

Л.А. Кирик
В.А. Захожай
К.П. Бондаренко



АСТРОНОМИЯ



РАЗНОУРОВНЕВЫЕ
САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ
РАБОТЫ С ПРИМЕРАМИ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ



ИЛЕКСА

**Л.А. КИРИК, В.А. ЗАХОЖАЙ,
К.П. БОНДАРЕНКО**

АСТРОНОМИЯ

**РАЗНОУРОВНЕВЫЕ
САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ
РАБОТЫ С ПРИМЕРАМИ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

3-е издание, переработанное

**Москва
ИЛЕКСА
2018**

УДК 373.161.1:53(076.1)

ББК 22.3я7

К43

Кирик Л.А., Захожай В.А., Бондаренко К.П.

К43 **Астрономия. Разноуровневые самостоятельные работы с примерами решения задач. — 3-е изд., перераб. — М.: ИЛЕКСА, 2018. — 80 с.: ил.**

ISBN 978-5-89237-461-3

Пособие содержит самостоятельные работы по всем важнейшим темам курса астрономии и предназначено для текущего контроля знаний учащихся.

Работы состоят из нескольких вариантов четырех уровней сложности (решите устно, первый уровень, второй уровень и третий уровень).

УДК 373.161.1:53(076.1)

ББК 22.3я7

ISBN 978-5-89237-461-3

© Кирик Л.А.,
Захожай В.А.,
Бондаренко К.П., 2018
© ИЛЕКСА, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга адресована учащимся общеобразовательных школ, гимназий, лицеев и всем интересующимся астрономией.

Данное учебное пособие составлено в полном соответствии с ныне действующей программой и учебниками.

Дидактические материалы предназначены для организации дифференцированной самостоятельной работы учащихся на уроках астрономии. Самостоятельные работы рассчитаны обычно на 10—15 минут урока и позволяют учителю в течение учебного года регулярно контролировать степень усвоения учащимися изучаемого материала. В течение учебного года ученик может переходить с одного уровня сложности на другой.

В настоящее время преподавание астрономии дает возможность формировать правильное научное мировоззрение, развивает интеллект учащихся, способствует пониманию связи между различными научными направлениями. Поэтому необычайно важным является то, что предлагая учащимся задания, учитель позволяет каждому ученику выбрать свой, доступный для него уровень и получить положительный результат в самостоятельной работе. Все самостоятельные работы составлены в четырех вариантах, отличающихся по уровню сложности заданий (решите устно, первый уровень, второй уровень и третий уровень).

Учитель может предлагать учащемуся самому выбирать уровень сложности. Этот выбор является *«обратной связью»* учитель — ученик и поможет учителю более объективно оценить степень усвоения изученного материала.

АСТРОНОМИЯ, ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ И СВЯЗЬ С ДРУГИМИ НАУКАМИ

Самостоятельная
работа

1

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Почему при наблюдении с Земли вам кажется, что в течение ночи звезды перемещаются по небесной сфере?

Решение. Потому что Земля вращается вокруг своей оси в направлении с запада на восток внутри небесной сферы.

2. Меняется ли вид звезды при наблюдении в телескоп в зависимости от увеличения?

Решение. Нет. Вследствие большой удаленности звезды видны в телескоп как точки даже при наибольшем возможном увеличении.

3. Чтобы вы посоветовали астрономам, которые хотят изучать Вселенную, используя гамма-лучи, рентгеновские лучи и ультрафиолетовое излучение?

Решение. Поднять инструменты над земной атмосферой. Современная техника делает возможным наблюдения в этих участках спектра с воздушных шаров, искусственных спутников Земли или даже с лунных обсерваторий.

Решите устно

1. Кто из перечисленных ниже ученых сыграл наибольшую роль в развитии астрономии? Укажите правильный ответ.
А. Галилео Галилей.

- Б. Николай Коперник.
 - В. Дмитрий Менделеев.
2. Мировоззрение людей во все эпохи менялось под влиянием достижений астрономии, так как она занимается... (укажите правильные утверждения)
- А. ...изучением объектов и явлений, независимых от человека;
 - Б. ...изучением вещества и энергии в условиях, невозможных для воспроизведения на Земле;
 - В. ...изучением наиболее общих закономерностей Мегамира, частью которого является сам человек.
3. Один из нижеперечисленных химических элементов был впервые обнаружен с помощью астрономических наблюдений. Укажите, какой именно.
- А. Железо.
 - Б. Гелий.
 - В. Кислород.
4. Каковы особенности астрономических наблюдений? Укажите правильные утверждения.
- А. Астрономические наблюдения в большинстве случаев пассивны по отношению к изучаемым объектам.
 - Б. Астрономические наблюдения в основном строятся на проведении астрономических экспериментов.
 - В. Астрономические наблюдения связаны с тем, что все светила находятся от нас так далеко, что ни на глаз, ни глядя в телескоп нельзя решить, какое из них ближе, какое дальше.
5. Вам предложили возвести астрономическую обсерваторию. Где бы вы ее построили? Укажите правильные утверждения.
- А. В пределах крупного города.
 - Б. Далеко от крупного города, высоко в горах.
 - В. На космической станции.
6. Для чего используют телескопы при астрономических наблюдениях? Укажите правильные утверждения.
- А. Для того, чтобы получить увеличенное изображение небесного тела.

Б. Для того, чтобы собрать больше света и увидеть более слабые звезды.

В. Для того, чтобы увеличить угол зрения, под которым виден небесный объект.

Первый уровень

1. Какова роль наблюдений в астрономии, и с помощью каких инструментов они выполняются?
2. Какие важнейшие классы небесных тел вам известны?
3. Какова роль космонавтики в исследовании Вселенной?
4. Перечислите астрономические явления, которые можно наблюдать в течение жизни.
5. Приведите примеры взаимосвязи астрономии и других наук.
6. Астрономия — одна из древнейших наук в истории человечества. С какой целью древний человек наблюдал за небесными светилами? Напишите, какие задачи люди в древности решали с помощью этих наблюдений.

Второй уровень

1. Почему происходит восход и заход светил на небесной сфере?
2. Естественные науки используют как теоретические, так и экспериментальные методы исследований. Почему основным методом исследований в астрономии является наблюдение? Возможна ли постановка астрономических экспериментов? Ответ обоснуйте.
3. Для решения каких задач используют телескопы при наблюдении звезд?
4. Увеличивает ли телескоп видимые размеры звезд? Ответ поясните.
5. Для чего используют телескопы при наблюдении Луны и планет?

6. Вспомните, какие сведения по астрономии вы получили в курсах природоведения, географии, физики, истории.

Третий уровень

1. Почему при наблюдениях Луны и планет в телескоп используют увеличение не более 500–600 раз?
2. По своему линейному диаметру Солнце больше Луны примерно в 400 раз. Почему их видимые угловые диаметры почти равны?
3. Каково назначение объектива и окуляра в телескопе?
4. Чем различаются оптические системы рефрактора, рефлектора и менискового телескопа?
5. Чему равны диаметры Солнца и Луны в угловой мере?
6. Как можно указать расположение светил друг относительно друга и относительно горизонта?

ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ

Самостоятельная
работа

2

ЗВЕЗДЫ И СОЗВЕЗДИЯ. НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ. ЗВЕЗДНЫЕ КАРТЫ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Опишите, какие суточные круги описывали бы звезды, если бы астрономические наблюдения проводились: а) на Северном полюсе; б) на экваторе.

Решение. а) Видимое движение всех звезд происходит против часовой стрелки (если смотреть в зенит) по окружностям, лежащим в плоскостях, параллельных плоскости, содержащей линию горизонта. Северный полюс мира при наблюдении с Северного полюса Земли находится в зените. б) Все звезды восходят под прямыми углами к горизонту в восточной части неба и также заходят за горизонт в западной. Небесная сфера вращается вокруг оси, проходящей через полюса мира, на экваторе расположенные точно на линии математического горизонта.

2. Выразите 10 ч 25 мин 16 с в градусной мере.

Решение. Земля за 24 ч совершает один оборот — 360° . Следовательно, 360° соответствуют 24 ч, тогда 15° — 1 ч, 1° — 4 мин, $15'$ — 1 мин, $15''$ — 1 с. Таким образом, 10 ч 25 мин 16 с составляют $156^\circ 19'$.

3. Определите по звездной карте экваториальные координаты Веги.

Решение. Заменим название звезды буквенным обозначением (α Лиры) и найдем ее положение на звезд-

ной карте. Через воображаемую точку проводим круг склонения до пересечения с небесным экватором. Дуга небесного экватора, которая лежит между точкой весеннего равноденствия и точкой пересечения круга склонения звезды с небесным экватором, является прямым восхождением этой звезды, отсчитанным вдоль небесного экватора навстречу видимому суточному обращению небесной сферы. Угловое расстояние, отсчитанное по кругу склонения от небесного экватора до звезды, соответствует склонению. Таким образом, получим значение близкое к точным координатам этой звезды: $\alpha = 18^{\text{h}}37^{\text{m}}$, $\gamma = +38^{\circ}47'$.

4. Определите моменты восхода и захода звезды α Большого Пса 22 декабря.

Решение. Накладной круг звездной карты поворачиваем так, чтобы звезда пересекла восточную часть горизонта. На лимбе напротив отметки даты 22 декабря находим местное время ее восхода. Располагая звездой в западной части горизонта, определяем местное время захода звезды.

Получаем: $T_{\text{м. восх}} = 20 \text{ ч } 20 \text{ мин}$; $T_{\text{м. зах}} = 5 \text{ ч}$.

5. Вычислите, во сколько раз Сириус ярче Полярной звезды.

Решение. По определению, при разности в одну звездную величину (1^{m}) видимая яркость звезд отличается примерно в 2,512 раза. Тогда разность в 5 звездных величин соответствует различию в яркости ровно в $2,512^5 = 100$ раз. Так, звезды 1-й величины в 100 раз ярче звезд 6-й величины. Следовательно, разность видимых звездных величин двух источников равна единице, когда один из них ярче другого в $\sqrt[5]{100}$ (эта величина примерно равна 2,512). В общем случае отношение видимой яркости двух любых звезд $I_1 : I_2$ связано с разностью их видимых звездных величин m_1 и m_2 простым соотношением: $I_1 : I_2 = 2,512^{m_2 - m_1}$.

Светила, яркость которых превосходит яркость звезд 1^m , имеют *нулевые* и *отрицательные* звездные величины (0^m , -1^m и т. д.).

Звездные величины Сириуса m_1 и Полярной звезды m_2 находим из таблицы («Список наиболее ярких звезд»). При этом $m_1 = -1,5^m$, а $m_2 = 2,0^m$. Прологарифмируем обе части указанного выше соотношения:

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = (m_2 - m_1) \lg 2,512 = (2,1 + 1,6) \cdot 0,4 = 1,48.$$

Таким образом, $\lg \frac{I_1}{I_2} = 1,48$. Отсюда, $\frac{I_1}{I_2} = 30$, т. е. Сириус ярче Полярной звезды в 25 раз.

6. Как вы думаете, можно ли долететь на ракете до какого-нибудь созвездия?

Решение. Созвездие — это условно определенный участок неба, в пределах которого оказались светила, находящиеся от нас на разных расстояниях. Поэтому выражение «долететь до созвездия» лишено смысла.

Решите устно

1. Что такое созвездие? Укажите правильное утверждение.
 - А. Группа звезд, физически связанных между собой, например, имеющих одинаковое происхождение.
 - Б. Группа ярких звезд, расположенных в пространстве близко друг к другу.
 - В. Под созвездием понимают область неба в пределах некоторых установленных границ.
2. Что такое небесная сфера? Укажите правильное утверждение.
 - А. Круг земной поверхности, ограниченный линией горизонта.
 - Б. Воображаемая сферическая поверхность произвольного радиуса, на которую проектируются небесные светила.
 - В. Воображаемая линия, которая касается поверхности земного шара в точке, где расположен наблюдатель.

3. Что называется склонением? Укажите правильное утверждение.
 - А. Наименьшее угловое расстояние светила от небесного экватора.
 - Б. Угол между линией горизонта и светилом.
 - В. Угловое расстояние светила от точки зенита.
4. Что называется прямым восхождением? Укажите правильное утверждение.
 - А. Угол между плоскостью небесного меридиана и линией горизонта.
 - Б. Угол между полуденной линией и осью видимого вращения небесной сферы (осью мира).
 - В. Угол между плоскостями больших кругов, один проходит через полюсы мира и данное светило, а другой — через полюсы мира и точку весеннего равноденствия, находящуюся на небесном экваторе.
5. Звезды имеют разную яркость и цвет. К каким звездам относится наше Солнце? Укажите правильный ответ.
 - А. К белым.
 - Б. К желтым.
 - В. К красным.
6. Самые яркие звезды греческий астроном Гиппарх назвал звездами первой величины, а самые слабые — звездами шестой величины. Во сколько раз звезды 1-й величины ярче звезд 6-й величины? Укажите правильный ответ.
 - А. В 100 раз.
 - Б. В 50 раз.
 - В. В 25 раз.

Первый уровень

1. Почему Полярная звезда не меняет своего положения относительно горизонта при суточном движении неба?
2. Как располагается ось мира относительно земной оси? Относительно плоскости небесного меридиана?
3. В каких точках небесный экватор пересекается с линией горизонта?

4. В каком направлении относительно сторон горизонта вращается Земля вокруг своей оси?
5. В каких точках центральный меридиан пересекается с горизонтом?
6. Как проходит плоскость математического горизонта относительно поверхности земного шара?

Второй уровень

1. Найдите на звездной карте яркие объекты (определите их название), имеющие приблизительные координаты:
1) $\alpha = 15^{\text{h}}20^{\text{m}}$, $\delta = -9^{\circ}20'$; 2) $\alpha = 3^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta = +47^{\circ}50'$.
2. Определите по звездной карте экваториальные координаты следующих звезд: 1) α Большой Медведицы; 2) β Кита.
3. Выразите 9 ч 15 мин 11 с в градусной мере.
4. Найдите на звездной карте яркие объекты (определите их название), имеющие приблизительные координаты:
1) $\alpha = 19^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = +28^{\circ}00'$; 2) $\alpha = 4^{\text{h}}36^{\text{m}}$, $\delta = +16^{\circ}30'$.
5. Определите по звездной карте экваториальные координаты следующих звезд:
1) α Весов; 2) γ Ориона.
6. Выразите 13 ч 20 мин в градусной мере.
7. В каком созвездии находится Луна, если ее координаты $\alpha = 20^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = -20^{\circ}$?
8. Определите по звездной карте созвездие, в котором находится галактика М 31, если ее координаты $\alpha = 0^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta = +41^{\circ}16'$.

Третий уровень

1. Самые «слабые» звезды, доступные для наблюдения крупнейшими телескопами мира, — это звезды 31-й звездной величины. Во сколько раз они слабее, чем звезды 1-й величины?
2. У звезды блеск меняется от минимума к максимуму на 3 звездные величины. Во сколько раз меняется ее блеск?

3. Найдите отношение блеска двух звезд, если их видимые звездные величины равны соответственно $m_1 = 1,00^m$ и $m_2 = 12,00^m$.
4. Во сколько раз Солнце выглядит ярче, чем Сириус, если звездная величина Солнца $m_1 = -26,74^m$, а Сириуса $m_2 = -1,46^m$?
5. Вычислите во сколько раз звезда α Большого Пса ($m_1 = -1,46^m$) ярче звезды α Лебеда ($m_2 = 1,25^m$).
6. Вычислите во сколько раз звезда Сириус ($m_1 = -1,46^m$) ярче Веги ($m_2 = 0,03^m$).

Самостоятельная
работа

3

ГОДИЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА. ЭКЛИПТИКА. ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА И ЛУНЫ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. На сколько смещается Солнце по эклиптике каждый день?

Решение. В течение года Солнце описывает по эклиптике круг в 360° , поэтому $\frac{360^\circ}{365 \text{ дней}} \approx 1^\circ$ в день.

2. Почему солнечные сутки на 4 мин длиннее звездных?

Решение. Потому что, Земля, вращаясь вокруг собственной оси периодом 23 ч 56 мин, также движется по орбите вокруг Солнца. Земля должна сделать чуть больше одного оборота вокруг своей оси (т. е. на 4 мин), чтобы для одной и той же точки Земли Солнце вновь наблюдалось на небесном меридиане.

3. Объясните, почему Луна ежедневно восходит в среднем на 50 мин позже, чем накануне.

Решение. В данный день в момент восхода Луна находится в определенном созвездии. Спустя 23 ч 56 мин,

когда Земля завершит один полный оборот вокруг своей оси, это созвездие снова взойдет, но Луна за это время переместится примерно на 13° в восточном направлении по отношению к звездам, и ее восход поэтому наступит на 50 мин позже.

4. Почему до того, как космические аппараты облетели Луну и сфотографировали ее обратную сторону, люди могли видеть лишь одну ее половину?

Решение: Период вращения Луны вокруг оси равен периоду ее обращения вокруг Земли, так что она всегда обращена к Земле одной и той же стороной.

5. Какой наибольшей высоты достигает Вега ($\alpha = 18^h 37^m$, $\delta = +38^\circ 47'$) в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$)?

Решение. Воспользуемся для решения задачи чертежом небесной сферы в проекции на плоскость меридиана.

ZZ^1 — отвесная линия;

PP^1 — ось мира;

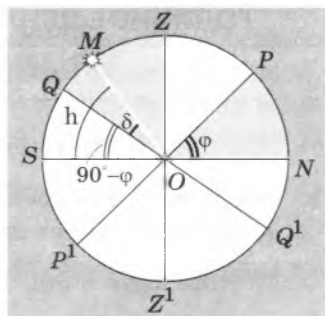
QQ^1 — небесный экватор;

NS — линия горизонта.

h — высота светила M в верхней кульминации;

δ — склонение светила;

φ — широта местности.



Если географическая широта известна, то легко вычислить высоту светила в верхней кульминации:

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

Тогда $h = 90^\circ - 55^\circ 45' + 38^\circ 47' = 72^\circ 2'$.

6. Почему в новолуние Луна с Земли не видна?

Решение. Луна в это время находится по ту же сторону от Земли, что и Солнце, а поэтому к нам обращена темная, не освещенная Солнцем половина лунного шара.

В таком положении Земли, Луны и Солнца для жителей Земли может произойти солнечное затмение. Оно бывает не каждое новолуние, так как Луна проходит обычно в этой фазе выше или ниже диска Солнца.

7. Опишите, как изменилось положение Солнца на небесной сфере с начала учебного года до дня проведения самостоятельной работы.

Решение. По звездной карте находим положение Солнца на эклиптике 1 сентября и в день проведения самостоятельной работы (например, 27 октября). 1 сентября Солнце находилось в созвездии Льва и имело склонение $\delta = +10^\circ$. Двигаясь по эклиптике, Солнце 23 сентября пересекло небесный экватор и перешло в южное полушарие, 27 октября оно находится в созвездии Весов и имеет склонение $\delta = -13^\circ$. То есть к 27 октября Солнце движется по небесной сфере, все меньше поднимаясь над горизонтом.

8. Почему затмения не наблюдаются каждый месяц?

Решение. Поскольку плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости земной орбиты, то, например, в новолунии Луна не бывает на линии, соединяющей центры Солнца и Земли, а потому лунная тень пройдет мимо Земли и солнечного затмения не будет. По аналогичной причине Луна не в каждое полнолуние проходит через конус земной тени.



*Неблагоприятные условия
для наступления затмений*

9. Во сколько раз Луна быстрее Солнца перемещается по небу?

Решение. Солнце и Луна движутся по небу в направлении, противоположном суточному вращению неба. За сутки Солнце проходит приблизительно 1° , а Луна — 13° . Следовательно, Луна перемещается по небу в 13 раз быстрее Солнца.

10. Чем отличается по форме утренний серп Луны от вечернего?

Решение. В северном полушарии Земли до полнолуния, которое наблюдается в вечерние часы, правый край Луны светлый и имеет форму полукруга. Луна находится на расстоянии в $20\text{—}50^\circ$ восточнее (левее) Солнца. После полнолуния Луна наблюдается в утренние часы: левая часть её яркая, имеющая форму полукруга (напоминает букву «С»). В это время луна находится на расстоянии в $20\text{—}50^\circ$ к западу (вправо) от Солнца.

Решите устно

1. Что называется эклиптикой? Укажите правильное утверждение.

- А. Ось видимого вращения небесной сферы, соединяющая оба полюса мира.
- Б. Угловое расстояние светила от небесного экватора.
- В. Воображаемая линия, по которой Солнце совершает свое видимое годовое движение на фоне созвездий.

2. Укажите, какие из перечисленных ниже созвездий являются зодиакальными.

- А. Водолей.
- Б. Стрелец.
- В. Заяц.

3. Укажите, какие из перечисленных ниже созвездий не являются зодиакальными.

- А. Телец.
 - Б. Змееносец.
 - В. Рак.
4. Что называется звездным (или сидерическим) месяцем? Укажите правильное утверждение.
- А. Период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд.
 - Б. Промежуток времени между двумя полными затмениями Луны.
 - В. Промежуток времени между новолунием и полнолунием.
5. Что называется синодическим месяцем? Укажите правильное утверждение.
- А. Промежуток времени между полнолунием и новолунием.
 - Б. Промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны.
 - В. Время обращения Луны вокруг своей оси.
6. Укажите длительность синодического месяца Луны.
- А. 27,3 сут.
 - Б. 30 сут.
 - В. 29,5 сут.

Первый уровень

1. Почему на звездных картах не указано положение планет?
2. В каком направлении происходит видимое годичное движение Солнца относительно звезд?
3. В каком направлении происходит видимое движение Луны относительно звезд?
4. Какое полное затмение (солнечное или лунное) продолжительнее? Почему?
5. Найдите на звездной карте созвездие, в котором Солнце находилось 1 мая.
6. Вследствие чего в течение года изменяется положение точек восхода и захода Солнца?

Второй уровень

1. а) Что такое эклиптика? Какие созвездия на ней находятся?
б) Нарисуйте, как выглядит Луна в последней четверти. В какое время суток она видна в этой фазе?
2. а) Чем обусловлено годичное видимое движение Солнца по эклиптике?
б) Нарисуйте, как выглядит Луна между новолунием и первой четвертью.
3. а) Найдите на звездной карте созвездие, в котором сегодня находится Солнце.
б) Почему полные лунные затмения наблюдаются в одном и том же месте Земли во много раз чаще, нежели полные солнечные затмения?
4. а) Можно ли рассматривать годовое движение Солнца по эклиптике как доказательство обращения Земли вокруг Солнца?
б) Нарисуйте, как выглядит Луна в первой четверти. В какое время суток она видна в этой фазе?
5. а) Какова причина видимого света Луны?
б) Нарисуйте, как выглядит Луна во второй четверти. В какое время суток она выглядит в этой фазе?
6. а) Вследствие чего изменяется полуденная высота Солнца в течение года?
б) Нарисуйте, как выглядит Луна между полнолунием и последней четвертью.

Третий уровень

1. а) Сколько раз в течение года можно увидеть все фазы Луны?
б) Полуденная высота Солнца равна 30° , а его склонение равно 19° . Определите географическую широту места наблюдения.
2. а) Почему мы видим с Земли только одну сторону Луны?

- б) На какой высоте в Калининграде ($\varphi = 54^{\circ}43'$) происходит верхняя кульминация звезды Антарес ($\alpha = 16^{\text{h}}29^{\text{m}}$, $\delta = -26^{\circ}26'$)? Сделайте соответствующий чертеж.
3. а) Вчера наблюдалось лунное затмение. Когда можно ожидать ближайшее солнечное затмение?
б) Звезда Мира со склонением $-2^{\circ}59'$ наблюдалась в Екатеринбурге на высоте $30^{\circ}11'$ южного неба. Определите географическую широту Екатеринбурга.
4. а) Почему полная фаза лунного затмения продолжается гораздо дольше, нежели полная фаза солнечного затмения?
б) Какова полуденная высота Солнца 21 марта в пункте, географическая высота которого равна 52° ?
5. а) Каков минимальный промежуток времени между солнечными и лунными затмениями?
б) На какой географической широте Солнце будет кульминировать в полдень на высоте 45° над горизонтом, если в этот день его склонение равно -10° ?
6. а) Луна видна в последней четверти. Может ли через неделю быть лунное затмение? Ответ поясните.
б) Какова географическая широта места наблюдения, если 22 июня Солнце наблюдалось в полдень на высоте 61° ?

СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Самостоятельная
работа

4

ВИДИМЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Как отличить по внешнему виду планету от звезды?

Решение. Внешние отличия следующие: звезды мерцают, а свет от планет ровный, спокойный. При наблюдении в телескоп у планет могут наблюдаться диски, а звезды всегда выглядят светящимися точками.

2. Какую планету, доступную для наблюдения невооруженным глазом, трудно отыскать на небе? Почему?

Решение. Меркурий — самую близкую к Солнцу планету. Из-за своей близости к Солнцу эта планета большую часть года находится в сумеречное время суток. Поскольку блеск Меркурия меняется еще и от $-1,9^m$ до $5,5^m$, планета плохо заметна.

3. Определите синодический период обращения Меркурия, зная, что его звездный период обращения вокруг Солнца равен 0,24 года.

Решение. Угловая скорость Земли (угол, описываемый ею за сутки) составляет $\frac{360^\circ}{T_\oplus}$, угловая скорость

Меркурия — $\frac{360^\circ}{T}$, где T_\oplus — число суток в году, T — звездный период обращения планеты, выраженный в сутках. Следовательно, за сутки Земля обгоняет

планету на $\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}$. Если S — синодический период планеты в сутках, то через S суток Земля обгонит планету на 360° , т. е.

$$\left(\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T} \right) S = 360^\circ, \text{ или } \frac{1}{S} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T}.$$

Для внутренних планет, обращающихся быстрее, чем Земля, $T_\oplus > T$ (планета будет обгонять Землю), надо писать:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_\oplus}.$$

Откуда получаем $S = \frac{T \cdot T_\oplus}{T_\oplus - T}$, $S = \frac{0,24 \cdot 1}{0,76} = 0,316$ (года), или 115,3 сут.

4. Вычислите период обращения Нептуна вокруг Солнца, зная, что его среднее расстояние от Солнца равно 30 а. е.

Решение. Воспользуемся третьим законом Кеплера:

$\frac{T_N^2}{T_\oplus^2} = \frac{a_N^3}{a_\oplus^3}$, где T_N — звездный период Нептуна, a_N — среднее расстояние от Солнца (большая полуось орбиты), T_\oplus — звездный период Земли, a_\oplus — большая полуось земной орбиты (1 а. е.).

Тогда $T_N = \sqrt{\frac{T_\oplus^2 \cdot a_N^3}{a_\oplus^3}}$, откуда $T_N = \sqrt{\frac{1 \cdot 30^3}{1}} = 164,3$ (года).

5. Определите расстояние от Солнца до Урана, зная, что период обращения Урана вокруг Солнца равен 84 г.

Решение. По третьему закону Кеплера $\frac{T_U^2}{T_3^2} = \frac{a_U^3}{a_3^3}$, откуда

$a_U = \sqrt[3]{\frac{T_U^2 \cdot a_3^3}{T_3^2}}$, тогда $a_U = \sqrt[3]{\frac{84^2 \cdot 1}{1}} \approx 19,2$ (а. е.).

6. Синодический период планеты 500 сут. Определите большую полуось ее орбиты и звездный период обращения.

Решение. Большую полуось орбиты можно определить из третьего закона Кеплера: $\frac{T^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3}$, откуда $a^3 = \frac{a_{\oplus}^3 T^2}{T_{\oplus}^2}$,

а звездный период — из соотношения между сидерическим и синодическим периодами:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T} \quad (\text{если планета внешняя})$$

$$\text{или } \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}} \quad (\text{если планета внутренняя}).$$

Тогда $T = \frac{T_{\oplus} S}{S - T_{\oplus}}$ (для внешней) и $T = \frac{S \cdot T_{\oplus}}{T_{\oplus} + S}$ (для внутренней).

$$T = \frac{365 \cdot 500}{500 - 365} = 1352 \text{ (сут)} = 3,7 \text{ года (внешняя планета),}$$

$$T = \frac{365 \cdot 500}{365 + 500} = 211 \text{ (сут)} = 0,58 \text{ года (внутренняя планета).}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{(3,7)^2 \cdot 1}{1}} = 2,4 \text{ (а. е.) — если планета внешняя,}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{(0,58)^2 \cdot 1}{1}} = 0,69 \text{ (а. е.) — если планета внутренняя.}$$

Решите устно

1. Укажите, какие из перечисленных ниже планет являются внутренними.
 - А. Венера.
 - Б. Меркурий.
 - В. Марс.

2. Укажите, какие из перечисленных ниже планет являются внешними.
 - А. Земля.
 - Б. Юпитер.
 - В. Уран.
3. По каким орбитам движутся планеты вокруг Солнца? Укажите правильный ответ.
 - А. По окружностям.
 - Б. По эллипсам.
 - В. По параболам.
4. Как изменяются периоды обращения планет с удалением планеты от Солнца?
 - А. Чем дальше планета от Солнца, тем больше ее период обращения вокруг него.
 - Б. Период обращения планеты не зависит от ее расстояния до Солнца.
 - В. Чем дальше планета от Солнца, тем меньше ее период обращения.
5. Укажите, какие из перечисленных ниже планет могут находиться в верхнем соединении.
 - А. Венера.
 - Б. Марс.
 - В. Плутон.
6. Укажите, какие из перечисленных ниже планет могут наблюдаться в противостоянии.
 - А. Меркурий.
 - Б. Юпитер.
 - В. Сатурн.

Первый уровень

1. Может ли быть Меркурий видимым по вечерам на востоке?
2. Планета видна на угловом расстоянии 120° от Солнца. Внешняя ли эта планета или внутренняя?
3. Почему соединения не считают удобными конфигурациями для наблюдения внутренних и внешних планет?

4. В каких конфигурациях хорошо видны внешние планеты?
5. В каких конфигурациях хорошо видны внутренние планеты?
6. В какой конфигурации могут быть и внутренние, и внешние планеты?

Второй уровень

1. а) Какие планеты не могут находиться в верхнем соединении?
б) Чему равен звездный период обращения Юпитера, если его синодический период равен 399 сут?
2. а) Какие планеты могут наблюдаться в противостоянии? Какие не могут?
б) Как часто повторяются противостояния Марса, синодический период которого 2,1 земных года?
3. а) В какой конфигурации и почему удобнее всего наблюдать Марс?
б) Определите звездный период обращения Марса, зная, что его синодический период равен 780 земных сут.
4. а) Какие планеты не могут находиться в нижнем соединении?
б) Через какой промежуток времени повторяются моменты максимальной удаленности Венеры от Земли, если ее звездный период равен 225 земных сут?
5. а) Какие планеты могут быть видны рядом с Луной во время полнолуния?
б) Чему равен звездный период обращения Венеры вокруг Солнца, если ее верхние соединения с Солнцем повторяются через земных 1,6 года?
6. а) Можно ли наблюдать Венеру утром на западе, а вечером на востоке? Ответ поясните.
б) Какой будет звездный период обращения внешней планеты вокруг Солнца, если ее противостояния будут повторяться через земных 1,5 года?

Третий уровень

1. а) Как меняется значение скорости движения планеты при ее перемещении от афелия к перигелию?
б) Большая полуось орбиты Марса 1,5 а. е. Чему равен звездный период его обращения вокруг Солнца?
2. а) В какой точке эллиптической орбиты потенциальная энергия искусственного спутника Земли минимальна, а в какой — максимальна?
б) Какова большая полуось орбиты Меркурия при движении вокруг Солнца, если его период обращения вокруг Солнца равен 0,241 земного года?
3. а) В какой точке эллиптической орбиты кинетическая энергия искусственного спутника Земли минимальна и в какой — максимальна?
б) Звездный период обращения Юпитера вокруг Солнца составляет 12 лет. Каково среднее расстояние от Юпитера до Солнца?
4. а) Что такое орбита планеты? Какую форму имеют орбиты планет? Могут ли столкнуться большие планеты при своем движении вокруг Солнца?
б) Определить продолжительность марсианского года, если Марс удален от Солнца в среднем на 228 млн. км.
5. а) В какое время года линейная скорость движения Земли вокруг Солнца наибольшая (наименьшая) и почему?
б) Чему равна большая полуось орбиты Урана, если звездный период обращения этой планеты вокруг Солнца составляет 84 земных года?
6. а) Как изменяются кинетическая, потенциальная и полная механическая энергия планеты при ее движении вокруг Солнца?
б) Период обращения Венеры вокруг Солнца равен 0,615 земного года. Определите расстояние от Венеры до Солнца.

**ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
СИЛ ТЯГОТЕНИЯ**

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Оцените массу Солнца, считая расстояние между Солнцем и Землей равным 150 млн км. Земля движется вокруг Солнца со скоростью 30 км/с.

Решение. Центробежное ускорение Земли при ее движении вокруг Солнца $a = \frac{v^2}{R}$. Это же ускорение можно найти из второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения:

$$a = \frac{F}{M_3} = G \frac{M_3 M_1}{R^2 M_3} = G \frac{M_c}{R^2}.$$

Отсюда находим массу Солнца:

$$M_c = \frac{a R^2}{G} = \frac{v^2 R}{G}.$$

Проверим единицы величин:

$$[M_c] = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{м} \cdot \text{кг}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{м} \cdot \text{кг}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}} = \text{кг}.$$

Подставим числовые значения:

$$M_c = \frac{(3 \cdot 10^4)^2 \cdot 150 \cdot 10^9}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ (кг)}.$$

Таким образом, масса Солнца примерно равна $2 \cdot 10^{30}$ кг.

2. Масса некоторой планеты в 3 раза меньше массы Земли. Каков радиус этой планеты, если ускорение свободного падения на ее поверхности такое же, как на Земле?

Решение. Как следует из второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения, $mg = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$ (m — масса тела, находящегося на поверхности Земли). Отсюда получаем: $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$. Аналогично: $g = G \frac{M_{\pi}}{R_{\pi}^2}$, откуда следует, что $R_{\pi} = R_3 \sqrt{\frac{M_{\pi}}{M_3}}$.

Подставляя числовые значения и вычисляя, получаем, что радиус этой планеты 3700 км.

3. Как изменяются сила тяжести, действующая на космонавта, и его вес, когда он перемещается с Земли на орбитальную станцию?

Решение. Сила тяжести уменьшается незначительно: она зависит только от массы тела и расстояния до центра Земли, которое при перемещении на орбитальную станцию изменяется всего на несколько процентов. Если бы не сила притяжения к Земле, орбитальная станция покинула бы околоземную орбиту и улетела далеко в космическое пространство. А вот вес космонавта в орбитальной станции равен нулю, поскольку космонавт вместе со станцией находится в состоянии свободного падения.

4. Масса голубой планеты в 6 раз больше массы Земли. Каков радиус этой планеты, если ускорение свободного падения на ее поверхности такое же, как на Земле?

Решение. Как следует из второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения, $mg = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$ (m — масса тела, находящегося на поверхности Земли). Отсюда $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$. Аналогично получаем $a = G \frac{M}{R^2}$ (здесь

a — ускорение свободного падения на поверхности голубой планеты). Приравняв выражения для a и g ,

$$\text{находим } R = R_3 \sqrt{\frac{M}{M_3}},$$

$$[R] = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{кг}}} = \text{м}.$$

$$R = 6,4 \cdot 10^6 \sqrt{6} = 15,7 \cdot 10^6 \text{ (м)}.$$

Таким образом, радиус планеты равен 15700 км.

5. Во сколько раз нужно было бы увеличить скорость вращения Земли вокруг своей оси, чтобы тела на экваторе весили вдвое меньше, чем на полюсе? Считайте, что форма Земли не изменилась бы.

Решение. Тела на экваторе участвуют в суточном вращении Земли, при этом их центростремительное ускоре-

рение $a = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ направлено к центру Земли

и вес тела равен $m(g - a)$. Здесь ω и T — угловая скорость и период суточного вращения Земли. Со-

гласно условию $a = \frac{g}{2}$, откуда $T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$.

Подставив числовые значения, получим $T = 2$ ч. Таким образом, чтобы тела на экваторе весили вдвое меньше, чем на полюсе, скорость вращения Земли необходимо увеличить в 12 раз.

Заметим, что в этом случае форма столь быстро вращающейся планеты сильно отличалась бы от сферической (планета была бы сильно сплюснута у полюсов).

6. Во сколько раз следует «укоротить» сутки, чтобы на экваторе ощущалась невесомость? Не будет ли каких-либо неприятных побочных эффектов от этого?

Решение. Невесомость на экваторе будет наблюдаться при $a = g$, где a — центростремительное ускорение то-

чек на экваторе. Именно при таком ускорении тела на экваторе будут фактически находиться в состоянии свободного падения. Поскольку $a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ (здесь R — радиус Земли, T — продолжительность суток),

$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$. То есть сутки следует укоротить в

$n = \frac{T_0}{T} = \frac{T_0}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{R}}$ раз (здесь $T_0 = 24$ ч). Подстановка дает

$T = 5080$ с = 1 ч 25 мин и $n = 17$.

«Побочные эффекты» будут ужасающие! Молекулы атмосферы из-за трения о Землю будут разгоняться, и даже при гораздо меньшем увеличении скорости вращения Земли значительная их часть получит возможность преодолеть земное тяготение и улететь в окружающее космическое пространство. Земля начнет быстро терять атмосферу. При наступлении на экваторе невесомости этот процесс станет катастрофически быстрым — возникнут могучие воздушные потоки от полярных областей к экватору, а от экватора — в открытый космос.

Решите устно

1. Орбитальная космическая станция движется по круговой орбите на высоте, равной радиусу Земли. На борту станции находится космонавт массой 80 кг. Укажите правильное утверждение.

А. На орбитальную космическую станцию действует только сила тяготения со стороны Земли.

Б. На космонавта, находящегося в орбитальной космической станции, не действует сила тяготения со стороны Земли.

В. Вес космонавта, находящегося в кабине орбитальной станции, равен 800 Н.

2. Какую горизонтальную скорость необходимо сообщить телу вблизи поверхности Земли, чтобы оно двигалось по круговой орбите около Земли? Укажите правильный ответ.
 - А. Приблизительно 16 км/с.
 - Б. Приблизительно 11,2 км/с.
 - В. Приблизительно 7,9 км/с.
3. Укажите правильное утверждение. В фантастическом произведении описана планета, радиус которой вдвое больший радиуса Земли, а масса меньше в 4 раза. Ускорение свободного падения возле поверхности этой планеты...
 - А. ...больше в 2 раза, чем ускорение свободного падения на Земле.
 - Б. ...меньше в 4 раза, чем ускорение свободного падения на Земле.
 - В. ...меньше в 16 раз, чем ускорение свободного падения на Земле.
4. Искусственный спутник движется вокруг Земли по круговой орбите. Укажите правильное утверждение.
 - А. Скорость спутника направлена к центру Земли.
 - Б. Спутник движется с постоянным по модулю и направлению ускорением.
 - В. Спутник притягивает Землю с такой же по модулю силой, с какой Земля притягивает этот спутник.
5. Искусственный спутник движется вокруг Земли по круговой орбите. Высота спутника над поверхностью Земли 6400 км. Укажите правильное утверждение.
 - А. Ускорение спутника больше ускорения свободного падения у поверхности Земли.
 - Б. Движение спутника происходит под действием только силы тяготения.
 - В. Ускорение спутника в два раза меньше ускорения свободного падения у поверхности Земли.
6. На какой высоте над поверхностью Земли ускорение свободного падения в три раза меньше, чем на поверхности Земли? Укажите правильный ответ.

А. $\sqrt{3}R_{\text{Земли}}$.

Б. $(\sqrt{3} - 1)R_{\text{Земли}}$.

В. $3R_{\text{Земли}}$.

Первый уровень

1. Зависит ли скорость движения искусственного спутника Земли от его массы?
2. Во сколько раз сила притяжения Землей искусственного спутника больше у поверхности Земли, чем на высоте трех земных радиусов над поверхностью?
3. Два одинаковых спутника вращаются вокруг Земли по круговым орбитам, радиусы которых в 2 и 4 раза больше радиуса Земли. Во сколько раз отличаются силы притяжения спутников к Земле?
4. С каким примерно ускорением движутся искусственные спутники Земли по низким околоземным орбитам?
5. Космический корабль массой 8 т приблизился к орбитальной космической станции массой 20 т на расстояние 500 м. Найдите силу их взаимного притяжения.
6. С какой силой притягивается к Земле космонавт, находящийся на высоте 400 км от ее поверхности? Масса космонавта 70 кг, радиус Земли 6400 км.

Второй уровень

1. Ускорение свободного падения у поверхности Луны равно $1,6 \text{ м/с}^2$. Найдите первую космическую скорость для Луны, если ее радиус равен 1740 км.
2. На каком расстоянии от поверхности Земли сила притяжения космического корабля к ней станет в 36 раз меньше, чем вблизи поверхности Земли?
3. На какой высоте над поверхностью Земли сила тяготения уменьшается на 10 %? Радиус Земли примите 6400 км.

4. Чему равна первая космическая скорость для планеты, у которой масса и радиус в два раза больше, чем у Земли?
5. Ускорение свободного падения на Венере составляет 0,9 земного, а радиус Венеры равен 0,95 радиуса Земли. Найдите первую космическую скорость для Венеры.
6. Определите скорость искусственного спутника, который обращается по круговой орбите на высоте 600 км над поверхностью Земли.

Третий уровень

1. Определите вес космонавта массой 70 кг во время старта, если ракета поднимается с ускорением 30 м/с^2 .
2. На какой высоте над Землей сила тяготения, действующая на тело массой 3 кг, равна 15 Н? Радиус Земли 6400 км.
3. С каким ускорением стартует с Земли вертикально вверх ракета, если космонавт испытывает четырехкратную перегрузку?
4. Спутник обращается по круговой орбите на небольшой высоте над некоторой планетой. Период обращения спутника 3 часа. Считая планету однородным шаром, определите ее плотность.
5. Период обращения искусственного спутника Земли по круговой орбите 24 ч. На какой высоте находится спутник?
6. Искусственный спутник обращается по круговой орбите вокруг Земли со скоростью 6 км/с. После маневра он движется вокруг Земли по другой круговой орбите со скоростью 5 км/с. Во сколько раз изменились в результате маневра радиус орбиты и период обращения?

ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Самостоятельная
работа

6

ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Почему некоторые планеты кажутся ярче, чем самые яркие звезды?

Решение. Планеты несравненно ближе к нам, чем звезды, поэтому отраженный планетами свет Солнца ярче, чем собственный свет далеких звезд. Например, планета Венера в среднем в 10 раз ярче самой яркой звезды неба — Сириуса.

2. Зависит ли смена времен года от расстояния Земли от Солнца (в перигелии Земля бывает около 3 января, а в афелии — 5 июля)?

Решение. Не зависит. Известно, что в январе в северном полушарии зима, а в июле — лето. Смена времен года на Земле (и других планетах) связана с углами наклона земной оси к плоскости орбиты (который не меняется на протяжении года) и падения солнечных лучей на земную поверхность (изменяющимся в течение года).

3. Что было бы доступнее — наблюдать поверхность Земли с Марса или поверхность Марса с Земли?

Решение. Поверхность Марса доступнее для наблюдения. Во-первых, она в отличие от поверхности Земли, редко бывает скрыта облаками и мелкими твердыми частицами, которые поднимаются над марсианской поверхностью при возникновении пылевых бурь. Во-вторых, при минимальном расстоянии от Земли Марс находится в противостоянии и с Земли видно целое полушарие планеты. Земля же для наблюдателя, располагающегося на Марсе, имеет при том же

расстоянии вид узкого серпа, так как находится близ соединения с Солнцем.

4. Можно ли, находясь в любой точке лунной поверхности, наблюдать затмение Солнца? Можно ли наблюдать затмение Земли?

Решение. Нельзя, так как затмение Солнца можно наблюдать лишь с полушария, обращенного к Земле, а затмения Земли вообще не происходят.

5. Можно ли с Луны видеть Землю в момент новоземелия (с Земли Луна в новолунии не видна)?

Решение. Можно, потому что, находясь в этот момент обычно иже или выше Солнца, Земля теоретически представлялась бы крайне узким серпом, обращенным выпуклостью к Солнцу, и практически была бы видна на черном небе Луны. Солнце подошло бы к Земле и ее миновало, а серп Земли перекатывался бы постепенно в это время с одной стороны на другую.

6. Каковы климатические и температурные особенности природы планеты Меркурий? Чем они объясняются?

Решение. На Меркурии практически нет атмосферы. Поэтому велики суточные колебания температуры. Вследствие близости к Солнцу температура на дневном полушарии достигает $+430^{\circ}\text{C}$, а на ночном — -190°C . Поверхность планеты покрыта множеством кратеров, как и поверхность Луны. Структура поверхностного слоя, видимо, такая же, как и на Луне.

Решите устно

1. Какое из приведенных ниже небесных тел относится к планетам земной группы? Укажите правильный ответ.
А. Меркурий.
Б. Фобос.
В. Нептун.
2. Планеты земной группы отличаются от планет-гигантов ... (выберите правильное утверждение)
А. ... меньшей массой.

- Б. ... меньшей плотностью.
 - В. ... большим числом спутников.
3. По звездному периоду обращения и средней плотности определите, какая из приведенных ниже планет относится к планетам земной группы Солнечной системы. Укажите правильное утверждение.
- А. Звездный период — 225 сут, средняя плотность — $5,2 \text{ г/см}^3$.
 - Б. Звездный период — 29,67 года, средняя плотность — $0,7 \text{ г/см}^3$.
 - В. Звездный период — 11,87 лет, средняя плотность — $1,3 \text{ г/см}^3$.
4. Планета Меркурий... (выберите правильное утверждение)
- А. ...похожа внешне на Луну.
 - Б. ...имеет большой период обращения вокруг Солнца.
 - В. ...содержит в веществе коры много окислов железа.
5. Планета Марс... (выберите правильные утверждения)
- А. ...имеет два спутника.
 - Б. ...окружена очень плотной атмосферой.
 - В. ...имеет самые низкие горы среди планет Солнечной системы.
6. Среди планет земной группы планета Венера... (выберите правильные утверждения)
- А. ...вращается вокруг оси в сторону, противоположную той, в которую вращаются все планеты.
 - Б. ...обладает самой высокой температурой (около 500°C) на поверхности.
 - В. ...имеет давление меньшее атмосферного давления на Земле.

Первый уровень

1. В чем сходство и различие атмосфер планет земной группы?
2. В чем сходство и различие поверхностей планет земной группы?
3. Чем объясняется отсутствие атмосфер у Луны и большинства спутников планет?

4. Какие явления, обусловленные наличием у Земли магнитного поля, наблюдаются в верхних слоях атмосферы?
5. Почему на поверхности Луны и Меркурия столь сильно различаются дневные и ночные температуры?
6. Какую роль в природе Земли играет ее атмосфера?

Второй уровень

1. а) Чем обусловлены различия в плотности атмосфер планет?
б) В чем причины более высокой температуры атмосферы Венеры по сравнению с земной?
2. а) Чем объясняется наличие у Земли радиационного пояса? Какие частицы входят в его состав?
б) Почему изменения на лунной поверхности происходят намного медленнее, чем на Земле?
3. а) Каково внутреннее строение Земли и планет земной группы?
б) Почему с Земли всегда видно только одну сторону Луны?
4. а) От чего зависит температура поверхности различных планет?
б) Какие два основных фактора, постоянно изменяющие форму земных гор, не принимают участия в формировании лунных гор?
5. а) Перечислите основные элементы рельефа поверхности, характерные для всех планет земной группы.
б) Венера похожа на Землю размером, массой и плотностью. Однако вы не сможете жить там. Объясните, почему?
6. а) В чем сходство Земли и Марса? Чем они отличаются друг от друга?
б) Сравните суточные колебания температуры на Венере, Земле и Марсе. Объясните причины различия этих колебаний.

Третий уровень

1. Определите скорость движения Луны относительно Земли и период ее обращения вокруг Земли. Считайте, что Луна движется по круговой орбите радиуса 384 000 км.

2. В момент солнечного затмения действующие на Луну силы притяжения Земли и Солнца направлены противоположно. Какая из этих сил больше и во сколько раз? Расстояние от Земли до Солнца $1,5 \cdot 10^8$ км. Расстояние от Луны до Земли 384 000 км.
3. Вычислить отношение масс Солнца и Земли по следующим данным: Луна совершает 13 обращений в течение года; среднее расстояние от Солнца до Земли в 390 раз больше расстояния от Луны до Земли.
4. Искусственный спутник Земли движется на высоте 670 км по круговой орбите. Найти скорость движения спутника.
5. Спутник делает 16 оборотов за время одного оборота Земли. Определить период и скорость спутника, считая его орбиту круговой.
6. Найти радиус круговой орбиты искусственного спутника Земли, имеющего период обращения $T = 1$ сут.

Самостоятельная
работа

7

ПЛАНЕТЫ – ГИГАНТЫ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Какие планеты со спутниками могут быть названы миниатюрными планетными системами?

Решение. К миниатюрным планетным системам могут быть отнесены планеты-гиганты с их спутниками, размеры и массы которых существенно различаются. У этих планет открыто 172 спутника, включая: у Юпитера — 69, у Сатурна — 62, у Урана — 27 и у Нептуна — 14.

2. Что характерно для осевого вращения спутников планет-гигантов вокруг своей оси?

Решение. У большинства известных спутников планет-гигантов периоды осевого вращения совпадают

с орбитальными периодами обращения вокруг планет, поэтому спутники всегда обращены к планете одной стороной.

3. Объясните, что представляет собой на Юпитере Большое Красное пятно.

Решение. Знаменитое Большое Красное пятно — это колоссальный атмосферный вихрь (ураган). В течение более трехсот пятидесяти лет наблюдений оно изменяло свой размер, яркость и цвет. Большое Красное пятно вращается против часовой стрелки с периодом 6 земных суток. Большое Красное пятно во много раз превосходит размеры Земли. Его ширина 15 000 км, а длина 30 000 км (100 лет назад эти размеры были вдвое больше).

4. Почему Юпитер иногда считают «несостоявшейся» звездой?

Решение. Юпитер представляет собой огромный, быстро вращающийся жидкий шар, увенчанный толстой атмосферой, состоящей в основном из водорода и гелия. По-видимому, он имеет относительно небольшое железосиликатное ядро. Юпитер массивнее, чем все остальные планеты и их спутники вместе взятые. Реакции ядерного синтеза в недрах Юпитера начались бы, если бы его масса была в 12 раз больше (это непродолжительные условия для горения дейтерия). Если массу Юпитера «увеличить» в 80 раз — возникли бы условия для протон-протонного цикла ядерных реакций (как в солнечных недрах).

5. Звездный период обращения Сатурна вокруг Солнца составляет 29,5 лет. Каково среднее расстояние от Сатурна до Солнца?

Решение. По третьему закону Кеплера $\frac{T_c^2}{T_3^2} = \frac{a_c^3}{a_3^3}$, отку-

$$\text{да } a_c = \sqrt[3]{\frac{T_c^2 \cdot a_3^3}{T_3^2}}, \text{ тогда } a_c = \sqrt[3]{\frac{(29,5)^2 \cdot 1}{1}} \approx 9,5 \text{ (а. е.)}.$$

6. Определите синодический период обращения Юпитера, зная, что его звездный период обращения вокруг Солнца равен 11,86 года.

Решение. Угловая скорость Земли (угол, описываемый ею за сутки) составляет $\frac{360^\circ}{T_\oplus}$, угловая скорость Юпитера — $\frac{360^\circ}{T}$, где T_\oplus — число суток в году, T — звездный период обращения планеты, выраженный в сутках. Следовательно, за сутки Земля обгоняет планету на $\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}$. Если S — синодический период Юпитера в сутках, то через S суток Земля обгонит Юпитер на 360° , т. е.

$$\left(\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T} \right) S = 360^\circ, \text{ или } \frac{1}{S} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T}.$$

Откуда получаем $S = \frac{T_\oplus T}{T - T_\oplus}$, $S = \frac{11,86 \cdot 1}{11,86 - 1} = 1,09$ (года), или 399 суток.

Решите устно

1. Какое из приведенных ниже небесных тел относится к планетам-гигантам? Укажите правильный ответ.
 - А. Марс.
 - Б. Плутон.
 - В. Нептун.
2. Планеты-гиганты отличаются от планет земной группы ... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...довольно медленным вращением вокруг своей оси.
 - Б. ...большой плотностью.
 - В. ...большим числом спутников.
3. Почему температуры верхних слоев планет-гигантов Солнечной системы очень низки (меньше -100°C)? Укажите правильный ответ.
 - А. Потому что эти планеты быстро вращаются вокруг своих осей.

- Б. Потому что эти планеты находятся далеко от Солнца.
- В. Потому что эти планеты имеют большие массы.
4. По звездному периоду обращения и средней плотности определите, какая из приведенных ниже планет относится к планетам-гигантам. Укажите правильное утверждение. Какая это планета?
- А. Звездный период — 29,67 года, средняя плотность — $0,7 \text{ г/см}^3$.
- Б. Звездный период — 1,88 года, средняя плотность — $4,0 \text{ г/см}^3$.
- В. Звездный период — 0,62 года, средняя плотность — $5,24 \text{ г/см}^3$.
5. Все планеты-гиганты обладают большим числом спутников. Укажите правильные утверждения.
- А. Спутники планет-гигантов могут иметь атмосферу.
- Б. У Юпитера не менее 27 спутников.
- В. У Урана 8 спутников.
6. Основными компонентами атмосферы планет-гигантов являются... (укажите правильное утверждение)
- А. ...водород, гелий.
- Б. ...углекислый газ, азот.
- В. ...метан, аммиак.

Первый уровень

1. Какими физическими характеристиками планеты-гиганты существенно отличаются от планет земной группы?
2. Из каких химических элементов, в основном, состоит атмосфера Юпитера?
3. Возле каких планет-гигантов, кроме Сатурна, обнаружено существование колец? Что они собой представляют?
4. Какой из спутников Сатурна обладает мощной атмосферой, состоящей в основном из азота?
5. Перечислите характерные особенности планет-гигантов, отличающие их от планет земной группы.
6. Почему планеты-гиганты имеют малые средние плотности?

Второй уровень

1. Расскажите о химическом составе атмосфер планет-гигантов.
2. Каково внутреннее строение планет-гигантов?
3. Чем объясняется наличие у Юпитера и Сатурна плотных и протяженных атмосфер?
4. Какова особенность вращения планет-гигантов вокруг оси?
5. Какие наблюдения доказывают, что кольца Сатурна не являются сплошными?
6. Какие формы рельефа характерны для поверхности большинства спутников планет?

Третий уровень

1. Уран вращается вокруг оси «лежа на боку»: ось вращения планеты расположена почти в плоскости орбиты планеты. Как это сказывается на смене дня и ночи на планете; на смене времен года?
2. Почему кольца Сатурна (и других планет-гигантов) не могут быть сплошными (твердыми или жидкими) образованиями? Какие факты убеждают нас в том, что кольца — совокупность мелких тел, обращающихся вокруг планеты в качестве ее микроспутников?
3. Химический состав облаков на планетах весьма различен. Каковы общие свойства этих облаков? Какие процессы лежат в основе их образования на различных планетах?
4. Сравните химический состав планет-гигантов и планет земной группы. Объясните причину существенных отличий.
5. Среди планет солнечной системы Юпитер и Сатурн обладают наибольшим сжатием. Объясните причину этого явления.
6. Юпитер излучает значительно больше тепловой энергии, чем получает ее от Солнца. Какие наиболее вероятные внутренние процессы на Юпитере можно считать причиной этого?

МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

- 1. Опишите изменения во внешнем облике кометы по мере ее движения по орбите вокруг Солнца.**

Решение. Когда комета находится еще далеко от Солнца, она выглядит как слабое светлое пятно. Это кометное ядро, состоящее из замерзших газов и пыли. По мере приближения к Солнцу комета начинает нагреваться, с поверхности ядра испаряются частицы газа и пыли, которые окружают комету, образуя кому, простирающуюся от сотен тысяч до миллиона (а иногда, и несколько более) километров от ядра. Вблизи Солнца благодаря наличию «солнечного ветра» у кометы формируется хвост. Чем ближе к Солнцу подходит комета, тем она ярче и тем длиннее ее хвост, вследствие большего ее облучения и интенсивного выделения газов. После облета Солнца комета вновь замерзает. Вдали от Солнца у кометы опять остается только одно ядро.

- 2. Почему комета всегда удаляется от Солнца хвостом вперед?**

Решение. Кометные хвосты образуются в результате давления солнечного излучения и солнечного ветра (поток частиц, летящих от Солнца), которые всегда направлены от Солнца, так что хвост кометы также всегда направлен от Солнца. Хотя световое давление очень мало в обычных условиях, его действие, тем не менее, может оказаться существенным. Внутри звезд при температуре в несколько десятков миллионов градусов давление электромагнитного излучения должно достигать громадного значения. Силы светового давления наряду с гравитационными силами играют существенную роль во внутризвездных процессах.

Иногда у комет образуются по два хвоста, второй из которых является пылевым. Он направлен также в противоположную сторону от Солнца, но несколько смещен от направления газового хвоста в сторону противоположную её направления орбитального движения. Динамика пылевых частичек более сложная, чем газовых частичек.

3. Опишите состав и возможное происхождение метеоритов.

Решение. Железные метеориты состоят в основном из железа (около 90 %) и никеля; железокосмические — из железа, никеля и силикатов; каменные имеют высокое содержание силикатов, а железа и никеля лишь 10 % по массе; возможные источники происхождения: пояс астероидов, распад ядер комет.

4. Почему иногда называют кометы «видимым ничто»? Как было доказано, что кометы не имеют сколько-нибудь значительного твердого ядра?

Решение. Кометы не вызывают никаких возмущений в движениях планет, возле которых они проходят, а сами, наоборот, подвергаются с их стороны сильными возмущениями. Предполагается, что их общая масса равна тысячной доли массы Земли.

При прохождении комет в непосредственной близости от Солнца (как бы по солнечному диску) кометы совершенно сливаются с общим солнечным фоном, и на этом фоне никогда не было замечено никаких темных пятен. В докосмическую эру этот наблюдаемый факт интерпретировался тем, что ядра комет так малы, что их невозможно заметить даже с помощью оптических инструментов. Прямые измерения диаметров кометных ядер, которые проводились с различных космических аппаратов, показали, что они равны менее 20 км. Не исключается существование комет и с большими размерами.

5. Каковы периоды обращения астероидов, отстоящих от Солнца на 2,2 а. е. и 3,6 а. е.?

Решение. По третьему закону Кеплера $\frac{T^2}{T_3^2} = \frac{a^3}{a_3^3}$, откуда

$$T = \sqrt{\frac{a^3 \cdot T_3^2}{a_3^3}}, \text{ тогда } T_1 = \sqrt{\frac{(2,2)^3 \cdot 1}{1^3}} \approx 3,3 \text{ (года)}; T_2 = \sqrt{\frac{(3,6)^3 \cdot 1}{1^3}} \approx 6,8 \text{ (года)}.$$

6. Какова большая полуось орбиты кометы Галлея, если период ее обращения 76 лет?

Решение. По третьему закону Кеплера $\frac{T^2}{T_3^2} = \frac{a^3}{a_3^3}$, тогда

большая полуось орбиты кометы $a = \sqrt[3]{76^2} = 18 \text{ а. е.}$

Решите устно

- Между орбитами каких двух планет находится пояс астероидов? Укажите правильный ответ.
 - Между орбитами Юпитера и Сатурна.
 - Между орбитами Марса и Юпитера.
 - Между орбитами Земли и Марса.
- Укажите, какой из нижеперечисленных астероидов является самым крупным.
 - Юнона.
 - Веста.
 - Церера
- Болид — это... (укажите правильное утверждение)
 - ...остаток метеорного тела, не сгоревший в земной атмосфере и выпавший на Землю.
 - ...яркое световое явление (не менее -4^m , либо имеющее заметные угловые размеры), вызванное вторжением в земную атмосферу метеорного тела.
 - ...крупный метеорит, упавший на Землю.
- Вся масса кометы практически сосредоточена... (укажите правильное утверждение)
 - ...в ядре кометы.
 - ...в оболочке (голове) кометы.
 - ...в хвосте кометы.

5. Известны различные виды метеоритов... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...каменные.
 - Б. ...стальные.
 - В. ...ледяные.
6. Метеором называется... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...тело (или небольшая крупница вещества), которое движется вокруг Солнца.
 - Б. ...явление сгорания метеорного тела в земной атмосфере.
 - В. ...остаток метеорного тела, выпавший на Землю.

Первый уровень

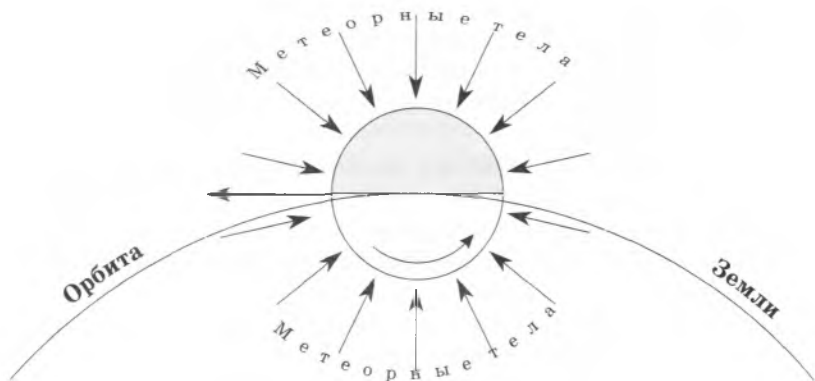
1. Какова форма большинства астероидов? Каковы их размеры?
2. Какие бывают метеориты по химическому составу?
3. Между орбитами каких планет вращается вокруг Солнца наибольшее количество астероидов?
4. Можно ли на Луне наблюдать метеоры? Ответ поясните.
5. В чем состоит отличие между метеором и метеоритом?
6. Как можно отличить на звездном небе астероид от звезды?

Второй уровень

1. Почему хвосты комет обычно направлены в сторону, противоположную Солнцу? Ответ объясните.
2. Какие из перечисленных явлений можно наблюдать на Луне: метеоры, кометы, затмения, полярные сияния? Ответ поясните.
3. Где в Солнечной системе располагаются орбиты большинства астероидов? Чем орбиты некоторых астероидов отличаются от орбит больших планет?
4. Какая связь комет с метеорами и астероидами? Ответ поясните.
5. Почему иногда происходят метеорные дожди? Объясните, что такое радиант метеорного потока?
6. В каком состоянии находится вещество, составляющее ядро кометы и ее хвост? Чем обусловлено образование хвостов комет?

Третий уровень

1. Опишите, как изменяется скорость кометы при движении по орбите и вид крупных комет с момента появления до исчезновения. Ответ дополните рисунком.
2. Опишите природу кометы. Какие физические процессы происходят в ее ядре, голове и хвосте при приближении кометы к Солнцу?
3. «Видимое ничто» — образно назвал кометы французский ученый Бабинэ. Какие физические характеристики имел в виду ученый в этом метком определении природы комет?
4. Выясните основные физические факторы, которые являются причиной распада периодических комет и постепенное превращение их в метеорные потоки.
5. Есть ли принципиальная разница в физической природе мелкого астероида, крупного метеорита, ядра кометы? Ответ объясните.
6. Нетрудно заметить, что число наблюдаемых метеоров к утру увеличивается, причем «утренние» метеоры более белые, чем «вечерние». С помощью рисунка объясните причину этих явлений.



СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ

Самостоятельная
работа

9

СОЛНЦЕ — БЛИЖАЙШАЯ ЗВЕЗДА

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Почему за циклом пятнообразования на Солнце тщательно наблюдают с Земли?

Решение. Тщательные наземные наблюдения цикла пятнообразования связаны с тем, что он является индикатором солнечной активности. Солнце наиболее активно, когда на нем наблюдается большое число вспышек и пятен. Наименьшая активность — в годы минимума пятен. В годы активного Солнца электромагнитное поле Земли испытывает воздействие Солнца и напряженность его изменяется по весьма сложному закону. Вследствие этого бывают сбои в работе электромагнитных приборов, ухудшение связи. Электромагнитные бури вызывают резкое ухудшение здоровья людей, увеличивают число инфарктов.

2. Определите мощность излучения Солнца, если солнечная постоянная равна $q = 1,37 \cdot 10^3$ Вт/м². Что такое солнечная постоянная? Почему так важно знать, постоянна ли она или изменяется со временем?

Решение. Полная мощность излучения Солнца определяется, как

$$w = 4\pi a_{\oplus}^2 q,$$

где a_{\oplus} — среднее расстояние от Земли до Солнца.

$$\text{Тогда } w = 4 \cdot 3,14 \cdot (1,5 \cdot 10^{11})^2 \cdot 1,37 \cdot 10^3 \approx 3,9 \cdot 10^{26} \text{ (Вт)}.$$

Солнечная постоянная — количество солнечной энергии, которое каждую секунду попадает на единичную поверхность верхней границы земной атмосферы. Эта энергия обеспечивает примерно такое же количество тепла и света в неделю, как и все имеющиеся запасы угля, нефти и природного газа.

Изменение солнечной постоянной может привести к сильным изменениям атмосферы и климата Земли.

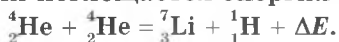
3. Зная солнечную постоянную для Земли, вычислите величину солнечной постоянной для Венеры и для Марса, если расстояние от Солнца до Венеры 0,723 а. е., а до Марса — 1,524 а. е.

Решение. Солнечная постоянная для Венеры будет в

$$\left(\frac{1}{0,723}\right)^2 \text{ раз больше, т. е. } 2,62 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

Для Марса — аналогично: в $\left(\frac{1}{1,524}\right)^2$ раз меньше, т. е. 590 Вт/м².

4. Проведите энергетический расчет термоядерной реакции синтеза ядер гелия-4 в результате чего образуются ядра лития-7 и протон (${}^1_1\text{H}$), которая была составляющей первичного нуклеосинтеза во Вселенной, и выясните, выделяется или поглощается энергия в этой реакции:



Решение. Масса изотопа атома гелия ${}^4_2\text{He}$ равна 4,00260 а. е. м. (m_A), масса изотопа атома лития ${}^7_3\text{Li}$ равна 7,01601 а. е. м. (m_C), масса атома водорода — 1,00783 а. е. м. (m_D).

Для расчета энергии воспользуемся формулой

$$\Delta E = (m_A + m_B - m_C - m_D) \cdot c^2.$$

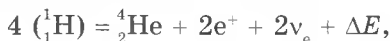
Откуда

$$\begin{aligned} \Delta E &= (4,00260 + 4,00260 - 7,01601 - 1,00783) \text{ а. е. м.} \times \\ &\times 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг/а. е. м.} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = \\ &= -2,79 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = -17,4 \text{ МэВ.} \end{aligned}$$

Таким образом, ядерная реакция идет с поглощением энергии.

5. В недрах Солнца происходит ядерная реакция синтеза ядер водорода в ядра гелия. Сколько энергии выделяется при образовании 1 кг гелия, если энергия связи ${}^4_2\text{He}$ составляет 28,3 МэВ?

Решение. Схема ядерной реакции имеет вид:



где e^+ — позитрон, и ν_e — электронное нейтрино, образующиеся в этой реакции.

Так как ядро гелия образуется из свободных протонов, то энергетический выход данной реакции равен энергии связи ядра гелия, т. е. при образовании одного ядра гелия выделяется 28,3 МэВ энергии.

$E = nE_{\text{св}}$, где n — число атомов гелия.

$$\text{Но } n = \frac{mN_A}{M},$$

где M — молярная масса гелия ($4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль), N_A — число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$).

Тогда $E = \frac{E_{\text{св}} m N_A}{M}$, откуда

$$E = \frac{28,3 \cdot 1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{4 \cdot 10^{-3}} \approx 4,26 \cdot 10^{27} \text{ (МэВ)}.$$

Таким образом, при образовании 1 кг гелия выделяется энергия $4,26 \cdot 10^{27}$ МэВ ($6,8 \cdot 10^{14}$ Дж).

6. Напишите ядерную реакцию синтеза легких ядер дейтерия и трития и определите энергетический выход этой реакции, если энергия связи у ядер атомов изотопа гелия ${}^4_2\text{He}$ — 28,3 МэВ, у ядер атомов дейтерия ${}^2_1\text{H}$ — 2,2 МэВ, у ядер атомов трития ${}^3_1\text{H}$ — 8,5 МэВ.

Решение. Ядерная реакция синтеза ядер атомов дейтерия и трития в гелий: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} = {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + \Delta E$.

Откуда $\Delta E = E_{\text{св}}({}^4_2\text{He}) - E_{\text{св}}({}^2_1\text{H}) - E_{\text{св}}({}^3_1\text{H})$,

тогда $\Delta E = 28,3 - 2,2 - 8,5 = 17,6 \text{ (МэВ)}$.

Решите устно

1. Какие химические элементы особенно распространены на Солнце? Укажите правильные ответы. *
 - А. Водород.
 - Б. Гелий.
 - В. Углекислый газ.
2. Солнечную атмосферу можно условно разделить на несколько слоев. Укажите правильные утверждения.
 - А. Конвекционная зона.
 - Б. Фотосфера.
 - В. Хромосфера
3. Какой слой Солнца является основным источником видимого излучения? Укажите правильный ответ.
 - А. Хромосфера.
 - Б. Фотосфера.
 - В. Солнечная корона.
4. Какие явления на Земле связаны с проявлением солнечной активности? Укажите правильные ответы.
 - А. Полярное сияние.
 - Б. Магнитные бури.
 - В. Радуга.
5. Какова цикличность солнечной активности? Укажите правильный ответ.
 - А. 7 лет.
 - Б. 11 лет.
 - В. 15 лет
6. Какая температура в центре Солнца? Укажите правильный ответ.
 - А. 6 000 К.
 - Б. 100 000 К.
 - В. 15 000 000 К.

Первый уровень

1. Какие основные химические элементы, и в каком соотношении входят в состав Солнца?
2. В каком физическом состоянии находится вещество на Солнце? Почему?

3. Что такое солнечный ветер?
4. Какими способами осуществляется перенос энергии из недр Солнца наружу?
5. Что такое фотосфера Солнца?
6. Почему солнечные пятна выглядят темнее, чем фотосфера?

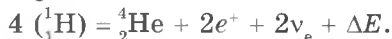
Второй уровень

1. а) За счет каких источников энергии излучает Солнце? Какие при этом происходят изменения с его веществом?
б) Какова протяженность короны и физические условия в ней?
2. а) Каков период вращения Солнца вокруг оси и в чем состоит особенность этого вращения?
б) Что такое солнечная активность, и какова ее цикличность?
3. а) При каких процессах на Солнце возникают корпускулярные потоки и космические лучи?
б) О чем свидетельствует появление солнечных пятен?
4. а) Какие проявления солнечной активности наблюдаются в различных слоях атмосферы Солнца?
б) В каких пределах изменяется температура Солнца от его центра до фотосферы?
5. а) Какие слои различают внутри Солнца и в его атмосфере?
б) Какие наблюдения позволяют определить химический состав Солнца?
6. а) Где на Солнце температура выше: в фотосфере или в короне? В чем причина этого явления?
б) Какие виды солнечного излучения вам известны? Какие из них не достигают поверхности Земли?

Третий уровень

1. а) В каком агрегатном состоянии находится вещество в недрах Солнца? Каковы примерно его температура и плотность?

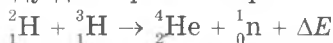
б) В недрах Солнца происходит ядерная реакция синтеза водорода в ядра гелия:



Сколько энергии выделится при образовании 1 кг гелия, если энергия связи ядра гелия составляет 28,3 МэВ?

2. а) При каких процессах на Солнце возникают корпускулярные потоки и космические лучи? Чем они отличаются друг от друга?

б) Какая энергия выделяется при термоядерной реакции синтеза между дейтерием и тритием?

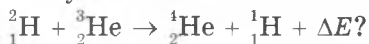


3. а) Чем объясняется наблюдаемая на Солнце грануляция?

б) В процессе термоядерного синтеза $5 \cdot 10^4$ кг водорода превращается в 49644 кг гелия. Определите, сколько энергии выделяется при этом.

4. а) Перечислите и кратко опишите проявление активности Солнца. С чем связана основная причина этих явлений?

б) Какая энергия выделяется при термоядерной реакции синтеза дейтерия и гелия-3 (${}^3_2\text{He}$) которая была составляющей первичного нуклеосинтеза во Вселенной:



5. а) Чем объясняется понижение температуры в области солнечных пятен?

б) Какая энергия выделяется при термоядерной реакции лития-6 (${}^6_3\text{Li}$) с дейтерием:



6. а) Опишите явление вспышки на Солнце и геофизические процессы, которые с ней связаны.

б) Найти частоту γ -излучения, образующегося при термоядерной реакции:



если α -частица приобретает энергию 19,7 МэВ.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗД. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ЗВЕЗД

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Параллакс звезды 61 Лебеда равен $0,29''$. Чему равно расстояние до нее в световых годах?

Решение. Годичным параллаксом звезды p называют угол, под которым со звезды можно было бы видеть средний радиус земной орбиты (равный 1 а. е. = $1,496 \cdot 10^{11}$ м), если она перпендикулярна лучу зрения.

Расстояние до звезды $D = \frac{a}{\sin p}$, где a — большая полуось земной орбиты.

При малых углах $\sin p = \frac{p}{206265''}$, если p выражено в секундах дуги. Тогда $D_{\text{а.е.}} = \frac{206265''}{p}$.

Парсек — расстояние, с которого большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в $1''$. Расстояние в парсеках равно обратной величине годичного параллакса, выраженного в секундах дуги.

$$\text{Тогда } D_{\text{пк}} = \frac{1}{p}.$$

1 парсек = 3,26 светового года = 206265 а. е. = $3 \cdot 10^{13}$ км.

$$D = \frac{1}{0,29''} = 3,45(\text{пк}) \text{ или } D = 3,45 \cdot 3,26 = 11,2 \text{ (св. года)}.$$

Таким образом, расстояние до звезды 11,2 световых года.

2. Во сколько раз звезда Арктур ближе звезды Денеб, если параллаксы их соответственно равны $p_1 = 0,089''$ и $p_2 = 0,023''$?

Решение. Используя формулу, связывающую параллакс звезды (p) в секундах дуги и расстояние до звезды (D) в парсеках, получаем:

$$D_1 = \frac{1}{p_1} \text{ и } D_2 = \frac{1}{p_2}, \text{ откуда } \frac{D_2}{D_1} = \frac{p_1}{p_2}.$$

Таким образом, $\frac{D_2}{D_1} = \frac{0,089''}{0,0023''} = 39$, т. е. Арктур ближе Денеба в 39 раз.

- 3. Определите абсолютную звездную величину Солнца, если его видимая звездная величина $-26,74^m$, а среднее расстояние до него $1,5 \cdot 10^8$ км.**

Решение. Видимая звездная величина (m) характеризует световой поток, приходящий на Землю от звезды (см. решение задачи 5, приведенное на стр. 9). Тогда, обозначив через x число, показывающее различие в яркости в одну звездную величину, получим — $x^5 = 100$. Значение x найдем из этого равенства, прологарифмировав обе его части: $5\lg x = \lg 100$, откуда $5\lg x = 2$, или $\lg x = 0,4$, тогда $x = 2,512$.

Если обозначить яркость звезды, видимая звездная величина которой m_1 , через I_1 , а яркость звезды, звездная величина которой m_2 , через I_2 , то

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}.$$

Абсолютная звездная величина (M) — это видимая звездная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на одинаковом расстоянии $D_0 = 10$ пк. Пусть какая-нибудь звезда удалена от нас на расстояние D . Обозначим ее видимую звездную величину через m , абсолютную — M , тогда

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(M - m)}.$$

Так как яркость звезды меняется обратно пропорционально квадрату расстояния до нее, то

$$I_1 : I_2 = D_0^2 : D^2.$$

Следовательно, $2,512^{(M-m)} = D_0^2 : D^2$.

Логарифмируя это выражение, находим

$$0,4(M - m) = \lg 10^2 - \lg D^2, \text{ или } 0,4(M - m) = 2 - 2 \lg D.$$

Окончательно получаем:

$$M = m + 5 - 5 \lg D.$$

Выразим расстояние до Солнца в парсеках ($D_{\text{пк}}$):

$$1 \text{ а. е.} = \frac{1}{206265} \text{ пк} = 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ пк}.$$

Подставляя данные задачи в уравнение, получаем

$$\begin{aligned} M &= -26,74^m + 5 - 5 \lg 4,8 \cdot 10^{-6} = \\ &= -26,74^m + 5 - 5(-5,32) = 4,8^m. \end{aligned}$$

Таким образом, наше Солнце с расстояния 10 пк выглядело бы, примерно, как звезда 5-й видимой звездной величины.

- 4. Вычислите расстояние до звезды Веги (α Лиры), если известно, что ее видимая и абсолютная звездные величины соответственно равны $0,03^m$ и $0,58^m$.**

Решение. Используя формулу для нахождения абсолютной звездной величины $M = m + 5 - 5 \lg D$, найдем расстояние до звезды

$$\lg D = \frac{m - M + 5}{5}.$$

Подставляя сюда значения $m = 0,03^m$ и $M = 0,58^m$, находим

$$\lg D = \frac{0,03 - 0,58 + 5}{5} = 0,89.$$

Таким образом, расстояние до звезды равно 7,8 пк.

5. Свет от Сириуса до Земли идет 8,6 лет. Определите светимость Сириуса, если известно, что его абсолютная звездная величина $M_1 = 1,4^m$, а абсолютная звездная величина Солнца $M_2 = 4,8^m$.

Решение. Светимость (L) характеризует мощность излучения звезды. Формула, связывающая абсолютные звездные величины и светимость звезд, аналогична соотношению между видимой яркостью звезды и ее видимой звездной величиной, т. е.

$$\frac{L_1}{L_2} = 2,512^{(M_2 - M_1)},$$

где L_1 и L_2 — светимости двух звезд, а M_1 и M_2 — их абсолютные звездные величины.

Принимая светимость Солнца за единицу, получим $L = 2,512^{(M_2 - M_1)}$ или $\lg L = 0,4(M_2 - M_1)$, откуда $\lg L = 0,4(4,8 - 1,4) = 1,36$. То есть светимость Сириуса больше светимости Солнца примерно в 23 раза.

6. Можно ли по внешнему виду звезды сделать заключение о ее расстоянии от Земли, размерах, светимости и других характеристиках?

Решение. Такого заключения сделать нельзя. Звезды находятся на различных расстояниях от Земли, чего глаз различить не может. Многие звезды кажутся яркими лишь из-за относительной их близости к солнечной системе, а в действительности они значительно слабее еле заметных глазу звезд, удаленных на невообразимо большие расстояния.

Для выяснения действительной светимости звезд вычисляют звездную величину при условии одинакового расстояния.

Для многих звезд различие между видимой и абсолютной звездной величиной очень велико. Например, видимая звездная величина Солнца равна $-26,7^m$, а его абсолютная величина $+4,8^m$. Это значит, что со стандартного

расстояния (32,6 световых года) Солнце выглядело бы едва заметной звездочкой.

Решите устно

1. Какие единицы используют при измерении расстояний до звезд? Укажите правильные ответы.
 - А. Световой год.
 - Б. Парсек.
 - В. Годичный параллакс.
2. Парсек — это... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...расстояние, которое свет проходит в течение года.
 - Б. ...расстояние, равное большой полуоси земной орбиты.
 - В. ...расстояние, с которого средний радиус земной орбиты, перпендикулярный лучу зрения, виден под углом в 1".
3. Годичный параллакс звезды — это... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...угол, под которым со звезды можно было бы видеть средний радиус земной орбиты, если она перпендикулярна лучу зрения.
 - Б. ...угол под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения.
 - В. ...угол, под которым виден с Земли диаметр Луны, перпендикулярный лучу зрения.
4. Самую низкую температуру фотосферы имеют... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...белые звезды.
 - Б. ...желтые звезды.
 - В. ...красные звезды.
5. От чего зависит цвет звезды? Укажите правильный ответ.
 - А. От температуры ее фотосферы.
 - Б. От размеров звезды.
 - В. От плотности звезды.
6. Основными элементами в атмосферах обычных звезд являются... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...азот и кислород, как в земной атмосфере.
 - Б. ... водород и гелий, как в солнечной атмосфере.
 - В. ... молекулярный водород и метан, как в атмосфере планет-гигантов.

Первый уровень

1. Из каких химических элементов в основном состоят звезды?
2. Какова максимальная и минимальная температура фотосфер звезд?
3. В чем главная причина различия спектров звезд?
4. Как определяют расстояние до звезд?
5. От чего зависит светимость звезды?
6. Какие изменения происходят в спектре звезды вследствие ее движения в пространстве и вращения вокруг оси?

Второй уровень

1. Годи́чный параллакс Ве́ги (α Лиры) равен $0,13''$. Сколько времени идет свет от этой звезды до Земли?
2. Расстояние до звезды Спи́ки равно 260 световым годам. Чему равен ее параллакс?
3. Параллакс Дене́ба (α Лебедя) равен $0,0023''$, а параллакс Альтаи́ра (α Орла) — $0,195''$. Какая из этих звезд ближе к Земле и во сколько раз?
4. Сколько лет нужно лететь со скоростью света к звезде Ве́га (созвездие Лиры), чтобы она стала вдвое ближе? А если лететь со скоростью 30 км/с? Расстояние от Земли до Ве́ги считать равным 7,7 пк.
5. Определите в световых годах расстояние до Си́риуса, если известно, что его параллакс равен $0,379''$. Выразите найденное расстояние в астрономических единицах.
6. Параллакс Ве́ги $0,129''$. Определите, во сколько раз эта звезда дальше от Земли, чем Солнце.

Третий уровень

1. Какая светимость L звезды ζ (дзета) Ско́рпиона, если ее видимая звездная величина $m = 5^m$, а расстояние до нее 12 500 световых лет?
2. На сколько процентов более яркий компонент Капеллы (α Возничего — спектрально-двойная звезда) ярче Дене́ба

- (α Лебеда), если их звездные величины равны соответственно $m_1 = +1,1^m$ и $m_2 = +1,25^m$?
3. Какова средняя плотность красного сверхгиганта, если его диаметр в 300 раз больше солнечного, а масса в 30 раз больше, чем масса Солнца?
 4. Во сколько раз яркость звезды, имеющей видимую звездную величину $3,4^m$ слабее, чем яркость Сириуса, имеющего видимую звездную величину $-1,5^m$?
 5. Параллакс звезды равен $0,01''$, а ее видимая звездная величина $+10^m$. Какова ее абсолютная звездная величина?
 6. Принимая абсолютную звездную величину Солнца равной $+5^m$, определите расстояние, на котором оно будет наблюдаться как звезда 15-й звездной величины.

Самостоятельная
работа

11

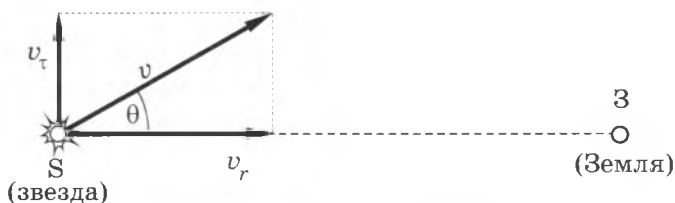
НАША ГАЛАКТИКА. ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ И АССОЦИАЦИИ. ТУМАННОСТИ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Звезда 83 Геркулеса находится от нас на расстоянии $D = 125$ пк, ее собственное движение составляет $\mu = 0,12''/\text{год}$. Какова тангенциальная скорость этой звезды?

Решение. Собственным движением звезды μ называется ее видимое угловое смещение по небу за один год на фоне далеких звезд. Оно выражается долями секунды дуги в год.

Скорость звезды в пространстве можно представить как векторную сумму двух скоростей: лучевой (v_r) и тангенциальной (v_t).



Собственное движение звезды определяется лишь ее тангенциальной скоростью и не зависит от лучевой. Чтобы вычислить тангенциальную скорость (в км/с), надо μ , выраженное в радианах в год, умножить на расстояние до звезды D (в км) и разделить на число секунд в году. Но так как на практике μ всегда определяется в секундах дуги, а D — в парсеках, то для вычисления v_r (в км/с) получается формула:

$$v_r = 4,74\mu D.$$

Лучевая скорость определяется по спектру. Тогда полная пространственная скорость звезды равна:

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}.$$

Подставляя данные из условия задачи, получаем

$$v_t = 4,74 \cdot 0,12 \cdot 125 = 71,1 \text{ (км/с)}.$$

2. Лучевая скорость звезды Бетельгейзе $v_r = 22$ км/с, собственное движение $\mu = 0,027''$ в год, а параллакс $p = 0,005''$. Определите полную пространственную скорость звезды относительно Солнца и угол, образованный направлением движения звезды в пространстве с лучом зрения.

Решение. Так как годичный параллакс и расстояние до звезд (в пк) связаны соотношением $D_{\text{пк}} = \frac{1}{p}$, то тангенциальная скорость звезды равна:

$$v_t = 4,74\mu D = 4,74 \frac{\mu}{p},$$

$$\text{откуда } v_t = 4,74 \frac{0,027}{0,005} \approx 25,60 \text{ (км/с)}.$$

Полную пространственную скорость звезды определяем по формуле:

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}.$$

$$\text{Откуда } v = \sqrt{25,60^2 + 22^2} \approx 33,8 \text{ (км/с)}.$$

Угол θ , образованный направлением движения звезды в пространстве с лучом зрения, можно найти из формулы $\operatorname{tg} \theta = \frac{v_t}{v_r}$.

$$\text{Откуда } \operatorname{tg} \theta = \frac{25,60}{22} = 1,2, \text{ а угол } \theta \approx 50^\circ.$$

3. Каков линейный размер шарового звездного скопления, если его угловой диаметр $d = 3'$, а расстояние до него $D = 10^4$ пк?

Решение. Линейный диаметр скопления определяется по его угловому диаметру и расстоянию по формуле:

$$2R = \frac{d''}{206265''} D, \text{ где } R — \text{ радиус скопления; } d'' — \text{ угло-}$$

вой диаметр в секундах дуги; D — расстояние в парсеках.

Подставляя данные задачи, получаем ($3' = 180''$)

$$2R = \frac{180'' \cdot 10^4}{206265''} \approx 8,73 \text{ (пк)}.$$

4. Определите расстояние до шарового звездного скопления, если в нем обнаружено несколько короткопериодических цефеид с видимой звездной величиной $m = 15,5^m$, а их абсолютная величина $M = 0,5^m$. Какой линейный размер этого скопления, если его угловой диаметр $d = 2,5'$? Звездой какой величины было бы на этом расстоянии наше Солнце, имеющее абсолютную величину $M_\odot = 5^m$?

Решение. Находим расстояние D , используя формулу $M = m + 5 - 5 \lg D$, откуда $5 \lg D = 15,5 + 5 - 0,5 = 20$, следовательно, $\lg D = 4$ и $D = 10^4$ (пк).

Линейный диаметр скопления $2R = \frac{d''}{206265''} D$, где R — радиус скопления; d'' — угловой диаметр в секундах дуги ($2,5' = 150''$); D — расстояние в парсеках.

$$2R = \frac{150'' \cdot 10^4}{206265''} \approx 7,3 \text{ (пк)}.$$

Поскольку для цефеид звездная величина больше абсолютной на 15^m : $m - M = 15,5^m - 0,5^m = 15^m$, то и видимая величина Солнца будет на 15^m больше абсолютной, т. е. $5^m + 15^m = 20^m$.

Солнце было бы доступно для регистрации телескопам с апертурой несколько метров.

5. Определите полную пространственную скорость звезды, если ее годичный параллакс $p = 0,05''$, собственное движение составляет $\mu = 0,15''$ в год, а спектральная линия с длиной волны $\lambda = 600$ нм смещена к красному концу спектра на расстояние $\Delta\lambda = 3$ нм.

Решение. Полная пространственная скорость звезды

определяется формулой $v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}$.

Скорость звезды перпендикулярная к лучу зрения наблюдателя, называется тангенциальной скоростью

и определяется по формуле: $v_t = 4,74 \mu D = 4,74 \frac{\mu}{p}$.

Скорость звезды, направленная по лучу зрения наблюдателя, называется лучевой скоростью. Лучевая скорость звезды определяется по смещению линий ее спектра (за-

кон Доплера): $v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$.

$$\text{Тогда, } v = \sqrt{\left(4,74 \frac{\mu}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} c\right)^2},$$

$$\text{откуда } v = \sqrt{\left(4,74 \frac{0,15''}{0,05''}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{600} \cdot 3 \cdot 10^5\right)^2} = 20,7 \text{ (км/с)}.$$

6. Во сколько раз Арктур больше Солнца, если его светимость в солнечных единицах $210 L_{\odot}$, а температура $4\,300\text{ К}$?

Решение. Из курса физики известно, что полная энергия, излучаемая в единицу времени с 1 м^2 поверхности нагретого тела равна: $w = \sigma T^4$, где σ — коэффициент пропорциональности, а T — абсолютная температура (закон Стефана–Больцмана). Относительный линейный размер звезд, имеющих известную температуру T , находят из формулы

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{4\pi r^2}{4\pi r_{\odot}^2} \cdot \frac{w}{w_{\odot}} = \left(\frac{r}{r_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^4,$$

где r — радиус звезды, w — излучение единицы поверхности звезды, r_{\odot} , w_{\odot} , T_{\odot} относятся к Солнцу, а $L_{\odot} = 1$.

$T_{\odot} = 6\,000\text{ К}$ (эффективная температура Солнца).

Тогда $\frac{r}{r_{\odot}} = \sqrt{L} \cdot \left(\frac{T_{\odot}}{T}\right)^2$, откуда $\frac{r}{r_{\odot}} = \sqrt{210} \cdot \left(\frac{6000}{4300}\right)^2 \approx 28$.

Арктур больше Солнца примерно в 28 раз.

Решите устно

- Галактику Млечный Путь можно представить в виде... (укажите правильное утверждение)
 - ...гигантского звездного шара.
 - ...огромного сплюснутого диска из звезд.
 - ...огромной не имеющей определенной формы совокупности звезд.
- Диаметр диска нашей Галактики составляет... (укажите правильное утверждение)
 - ...100 000 а. е.
 - ...100 000 световых лет.
 - ...10 000 пк.
- Рассеянные скопления... (укажите правильное утверждение)
 - ...состоят из нескольких десятков или сотен звезд главной последовательности.

- Б. ...содержат от нескольких десятков до нескольких тысяч звезд.
- В. ...состоят из космической пыли.
4. Шаровые скопления... (укажите правильные утверждения)
- А. ...состоят из десятков или сотен тысяч субкарликов и красных гигантов.
- Б. ...в слабый телескоп выглядят как туманные пятна.
- В. ...состоят из нескольких десятков или сотен звезд главной последовательности.
5. Какие объекты входят в состав нашей Галактики? Укажите все правильные ответы.
- А. Звезды и их скопления.
- Б. Газопылевые туманности.
- В. Квазары.
6. Какие существуют виды туманностей? Укажите все правильные ответы.
- А. Светлые туманности.
- Б. Темные туманности.
- В. Газовые диффузные туманности.

Первый уровень

1. Какова структура нашей Галактики?
2. Где расположено Солнце в Галактике?
3. Пользуясь звездной картой, проследите, через какие созвездия проходит Млечный Путь.
4. Чем различаются рассеянные и шаровые скопления?
5. Чему равна масса нашей Галактики? Как ее можно оценить?
6. По каким признакам различаются между собой диффузные и планетарные туманности?

Второй уровень

1. Определите период обращения Солнца вокруг центра масс Галактики, зная, что орбитальная скорость Солнца равна 220 км/с, а его расстояние от центра Галактики составляет 8 000 пк.

2. Сколько времени придется ждать ответа на радиотелеграмму, отправленную к галактике Андромеды, расстояние до которой равно 770 000 пк?
3. В местном галактическом движении Солнце перемещается со скоростью 20 км/с по направлению к звезде Вега. Вычислите, за какое время Солнце переместится в область пространства, где сейчас находится Вега, которая удалена от Солнца на 25 световых лет.
4. Какое расстояние пролетит за год Солнечная система по направлению к апексу ее движения при скорости в 19,5 км/с?
5. Сравните скорость движения Земли вокруг Солнца со скоростью движения Солнца вокруг центра Галактики.
6. Сколько времени необходимо, чтобы свет пересек нашу Галактику по ее диаметру?

Третий уровень

1. Лучевая скорость звезды Альдебаран $v_r = 54$ км/с, ее собственное движение составляет $\mu = 0,20''$ в год, а параллакс $p = 0,05''$. Определите полную пространственную скорость Альдебарана.
2. Определите пространственную скорость движения звезды, если модули лучевой и тангенциальной составляющих этой скорости соответственно равны 30 км/с и 29 км/с. Под каким углом к лучу зрения наблюдателя движется эта звезда?
3. Вычислите модуль и знак лучевой скорости звезды, если в ее спектре линия, соответствующая длине волны 550 нм, смещена к фиолетовому концу на расстояние 55 нм.
4. Звезда движется в пространстве со скоростью 50 км/с в сторону наблюдателя под углом 30° к его лучу зрения. Определите лучевую и тангенциальную составляющие скорости движения звезды.
5. Лучевая скорость Арктура равна $-5,2$ км/с, а тангенциальная — 121 км/с. Определите угол, образованный направлением движения звезды с лучом зрения.

6. Звезда, находящаяся на небесном экваторе, удалена от Солнца на расстояние 94 пк, имеет нулевую лучевую скорость, а ее собственное движение равно $0,006''/\text{год}$. С какой пространственной скоростью движется звезда?

Самостоятельная
работа

12

МИР ГАЛАКТИК. КВАЗАРЫ. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ВСЕЛЕННОЙ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. В галактике, у которой красное смещение линий в спектре $2\,000\text{ км/с}$, вспыхнула сверхновая звезда. Ее яркость в максимуме соответствовала 18-й видимой звездной величине. Каковы ее абсолютная звездная величина и светимость?

Решение. Наше Солнце с расстояния 10 пк выглядело бы примерно как звезда 5-й видимой звездной величины, т. е. для Солнца $M_{\odot} \approx 5^m$. Зная абсолютную звездную величину M звезды, можно вычислить ее светимость L . Принимая светимость Солнца за единицу, по определению светимости можно записать, что $L = 2,512^{5-M}$, или $\lg L = 0,4(5 - M)$.

Абсолютную звездную величину M можно вычислить по формуле: $M = m + 5 - 5 \lg D$, где D — расстояние до звезды. В соответствии с эффектом Доплера красное смещение означает удаление источника от наблюдателя. Скорость удаления пропорциональна смещению и, следовательно, расстоянию. Наблюдаемая пропорциональность между расстоянием до галактик и скоростью носит название закона Хаббла: $v = HD$. Коэффициент пропорциональности H

называют *постоянной Хаббла*. Установлено, что величина постоянной Хаббла составляет примерно $70 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}}$,

т. е. на каждый миллион парсек скорость удаления возрастает на 70 км/с. Поэтому расстояние до далекой галактики можно определить по величине красного смещения линий в ее спектре: $D = \frac{v}{H}$, где v — скорость,

определенная по красному смещению. Тогда $D = \frac{2000}{70} = 29 \text{ (Мпк)} = 29 \cdot 10^6 \text{ пк}$. Следовательно, $M = 18 + 5 - 5 \lg(29 \times 10^6) = -14,3^m$.

$$\lg L = 0,4(5 - (-14,3)) = 7,7, \text{ откуда } L/L_{\odot} = 5 \cdot 10^7.$$

Таким образом, абсолютная звездная величина и светимость сверхновой звезды равны соответственно $-14,3^m$ и $2,5 \cdot 10^7 \cdot L_{\odot}$.

- 2. В спектре галактики, которая имеет видимую звездную величину $m = 15,2^m$, линия водорода ($\lambda = 656,3 \text{ нм}$) смещена к красному концу спектра на $\Delta\lambda = 21,9 \text{ нм}$. Вычислите скорость удаления галактики и расстояние до нее, абсолютную звездную величину и светимость галактики.**

Решение: Скорость галактики, направленная по лучу зрения наблюдателя, называется *лучевой скоростью* $\pm v_r$ («+» при удалении галактики, «-» — при приближении галактики). Лучевая скорость галактики определяется по смещению линий ее спектра. На основании закона Доплера имеем:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}, \text{ откуда } v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c, \text{ где } c — \text{ скорость света.}$$

Тогда находим скорость удаления галактики:

$$v_r = \frac{21,9}{656,3} \cdot 3 \cdot 10^5 \approx 10^4 \text{ (км/с)}.$$

Расстояние до далекой галактики можно определить по величине красного смещения линий в ее спектре: $D = \frac{v}{H}$, откуда $D = \frac{10^4}{100} = 100$ (Мпк).

Вычисляем абсолютную звездную величину:

$M = m + 5 - 5 \lg(143 \cdot 10^6) = 20,2 - 40,8 = -20,6^m$ и светимость: $\lg L = 0,4(5 - M) = 0,4(5 + 20,6) = 10,2$.

Откуда $L \approx 10^{10} \cdot L_{\odot}$.

3. Линии спектра далекой галактики оказались сдвинутыми на величину, равносильную скорости удаления от нас в 14 000 км/с. Каково расстояние до нее (в световых годах)? Какой ее размер, если она видна как пятнышко с диаметром 20''?

Решение: В соответствии с эффектом Доплера красное смещение означает удаление источника от наблюдателя. Наблюдаемая пропорциональность между расстоянием до галактик и скоростью носит название закона Хаббла: $v = HD$. Поэтому расстояние до далекой галактики можно определить по формуле $D = \frac{v}{H}$, где v — лучевая скорость (знак «+» — при удалении галактики, знак «-» — при приближении галактики).

Тогда $D = \frac{14000}{70} = 200$ (Мпк)

или $200 \cdot 3,26 = 652$ (млн. световых лет).

Размер галактики определим по видимому угловому диаметру и расстоянию до нее: $2R = \frac{d''}{206265''} D$,

откуда $2R = \frac{20'' \cdot 2 \cdot 10^8}{206265''} = 1,9 \cdot 10^4 = 19\,000$ (пк).

Следовательно, эта галактика примерно в полтора раза меньше нашей.

4. На какое расстояние позволяют проникнуть во Вселенную современные телескопы?

Решение: Совокупность всех известных нам сверхгалактик образует систему, называемую *Метагалактикой*. Радиус Метагалактики порядка $1,4 \cdot 10^{10}$ световых лет $\approx 1,3 \cdot 10^{23}$ км. Отсюда, зная расстояние от Земли до Солнца ($1,5 \cdot 10^8$ км), получаем $\frac{1,3 \cdot 10^{23}}{1,5 \cdot 10^8} \approx 10^{15}$, т. е. современные телескопы позволяют проникнуть во Вселенную на расстояние, которое в 10^{15} раз превышает расстояние от Земли до Солнца.

5. Что такое Местное сверхскопление?

Решение: Окружающие нас группы галактик образуют более крупную структуру, называемую Местным сверхскоплением, в которую входят сотни тысяч галактик. Местное сверхскопление сильно сжато и ее диаметр близок к 60 млн. парсеков. Центральная его область находится в направлении на созвездие Девы. В настоящее время только в пределах 1 млрд. световых лет насчитывают около 100 подобных сверхскоплений.

6. Приведите доказательство того, что Вселенная расширяется.

Решение: Свет от далеких галактик смещается к красному концу спектра — явление, называемое красным смещением. Чем дальше галактики, тем больше их красное смещение. Самые далекие галактики, которые мы можем наблюдать, имеют наибольшее красное смещение, что и свидетельствует о расширении пространства, в котором находятся наблюдаемые галактики.

Решите устно

1. Метагалактикой называют... (укажите правильное утверждение)

- А.** ...такие внегалактические объекты, которые являются мощными источниками радиоизлучения.
- Б.** ...область Вселенной, доступную для исследования.
- В.** ...такие галактики, которые наряду со светом очень сильно излучают в радиодиапазоне.

2. Квазарами называют... (укажите правильное утверждение)
 - А. ...ту часть Вселенной, которая доступна сейчас оптическим и радиоастрономическим наблюдениям.
 - Б. ...различные звездные системы, подобные нашей Галактике.
 - В. ...звездоподобные источники самой высокой светимости, которые встречаются среди объектов Вселенной.
3. На какие основные типы можно разделить галактики по их внешнему виду и форме? Укажите все правильные ответы.
 - А. Спиральные.
 - Б. Эллиптические.
 - В. Виртуальные.
4. Какие внегалактические источники радиоизлучения известны в настоящее время? Укажите все правильные ответы.
 - А. Радиогалактики.
 - Б. Квазары.
 - В. Туманности.
5. Каково наиболее распространенное состояние барионного вещества во Вселенной? Укажите правильный ответ.
 - А. Газообразное.
 - Б. Жидкое.
 - В. Плазма.
6. Какие химические элементы являются наиболее распространенными во Вселенной? Укажите все правильные ответы.
 - А. Кислород и кремний.
 - Б. Водород и гелий.
 - В. Азот и аммиак.

Первый уровень

1. Какие объекты открыты за пределами нашей Галактики?
2. Что является источником радиоизлучения в радиогалактиках?

3. Чем отличаются по составу спиральные и эллиптические галактики?
4. Что вам известно о квазарах?
5. Существуют ли во Вселенной планетные системы, подобные солнечной?
6. В чем заключается закон Хаббла?

Второй уровень

1. Чем объясняется красное смещение в спектрах галактик?
2. Как определяют расстояния до галактик?
3. При каких процессах во Вселенной образуются тяжелые элементы?
4. Какие фундаментальные наблюдательные факты указывают на то, что во Вселенной происходит процесс эволюции?
5. Какое состояние вещества является преобладающим во Вселенной? Какие химические элементы являются наиболее распространенными во Вселенной, какие — на Земле? Не противоречит ли это выводам о материальном единстве мира?
6. За пределами Местной группы галактик в каком бы направлении мы ни посмотрели во Вселенную, все галактики удаляются от нас. Что можно сказать о Вселенной на основании этих наблюдений?

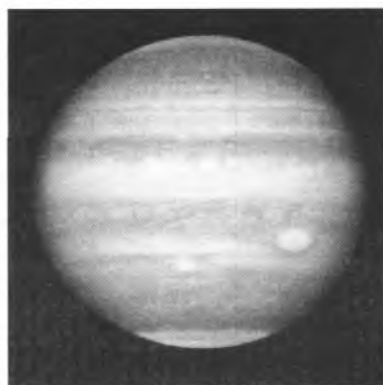
Третий уровень

1. Каково расстояние до галактики, если в ней обнаружена новая звезда, видимая звездная величина которой $+18^m$, а абсолютная звездная величина равна -7^m ?
2. Определите расстояние до шарового звездного скопления, если в нем обнаружено несколько короткопериодических цефеид с видимой звездной величиной $+15,5^m$, а их абсолютная звездная величина равна $0,5^m$.
3. Галактика, находящаяся на расстоянии 150 Мпк, имеет видимый угловой диаметр $20''$. Сравните ее линейные размеры с размерами нашей Галактики.

4. В галактике с красным смещением линии в спектре — Z, соответствующем скорости удаления 10^4 км/с, вспыхнула сверхновая звезда, видимая звездная величина которой равна $+18^m$. Каково расстояние до нее и какова ее абсолютная звездная величина и светимость? Постоянную Хаббла считать равной 70 км/с \cdot Мпк.
5. Насколько протяженной на небесной сфере является галактика Туманность Андромеды, удаленная от земного наблюдателя на $7,7 \cdot 10^5$ пк, и имеющая линейные размеры $6,7 \cdot 10^4$ пк? С каким небесным светилом по его угловому размеру можно её сравнить?
6. В шаровом звездном скоплении с угловыми размерами $14,2'$ открыли короткопериодическую цефеиду со средней видимой звездной величиной 14^m . Средняя абсолютная звездная величина данной звезды, как и других цефеид такого типа, равна $0,5^m$. Определите расстояние до этого звездного скопления и его линейный размер. Как называется это шаровое скопление?



ПРИЛОЖЕНИЯ



ПЛАНЕТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Планеты	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Диаметр (в км)	4 879	12 104	12 742	6 792
Масса (в кг)	$3,33 \cdot 10^{23}$	$4,87 \cdot 10^{24}$	$5,97 \cdot 10^{24}$	$6,42 \cdot 10^{23}$
Масса (в массах Земли)	0,055	0,815	1,00	0,107
Средняя плотность (кг/м ³)	5427	5240	5515	3933
Звездный период обращения. (в земных годах)	0,24	0,62	1,00	1,88
Среднее расстояние от Солнца (а. е.)	0,39	0,72	1,00	1,52
Среднее расстояние от Солнца (млн. км)	58,34	107,71	149,6	227,39
Период осевого вращения	58,65 суток	243,02 суток	23 ч 56 мин 4,1 с	24 ч 37 мин 22,7 с
Число известных спутников планет	0	0	1	2

Планеты	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Диаметр (в км)	139 882	116 464	50 724	49 244
Масса (в кг)	$1,9 \cdot 10^{27}$	$5,68 \cdot 10^{26}$	$8,68 \cdot 10^{25}$	$1,02 \cdot 10^{26}$
Масса (в массах Земли)	317,8	95,1	14,6	17,1
Средняя плотность (кг/м ³)	1326	687	1270	1638
Звездный период обращения. (в земных годах)	11,86	29,46	84,01	164,79
Среднее расстояние от Солнца (а. е.)	5,20	9,54	19,2	30,1
Среднее расстояние от Солнца (млн. км)	777,9	1427,2	2872,3	4503
Период вращения вокруг оси	9 ч 56 мин	10 ч 32 мин	17 ч 14 мин	15 ч 58 мин
Число известных спутников планет	69	62	27	14

СПИСОК НАИБОЛЕЕ ЯРКИХ ЗВЕЗД

Звезда	Обозначение	Звездная величина m (m)	Прямое восхождение, α ($^h, ^m$)	Склонение, δ ($^\circ, '$)
Альдебаран	α Тельца	0,85	04 35,9	+16 31
Альтаир	α Орла	0,77	19 50,8	+08 52
Антарес	α Скорпиона	0,91	16 29,4	-26 26
Арктур	α Волопаса	-0,05	14 15,7	+19 11
Бетельгейзе	α Ориона	0,2—1,2	05 55,2	+07 24
Вега	α Лиры	0,03	18 36,9	+38 47
Денеб	α Лебеда	1,25	20 41,4	+45 17
Капелла	α Возничего	0,6—1,1	05 16,7	+46 00
Кастор	α Близнецов	1,96—2,91	07 34,6	+31 53
Поллукс	β Близнецов	1,15	07 45,3	+28 02
Процион	α М. Пса	0,37	07 39,3	+05 13
Регул	α Льва	1,35	10 08,4	+11 58
Ригель	β Ориона	0,12	05 14,5	-08 12
Сириус	α Б. Пса	-1,46	06 45,1	-16 43
Спика	α Девы	1,04	13 25,2	-11 10
Фомальгаут	α Южной Рыбы	1,16	22 57,7	-29 37

СОЛНЦЕ КАК ЗВЕЗДА

Диаметр	1 391 980 км
Масса	$1,985 \cdot 10^{30}$ кг
Сидерический период вращения (точки на экваторе)	25,05 суток
Светимость	$3,828 \cdot 10^{26}$ Вт
Видимая звездная величина	-26,74 m
Эффективная температура поверхности	5 778 К
Возраст	Около 5 млрд лет
Среднее расстояние от Земли	149 597 870 км

ОТВЕТЫ

Самостоятельная работа № 2

Второй уровень

№	1	2	3	4
	1) β Весов; 2) δ Персея	1) $\alpha = 11^h$, $\delta = +62^\circ$ 2) $\alpha = 0^h 40^m$, $\delta = -18^\circ 00'$	$138^\circ 47' 45''$	1) β Лебедя; 2) α Тельца

№	5	6	7	8
	1) $\alpha = 14^h 50^m$; $\delta = 15^\circ 30'$ 2) $\alpha = 5^h 25^m$, $\delta = +6^\circ 20'$	200°	в созвездии Козерога	в созвездии Андромеды

Третий уровень

№	1	2	3	4	5	6
	\approx в 10^{12} раза	\approx в 16 раз	\approx в 25000 раз	\approx в $13 \cdot 10^9$ раз	\approx в 12 раз	\approx в 4 раза

Самостоятельная работа № 3

Третий уровень

№	1	2	3	4	5	6
б	41°	9°	$56^\circ 50'$	38°	35°	$53^\circ 33'$

Самостоятельная работа № 4

Второй уровень

№	1	2	3	4	5	6
б	11,9 года	2,1 года	687 сут	584 сут	0,62 года	3 года

Третий уровень

№	1	2	3	4	5	6
б	1,88 года	0,387 а.е.	5,24 а.е.	1,874 года	19,2 а.е.	0,72 а.е.

Самостоятельная работа № 5

Первый уровень

№	4	5	6
	Немного меньше $9,8 \text{ м/с}^2$	$4,3 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$	610 Н

Второй уровень

№	1	2	3	4	5	6
	$1,67 \text{ км/с}$	На расстоянии 5 земных радиусов	350 км	$7,9 \text{ км/с}$	$7,3 \text{ км/с}$	$7,6 \text{ км/с}$

Третий уровень

№	1	2	3	4
	2,8 кН	2 546 км	30 м/с ²	1 200 кг/м ³

№	5	6
	36 000 км	Радиус орбиты увеличился в 1,44 раза, период обращения — в 1,73 раза

Самостоятельная работа № 6

Третий уровень

№	1	2	3	4	5	6
	1 км/с; 27,3 сут	сила притяжения к Солнцу больше в 2,2 раза	336 000	7,5 км/с	5 400 с; 7,7 км/с	42 400 км

Самостоятельная работа № 9

Третий уровень

№	1	2	3
6	$4,259 \cdot 10^{27}$ МэВ	17,6 МэВ	$3,2 \cdot 10^{19}$ Дж

№	4	5	6
6	18,35 МэВ	22,37 МэВ	$7,3 \cdot 10^{19}$ Гц

Самостоятельная работа № 10

Второй уровень

№	1	2	3
	25,08 св. лет	0,013"	Альтаир ближе в 84,8 раз

№	4	5	6
	12,5 года; $12,5 \cdot 10^4$ лет	8,57 св. года; 544 234,8 а.е.	в 1,6 млн раз

Третий уровень

№	1	2	3	4	5	6
	$1,3 \cdot 10^5 L_{\odot}$	на 15%	$1,57 \cdot 10^{-3}$ кг/м ³	в 100 раз (в $2,512^5$)	5 ^m	1 000 пк

Самостоятельная работа № 11

Второй уровень

№	1	2	3
	$\approx 220\,000\,000$ лет	$\approx 5\,000\,000$ лет	$\approx 370\,000$ лет

ПРИЛОЖЕНИЯ

№	4	5	6
	4,1 а.е.	скорость Солнца в 7,33 раза больше	около 100 000 лет

Третий уровень

№	1	2	3
	54,3 км/с	41,7 км/с, $\theta = 44^{\circ}2'$	30 км/с; звезда приближается к наблюдателю

№	4	5	6
	43,3 м/с, 25 м/с	$46^{\circ}16'$	40,1 км/с

Самостоятельная работа № 12

Третий уровень

№	1	2	3
	10^6 пк	10^4 пк	$\approx 15 \cdot 10^3$ пк, т. е. в 2 раза меньше размеров нашей Галактики

№	4	5	6
	$143 \cdot 10^6$ пк; $-17,8^m$; $10^9 L_{\odot}$	$\approx 5^{\circ}$, что больше угловых разме- ров Луны или Солнца ($\approx 0,5^{\circ}$) в 10 раз	5 000 пк, 20,7 пк ω Сеп

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.А.Воронцов-Вельяминов, Е.К.Страут. *Астрономия. Учебник для 11 класса*, Дрофа, 2018.
2. М.А.Кунаш. *Методическое пособие к учебнику астрономия*, Дрофа, 2018.
3. Б.А.Воронцов-Вельяминов. *Сборник задач по астрономии*. М., 1980
4. Г.И.Малахова, Е.К.Страут. *Дидактический материал по астрономии*. М., 1989.
5. А.С.Алешкевич. *Самостоятельные работы по астрономии*. Минск, 1980.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
АСТРОНОМИЯ, ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ И СВЯЗЬ С ДРУГИМИ НАУКАМИ	
<i>Самостоятельная работа № 1</i>	
Астрономические наблюдения	4
ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ	
<i>Самостоятельная работа № 2</i>	
Звезды и созвездия. Небесные координаты. Звездные карты.....	8
<i>Самостоятельная работа № 3</i>	
Годичное движение Солнца. Эклиптика.	
Затмения Солнца и Луны.....	13
СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	
<i>Самостоятельная работа № 4</i>	
Видимые движения планет. Законы Кеплера	20
<i>Самостоятельная работа № 5</i>	
Движение небесных тел под действием сил тяготения.....	25
ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	
<i>Самостоятельная работа № 6</i>	
Планеты земной группы	33
<i>Самостоятельная работа № 7</i>	
Планеты-гиганты	37
<i>Самостоятельная работа № 8</i>	
Малые тела Солнечной системы.....	42
СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ	
<i>Самостоятельная работа № 9</i>	
Солнце — ближайшая звезда.....	47
<i>Самостоятельная работа № 10</i>	
Основные характеристики звезд.	
Определение расстояний до звезд.....	53
<i>Самостоятельная работа № 11</i>	
Наша Галактика. Звездные скопления и ассоциации.	
Туманности.....	59
<i>Самостоятельная работа № 12</i>	
Мир Галактик. Квазары.	
Происхождение и развитие Вселенной.....	66
ПРИЛОЖЕНИЯ	73
ОТВЕТЫ	76

Для детей старше шести лет.
В соответствии с Федеральным законом
от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.

Учебное издание

**Кирик Леонид Анатольевич
Захожай Владимир Анатольевич
Бондаренко Константин Петрович**

АСТРОНОМИЯ

**Разноуровневые самостоятельные работы
с примерами решения задач**

Подписано в печать 13.03.2018. Формат 60×88/16.

Усл.-печ. л. 4,89. Тираж 1500 экз. Заказ № 6346.

ООО «Илекса», 107553, г. Москва, ул. Амурская, д. 2, стр. 11,
сайт: www.ilexa.ru, E-mail: real@ilexa.ru,
телефон: +7 (495) 646-79-65; +7 (964) 534-80-01

Отпечатано в ООО «Типография «Миттель Пресс».

г. Москва, ул. Руставели, д. 14, стр. 6.

Тел./факс +7 (495) 619-08-30, 647-01-89.

E-mail: mittelpress@mail.ru