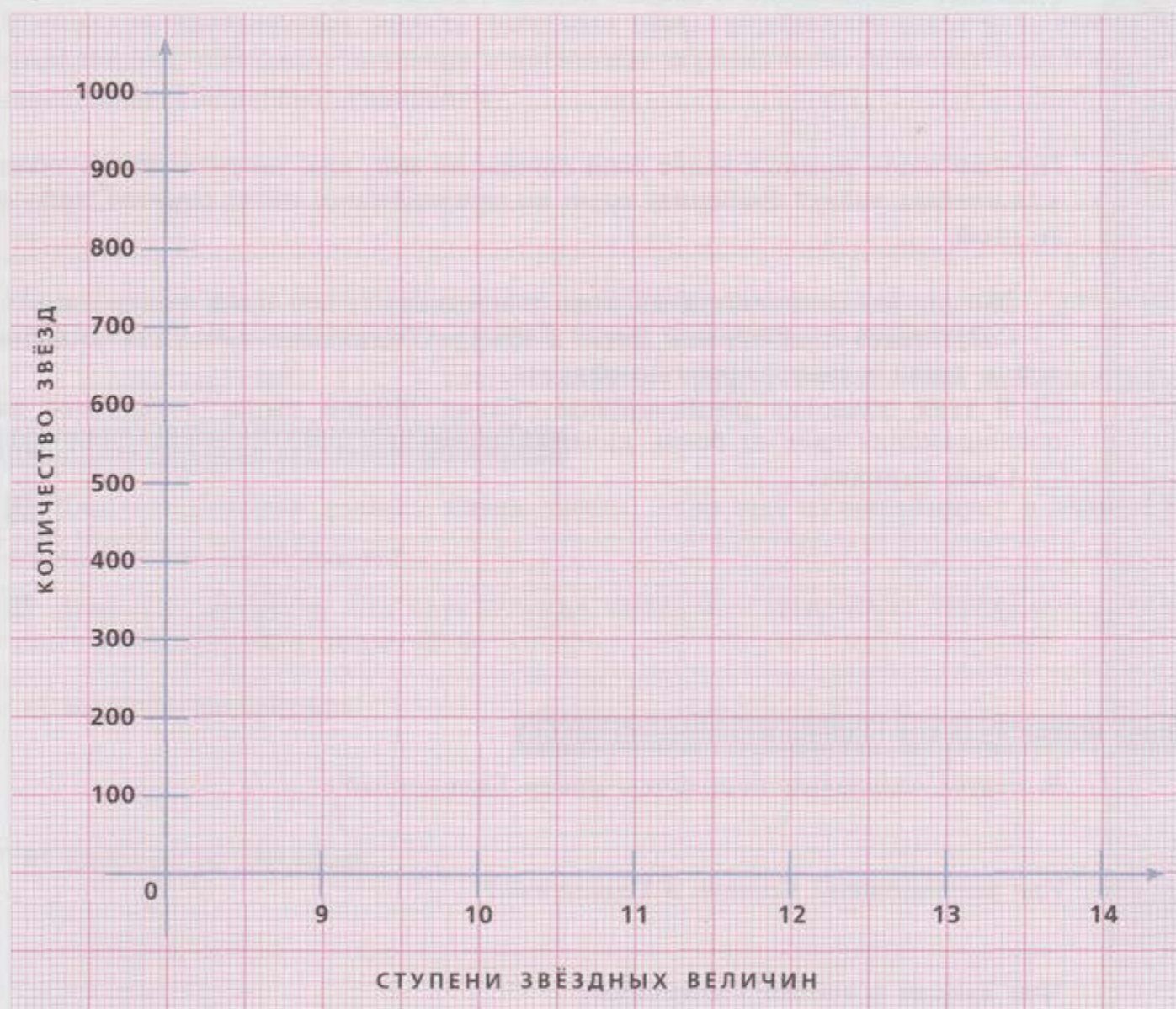
Заполните таблицу 2.

Таблица 2

Ступени звёздных величин	Число звёзд		
	на участке в созвездии _____	на участке в созвездии _____	согласно теории
9			4
10			16
11			64
12			256
13			1024

■ В последнем столбце таблицы 2 указана теоретическая зависимость, вычисленная из предположения, что звёзды до бесконечности располагаются примерно с такой же плотностью, как в окрестностях Солнца. При этом каждая новая, всё более слабая ступень будет содержать в 4 раза больше звёзд, чем предыдущая.

Используя данные таблицы 2, постройте графики для обоих участков и теоретической зависимости. Подпишите полученные кривые.



Одинаково ли меняется плотность звёзд по мере удаления от Солнца для участков, которые вы исследовали?

Почему экспериментальные зависимости отличаются от теоретической?

- ☐ Звёзды заканчиваются на этих расстояниях, это край Галактики.
- ☐ Сверхмассивная чёрная дыра в центре Галактики сместила видимое излучение звёзд в инфракрасную область.
- ☐ В этих областях расположены облака тёмной пыли («угольные мешки»), поглощающие свет от более далёких звёзд.
- ☐ Свой вариант.

Где расположено Солнце в Галактике?

Что входит в состав Галактики?

В чём заключается метод «звёздных черпаков»?

КОММЕНТАРИИ УЧИТЕЛЯ:

										ОТМЕТКА
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ОТМЕТКА

8-9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ
УДАЛЕНИЯ ГАЛАКТИК
ПО ИХ СПЕКТРАМ

ЦЕЛЬ:

Вычислить скорости удаления галактик по красному смещению линии H_{α} в их спектрах, построить график зависимости скорости удаления от расстояния до галактики и проанализировать его.

ПРИБОРЫ
И МАТЕРИАЛЫ:

Лабораторный спектр линии H , фотографии пяти галактик и их спектры, карандаш, линейка, калькулятор.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
СВЕДЕНИЯ:

Американский астроном Эдвин Хаббл обнаружил, что в спектрах далёких галактик линии смещены в красную сторону относительно их нормального положения. Это явление назвали **красным смещением**. Количественно красное смещение z характеризуется относительным изменением длины волны спектральных линий:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0},$$

где λ_0 — длина волны спектральной линии в лаборатории; λ — в наблюдаемом спектре.

По известному красному смещению можно определить скорость удаления (или приближения) галактики:

$$v = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = c \cdot z,$$

где $c = 3 \cdot 10^5$ км/с — скорость света.

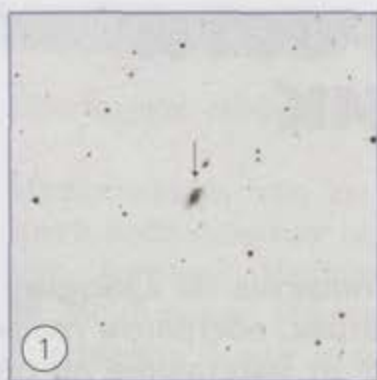
В этой работе используются спектры галактик, полученные с помощью виртуального спектроскопа: <https://www.cfa.harvard.edu/seuforum/galSpeed/>.

ХОД РАБОТЫ:

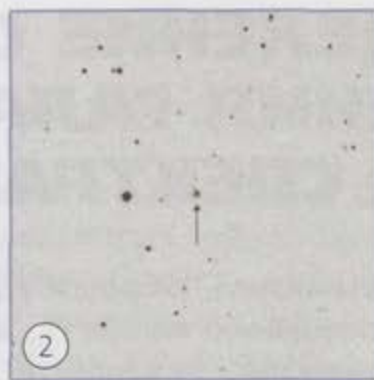
Даны изображения галактик, имеющих примерно одинаковые физические размеры.

Расположите галактики по их удалённости от поверхности Земли: от самых близких до самых далёких (запишите их номера).

Объясните, почему вы расположили галактики таким образом.



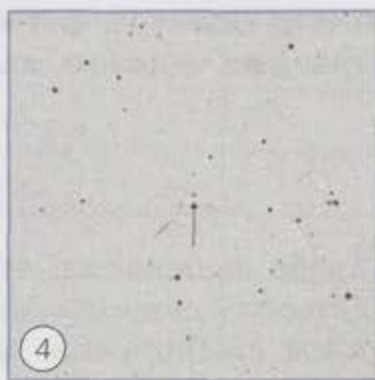
Галактика № 1



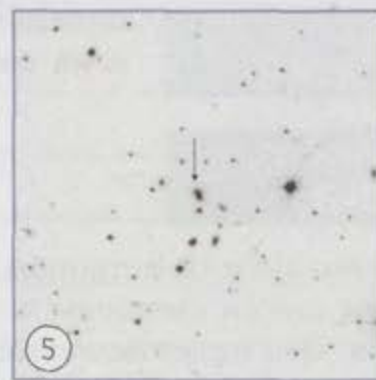
Галактика № 2



Галактика № 3

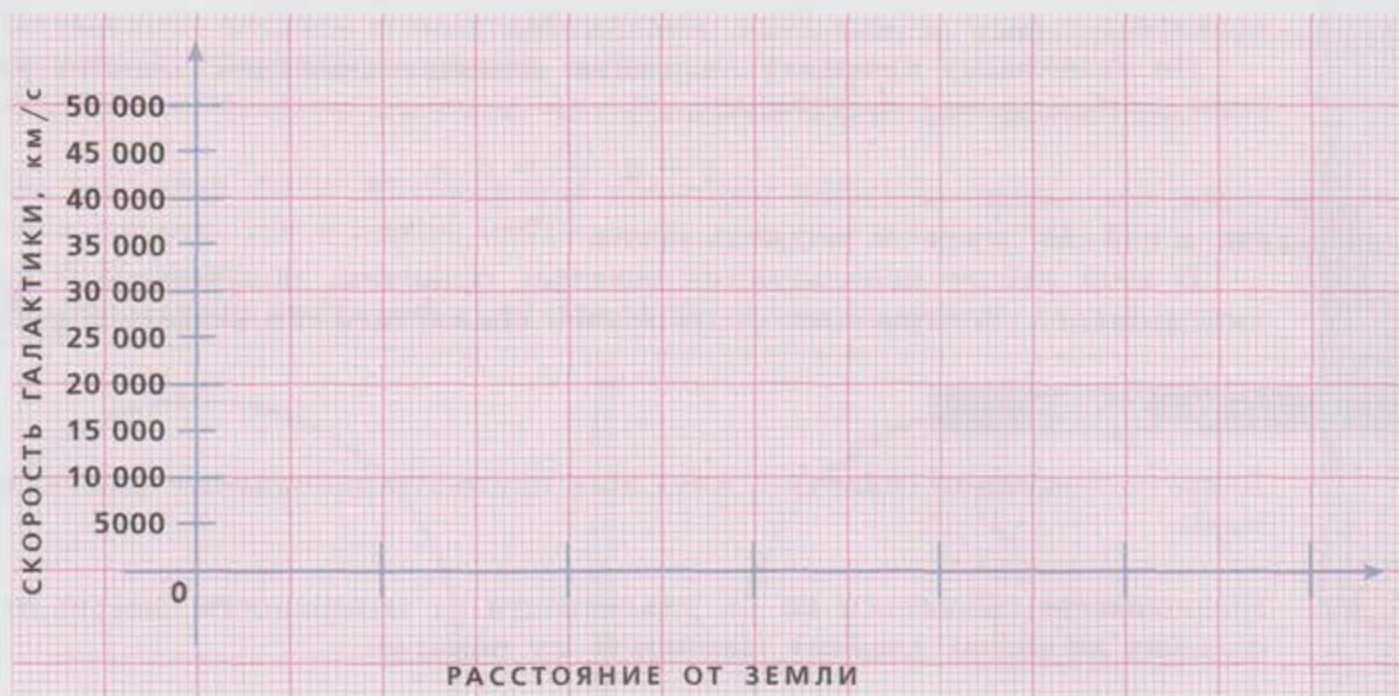


Галактика № 4



Галактика № 5

Подпишите номера галактик по их удалённости от Земли на горизонтальной оси диаграммы, считая, что в точке 0 расположена Земля.



На рисунках 1 и 2 показаны лабораторный спектр водорода (H) и спектры галактик. Для каждого объекта спектры представлены и в виде горизонтальной цветовой полосы (результат разложения света в спектрографе), и в виде графика изменения интенсивности излучения от длины волны. Яркая красная линия в спектрах галактик — линия водорода H_{α} — смещена относительно лабораторного значения $\lambda_{H_{\alpha}} \approx 656 \text{ нм}$.

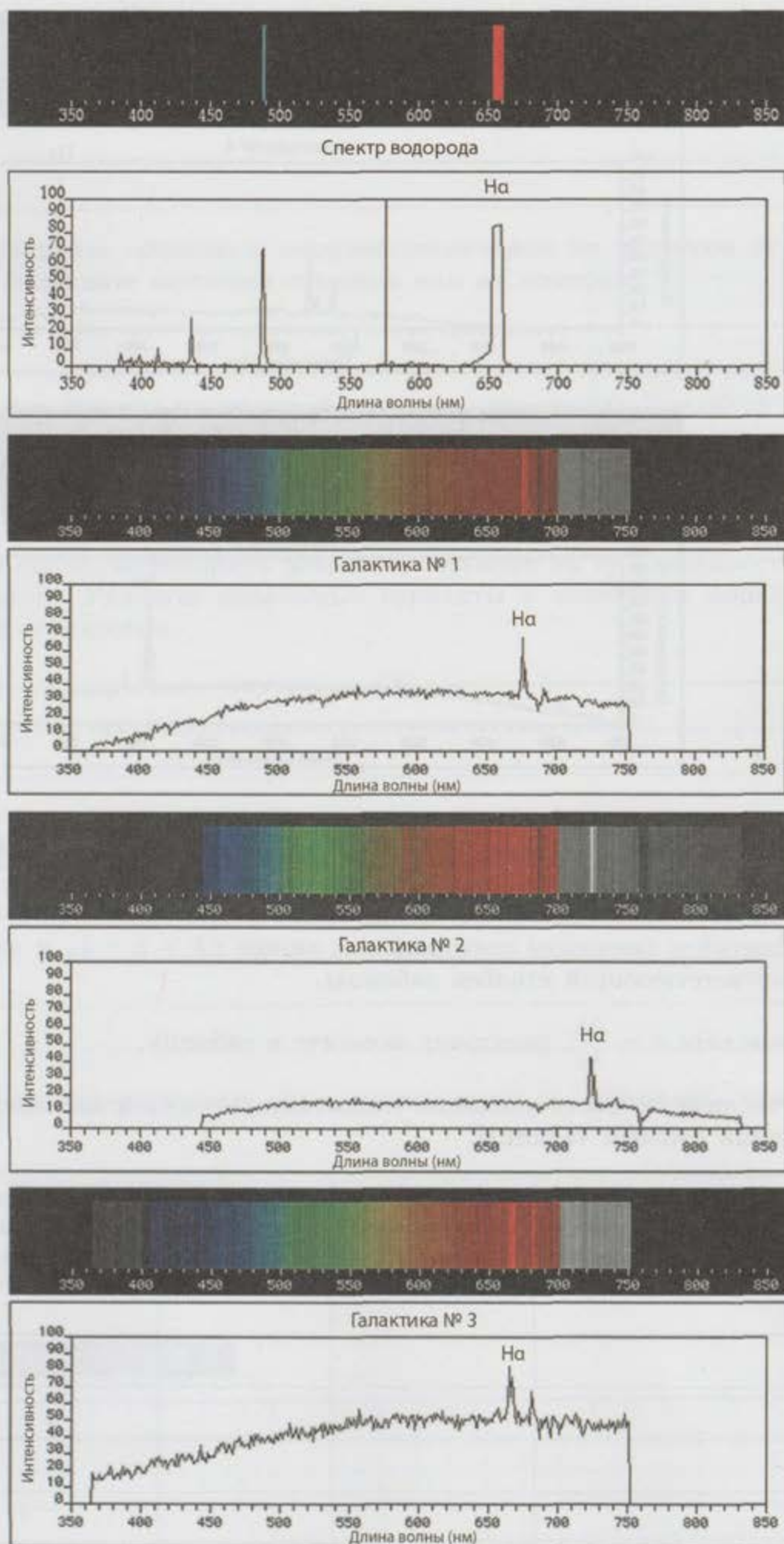


Рис. 1

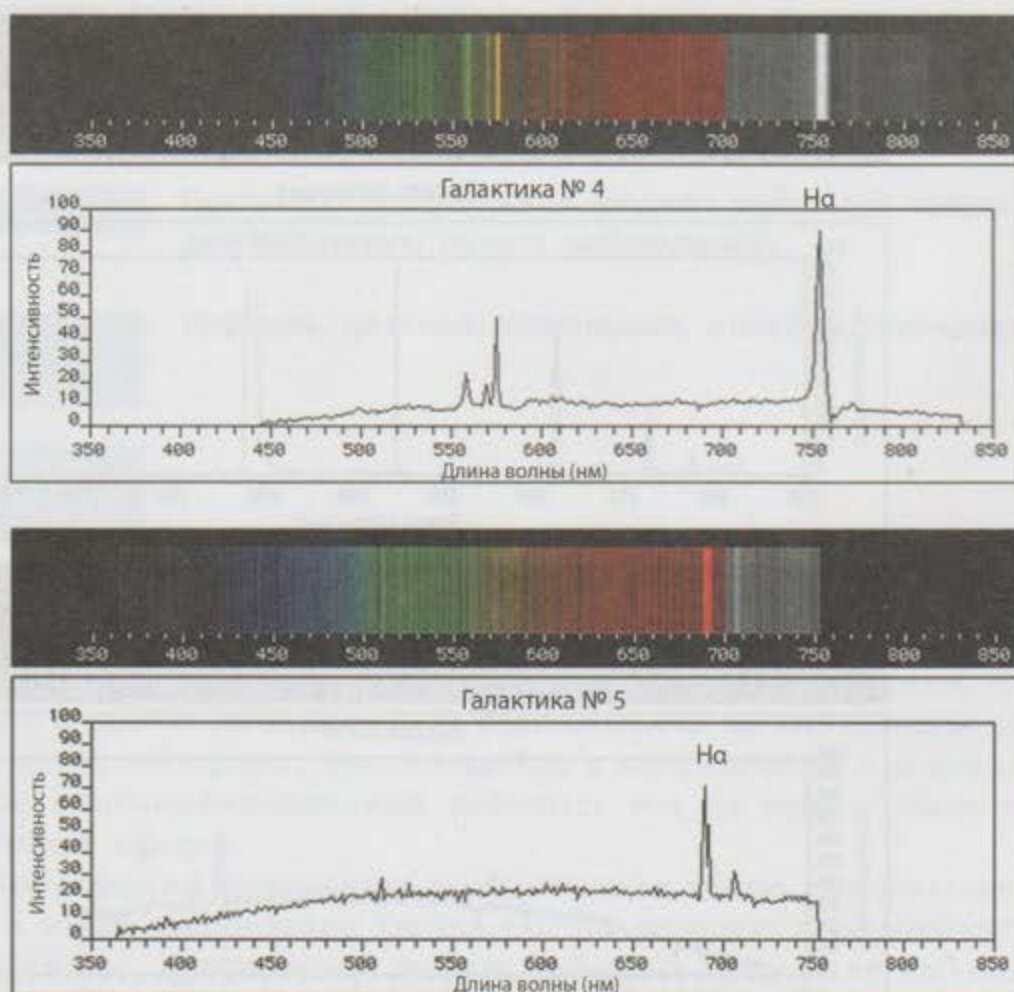


Рис. 2

Найдите линию водорода H_{α} в спектре каждой галактики и определите соответствующую длину волны λ . Результат занесите в таблицу.

Посчитайте смещение спектральной линии $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_H$ и запишите результат в соответствующий столбец таблицы.

Вычислите $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_H}$, результат занесите в таблицу.

Вычислите скорость удаления галактики $v = c \cdot z$ и запишите результат в последний столбец таблицы.

Галактика	Длина волны λ водорода в спектре галактики, нм	Смещение спектральной линии $\Delta\lambda$	Красное смещение z	Скорость удаления галактики v , км/с	Расстояние до галактики, млн св. лет
1					
2					
3					
4					
5					

Для каждой галактики отметьте скорость удаления на диаграмме (по вертикальной оси). Постройте график зависимости скорости удаления галактик от расстояния до Земли.

Проанализируйте полученный график и сделайте вывод о соотношении расстояния до галактики и скорости её удаления.

О чём свидетельствует разбегание галактик?

Сформулируйте и запишите закон Хаббла.

Используя закон Хаббла, вычислите расстояния до галактик. Значение постоянной Хаббла $H = 68 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$. Полученные результаты занесите в таблицу и подпишите на диаграмме (горизонтальная ось). Проанализируйте, правильно ли вы расположили галактики, выполняя первое задание.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

■ В спектре галактики Андромеды наблюдается сдвиг спектральных линий в фиолетовую (коротковолновую) часть спектра. Какой вывод о движении этой галактики по отношению к нашей следует сделать на основании этого факта?

■ Какой физический смысл имеет постоянная Хаббла?

■ Используя закон Хаббла, определите максимальное расстояние, до которого можно наблюдать небесные тела.

КОММЕНТАРИИ УЧИТЕЛЯ:



10

ОЦЕНИВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
НАЛИЧИЯ ЖИЗНИ
НА ЭКЗОПЛАНЕТАХ

ЦЕЛЬ:

По снимкам экзопланет определить радиусы их орбит, вычислить температуру поверхности экзопланет и оценить возможность наличия жизни земного типа на них.

ПРИБОРЫ
И МАТЕРИАЛЫ:

Линейка с миллиметровыми делениями, карандаш, калькулятор.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
СВЕДЕНИЯ:

Планеты, обращающиеся вокруг других звёзд, называют *экзопланетами*. В настоящее время известно о многих тысячах экзопланет. И некоторые из них могут быть обитаемыми. Учёные считают, что жизнь земного типа возможна только тогда, если на поверхности планеты есть большое количество жидкой воды. Про такие планеты говорят, что они находятся в *зоне обитаемости*.

Для того чтобы определить, находится ли планета в зоне обитаемости, необходимо знать, сколько энергии планета получает от своей звезды. Как это оценить? Подобная задача предлагалась для решения десятиклассникам на практическом туре Санкт-Петербургской астрономической олимпиады в 2017 г. Воспользуемся методом, который предложен в решении этой задачи.

Будем считать, что планета поглощает как чёрное тело, её радиус R , планета находится на расстоянии a от звезды, светимость которой L . На планете установится температура T в том случае, если в единицу времени планета поглощает столько же энергии от звезды, сколько излучает сама. От своей звезды планета получает энергию:

$$\frac{L}{4\pi a^2} \cdot \pi R^2.$$

Вместе с тем согласно закону Стефана—Больцмана планета излучает энергию:

$$4\pi R^2 \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$ — постоянная Стефана—Больцмана. Приравняем эти выражения и выразим T :

$$T = \sqrt[4]{\frac{L}{16\pi\sigma a^2}}. \quad (1)$$

Таким образом, для оценки температуры планеты необходимо знать светимость звезды L , вокруг которой обращается планета, и среднее расстояние от планеты до звезды a , выраженное в метрах.

Светимость звезды, выраженную в светимостях Солнца, можно вычислить, если известна абсолютная звёздная величина M звезды:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{M_{\odot} - M}, \quad (2)$$

где светимость Солнца $L_{\odot} = 3,8 \cdot 10^{26}$ Вт, абсолютная звёздная величина Солнца $M_{\odot} = 4,8^m$. Абсолютную звёздную величину звезды найдём по формуле

$$M = m - 5 \lg r + 5, \quad (3)$$

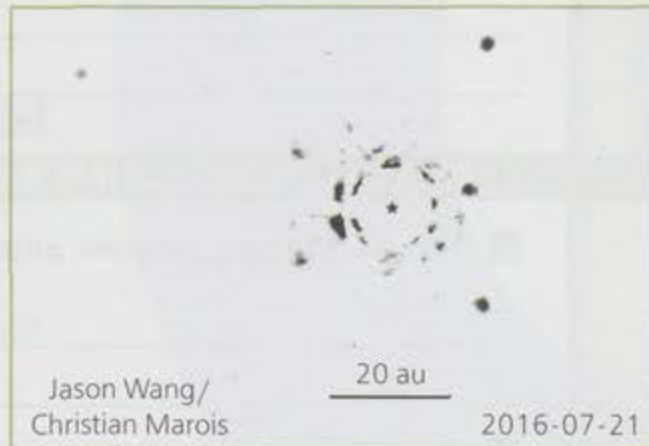
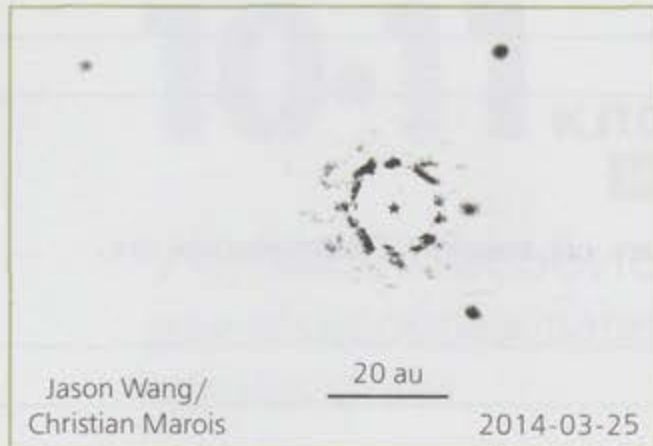
где r — расстояние до звезды, выраженное в парсеках; m — её видимая звёздная величина.

При оценке температуры планеты мы рассматривали её как абсолютно чёрное тело. Если планета подобна Земле, то поправочный коэффициент, определяемый альбедо Земли, будет порядка единицы. При вычислении температуры из этого коэффициента будет вычисляться корень 4-й степени, поэтому результат при таком допущении практически не изменится.

Кроме того, мы предполагали, что планета не имеет собственных источников энергии. Если это предположение ошибочно, то полученное описанным выше методом значение температуры планеты является минимально возможным. Для определения реальных температур нужна дополнительная информация.

ХОД РАБОТЫ:

На рисунке приведены негативные изображения четырёх экзопланет, обращающихся вокруг молодой звезды с видимой звёздной величиной 6^m , расположенной на расстоянии 130 световых лет от Солнца. Звезда на снимках экранирована, её положение отмечено звёздочкой. На снимках указаны даты их получения и масштаб: длина полосы соответствует 20 а.е. (20 au).



Обозначьте планеты на снимках цифрами 1, 2, 3, 4.

Считая орбиты планет круговыми, а плоскость орбит перпендикулярной лучу зрения, определите радиусы орбит. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу.

■ Измерьте расстояние от звезды до планеты с точностью до миллиметра на обоих снимках.

■ Вычислите среднее значение расстояния от звезды для каждой планеты.

■ Используя заданный масштаб (длина полосы соответствует 20 а.е.), определите расстояние от звезды до планеты в а.е.

■ Вычислите расстояния до планет в метрах.

Определите абсолютную звёздную величину звезды по формуле (3).

Таблица

Плa- не- та	Расстояние до звезды на снимке 1, мм	Расстояние до звезды на снимке 2, мм	Среднее расстояние до звезды, мм	Радиус орбиты планеты a , а.е.	Радиус орбиты планеты a , м	Температура планеты T , К
1						
2						
3						
4						

Вычислите светимость звезды L , используя формулу (2).

По формуле (1) определите температуру для каждой планеты. Результаты занесите в таблицу.

Сделайте вывод о возможности наличия жизни земного типа на каждой из планет.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

■ Какие методы поиска экзопланет вы знаете? Перечислите их.

■ Что такое зона обитаемости?

■ Что является необходимым условием возникновения жизни земного типа?

КОММЕНТАРИИ УЧИТЕЛЯ:

