

Астрономия 10 класс,

<https://digital.prosv.ru/>, <https://media.prosv.ru/content/>, <https://media.prosv.ru/>

**Группа компаний «Просвещение», открывает свободный доступ к электронным формам учебников**

Дистанционные уроки на неделю 13 по 17 апреля 2020, 1 час в неделю

Учитель физики информатики Гаджиагаев Тагир Гаджиагаевич

Учебник Воронцов-Вельяминов Страут Астрономия 10-11 класс

**Внимание! Ответы на вопросы и задания оформлять письменно в рабочих тетрадях.  
Работы будут проверены**

1 занятие

§ 21 Солнце ближайшая звезда, п 1-2 стр 129-136

Задание : Прочитать параграф, ответить на вопросы в конце параграфа



Рис. 4.36. Метеорит «Челябинск»

ная ударная волна повредила конструкции зданий, выбила стекла, более тысячи человек обратились за медицинской помощью. По оценкам учёных, размер Челябинского метеорита до падения составлял около 19,8 м, а масса — от 7 тыс. до 13 тыс. т. На Землю упало всего от 4 до 6 т, т. е. около 0,05% изначальной массы. Со дна озера Чебаркуль были подняты наиболее крупные из фрагментов (рис. 4.36) общей массой 654 кг, один из которых стал экспонатом Челябинского государственного краеведческого музея.

**Вопросы**

1. Как отличить при наблюдениях астероид от звезды?
2. Какова форма большинства астероидов? Каковы примерно их размеры?
3. Чем обусловлено образование хвостов комет?
4. В каком состоянии находится вещество ядра кометы; её хвоста?
5. Может ли комета, которая периодически возвращается к Солнцу, оставаться неизменной?
6. Какие явления наблюдаются при полёте в атмосфере тел с космической скоростью?
7. Какие типы метеоритов выделяются по химическому составу?

**Упражнение 16**

1. После захода Солнца на западе видна комета. Как относительно горизонта направлен её хвост? 2. Какова большая полуось орбиты кометы Галлея, если период её обращения 76 лет? 3. Сравните причины свечения планеты и кометы. Какие различия в их спектрах обусловлены этими причинами? 4. Орбиты двух комет лежат в плоскости земной орбиты, наименьшие их расстояния от Солнца составляют 0,5 и 2 а. е. Какова для из комет имеет на этом расстоянии хвост длиной 150 млн км. Могут ли эти кометы своим хвостом «зацепить» Землю? Попробуйте сделать чертёж. 5\*. Опишите, какие превращения может испытывать молекула воды, входящая в состав ядра кометы, под действием солнечного излучения. 6\*. Оцените примерную ширину метеорного потока Персеид, зная, что метеоры этого потока наблюдаются с 17 июля по 24 августа.



## У. СОЛНЦЕ И ЗВЁЗДЫ

### § 21. СОЛНЦЕ — БЛИЖАЙШАЯ ЗВЕЗДА

#### 1. Энергия и температура Солнца

Солнце — центральное тело Солнечной системы — является типичным представителем звёзд, наиболее распространённых во Вселенной тел. Масса Солнца составляет  $2 \cdot 10^{30}$  кг. Как и многие другие звёзды, Солнце представляет собой огромный шар, который состоит из водородно-гелиевой плазмы и находится в равновесии в поле собственного тяготения. Изучение физических процессов, происходящих на Солнце, имеет важное значение для астрофизики, поскольку эти процессы свойственны, очевидно, и другим звёздам, но только на Солнце мы можем наблюдать их достаточно детально.

Солнце излучает в космическое пространство колоссальный по мощности поток излучения, который в значительной мере определяет физические условия на Земле и других планетах, а также в межпланетном пространстве. Земля получает всего лишь одну двухмиллиардную долю солнечного излучения. Однако и этого достаточно, чтобы приводить в движение огромные массы воздуха в земной атмосфере, управлять погодой и климатом на земном шаре. Большинство источников энергии, которые используются человечеством, связаны с Солнцем. Тепло и свет Солнца обеспечивают развитие жизни на Земле, формирование месторождений угля, нефти и газа.

Коллективно приходящей от Солнца на Землю энергии принято характеризовать *солнечной постоянной*.

Солнечная постоянная — поток солнечного излучения, который приходится на поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>, расположенную за пределами атмосферы перпендикулярно солнечным лучам на среднем расстоянии Земли от Солнца (1 а. е.).

Солнечная постоянная равна 1,37 кВт/м<sup>2</sup>. Умножив эту величину на площадь поверхности шара, радиус которого 1 а. е., определим полную мощность излучения Солнца, его светимость, которая составляет  $4 \cdot 10^{26}$  Вт.

Знание законов излучения позволяет определить температуру фотосферы Солнца. Энергия, излучаемая нагретым телом с единицы площади, определяется законом Стефана—Больцмана:

$$E = \sigma \cdot T^4.$$

Светимость Солнца известна, остаётся узнать, какова площадь поверхности Солнца.

С Земли мы видим Солнце как небольшой диск, край которого достаточно чётко определяет фотосфера (в переводе с греческого «сфера света»). Так называется тот слой, от которого приходит практически всё видимое излучение Солнца. Он имеет толщину всего 300 км и выглядит как поверхность Солнца. Угловой диаметр солнечного диска примерно 30'. Зная расстояние до Солнца (150 млн км), нетрудно вычислить его линейные размеры и площадь поверхности. Радиус Солнца равен приблизительно 700 тыс. км. Теперь можно узнать, какова температура фотосферы. Светимость Солнца

$$L = 4\pi R^2 \cdot E$$

или

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

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>). Отсюда

$$T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}.$$

Подставив в эту формулу численные значения входивших в неё величин, получим  $T = 6000$  К. Очевидно, что такая температура может поддерживаться лишь за счёт постоянного притока энергии из недр Солнца.

## 2. Состав и строение Солнца

Для изучения Солнца используются телескопы особой конструкции — башенные солнечные телескопы (рис. 5.1). Система зеркал непрерывно поворачивается вслед за Солнцем и направляет его лучи вниз на главное зеркало, а затем они попадают в спектрографы или другие приборы, с помощью которых проводятся исследования Солнца. Благодаря большому фокусному расстоянию солнечных телескопов (до 90 м) можно получить изображение Солнца диаметром до 80 см и детально изучать происходящие на нём явления. Они лучше видны на спектрогелиограммах (см. цветную вклейку XII) — снимках Солнца, которые сделаны в лучах, соответствующих спектральным линиям водорода, кальция и некоторых других элементов.

Важнейшую информацию о физических процессах на Солнце даёт спектральный анализ. Именно в спектре Солнца

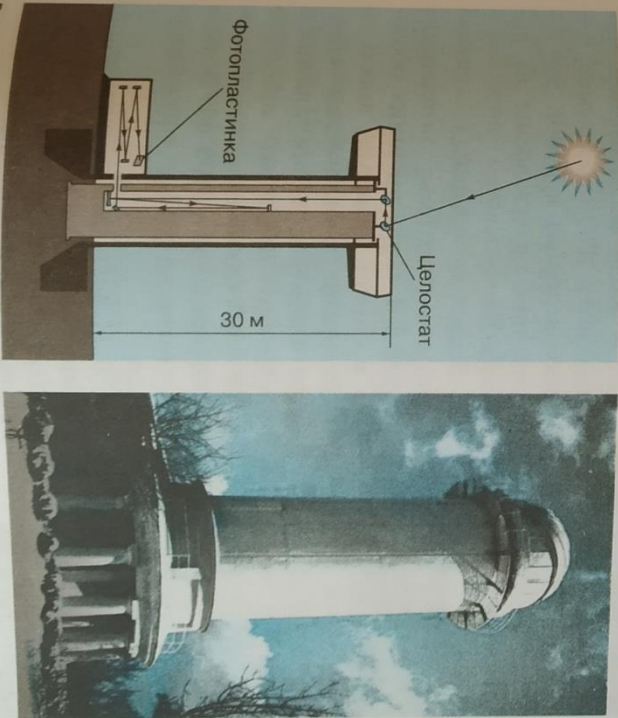


Рис. 5.1. Башенный солнечный телескоп

**Йозеф Фраунгофер** ещё в 1814 г. обнаружил и описал линии поглощения, по которым, как стало ясно почти полвека спустя, можно узнать состав его атмосферы (см. рис. 4 на цветной вклейке XII). В настоящее время в солнечном спектре зарегистрировано более 30 тыс. линий, принадлежавших 72 химическим элементам. Химический элемент гелий (от греч. «гелиос» — солнечный) был сначала открыт спектральными методами на Солнце, а лишь затем уже обнаружен на Земле. Все последующие попытки найти другие неизвестных элементов не увенчались успехом, но были тем не менее не бесплодны. Они во многом способствовали развитию теории спектрального анализа, которая важна как для астрофизики, так и для физики в целом.

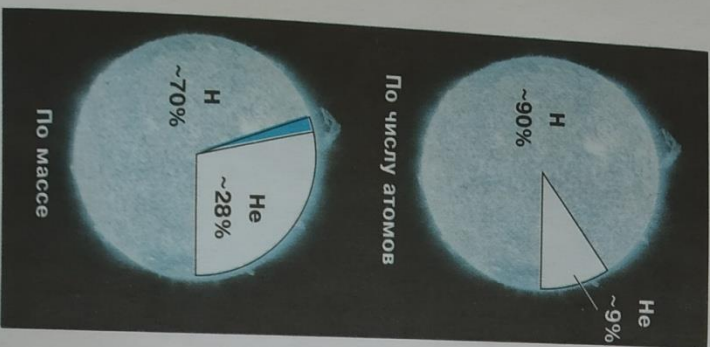


Рис. 5.2. Диаграмма химического состава Солнца

Современные данные о химическом составе Солнца таковы: водород составляет около 70% солнечной массы, гелий — более 28%, остальные элементы — менее 2%. Количество атомов этих элементов в 1000 раз меньше, чем атомов водорода и гелия. Эти соотношения представлены на рисунке 5.2.

Вещество Солнца сильно ионизовано: атомы, потерявшие электроны своих внешних оболочек и ставшие ионами, вместе со свободными электронами образуют плазму. Средняя плотность солнечного вещества примерно 1400 кг/м<sup>3</sup>. Она соизмерима с плотностью воды и в 1000 раз больше плотности воздуха у поверхности Земли.

Используя закон всемирного тяготения и газовые законы, можно рассчитать условия внутри Солнца, построить модель «сплошного» Солнца. Оно находится

в равновесии, поскольку в каждом его слое действие сил тяготения, которые стремятся сжать Солнце, уравновешивается действием сил внутреннего давления газа. Действием гравитационных сил в недрах Солнца создаётся огромное давление. Следяем приближённый расчёт его величины для слоя, лежащего на расстоянии  $R/2$  от центра Солнца. При этом будем считать, что плотность вещества внутри Солнца всюду равна средней (рис. 5.3).

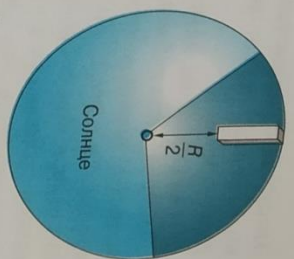


Рис. 5.3. Расчёт условий в недрах Солнца

Сила тяжести на этой глубине определяется массой вещества, заключённой в радиальном столбике, высота которого  $R/2$ , площадь  $S$ , а также ускорением свободного падения на поверхности сферы радиусом  $R/2$ . Масса вещества в этом столбике равна:

$$m = \bar{\rho} \frac{R}{2} S,$$

а ускорение на расстоянии  $R/2$  (согласно закону всемирного тяготения) выражается так:

$$g = G \frac{M/8}{(R/2)^2},$$

так как объём этой сферы составляет  $1/8$  от объёма всего Солнца. Подставив необходимые данные в формулу  $p = mg/S$ , получим, что давление равно примерно  $6,6 \cdot 10^{13}$  Па, т. е. в 1 млрд раз превосходит нормальное атмосферное давление.

Для вычисления температуры воспользуемся уравнением Клапейрона—Менделеева:  $pV = \frac{m}{M} RT$ . Поскольку  $\bar{V} = \bar{\rho}^{-1}$ ,  $T = \frac{M p}{R \bar{\rho}}$ , где  $R$  — универсальная газовая постоянная, а  $M$  —

молярная масса водородной плазмы. Если считать, что в состав вещества входят в равном количестве протоны и электроны, то она примерно равна  $0,5 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Тогда  $T = 2,8 \cdot 10^6$  К. Более точные расчёты, проведённые с учётом изменения

плотности с глубиной, дают результаты, лишь незначительно отличающиеся от полученных выше:  $\rho = 6,1 \cdot 10^{13}$  Па,  $T = 3,4 \cdot 10^6$  К.

Согласно современным данным, температура в центре Солнца достигает 15 млн К, давление  $2 \cdot 10^{18}$  Па, а плотность вещества значительно превышает плотность твёрдых тел в земных условиях:  $1,5 \cdot 10^5$  кг/м<sup>3</sup>, т. е. в 13 раз больше плотности свинца. Тем не менее применение газовых законов к веществу, находящемуся в этом состоянии, оправдано тем, что оно ионизовано. Размеры атомных ядер, потерявших свои электроны, примерно в 10 тыс. раз меньше размеров самого атома, а размеры самих частиц довольно малы по сравнению с расстояниями между ними. Это условие, которому должен удовлетворять идеальный газ, для смеси ядер и электронов, составляющих вещество внутри Солнца, выполняется, несмотря на его высокую плотность.

При высокой температуре в центральной части Солнца протоны, которые преобладают в составе солнечной плазмы, имеют столь большие скорости, что могут преодолеть электростатические силы отталкивания и взаимодействовать между собой. В результате такого взаимодействия происходит *термоядерная реакция*: четыре протона образуют альфа-частицу (ядро гелия) (рис. 5.4).

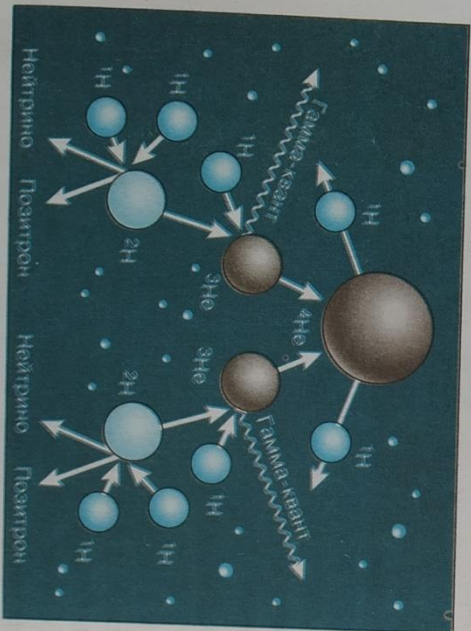
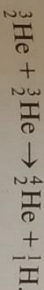
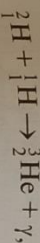
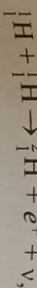


Рис. 5.4. Схема реакции протон-протонного цикла

Термоядерная реакция включает такие этапы:



Как известно из курса физики, все три типа нейтрино (электронное, мюонное и таонное) столь слабо взаимодействуют с веществом, что свободно проходят сквозь Солнце и Землю. Со времени открытия нейтрино в 1953 г. его масса, которая экспериментально не была обнаружена, считалась равной нулю. Первый детектор этих частиц, идущих от Солнца, зарегистрировал поток электронных нейтрино, но он оказался в несколько раз меньше ожидаемого. Возник «парадокс» солнечных нейтрино: или внутреннее строение Солнца не соответствует расчётам, или свойства нейтрино изучены недостаточно полно. Только спустя почти полвека, в 2002 г., удалось решить этот парадокс. Детектором, в котором использовалась тяжёлая вода  ${}^2\text{H}_2\text{O}$ , были зарегистрированы сразу три типа солнечных нейтрино. Оказалось, что значительная часть электронных нейтрино (а именно они рождаются в недрах Солнца в результате термоядерных реакций) по пути к Земле меняют свой тип — «осциллируют». Но это может происходить только в том случае, если нейтрино обладают массой покоя. В результате, с одной стороны, физики получили сведения о том, что нейтрино имеет массу покоя, которые не удавалось получить каким-то иным путём. Согласно имеющимся оценкам, она должна составлять не более нескольких электронвольт. Напомним, что масса электрона примерно  $0,5$  МэВ, т. е. в несколько десятков тысяч раз больше. С другой стороны, астрофизики убедились в справедливости предположений о термоядерных реакциях, происходящих внутри Солнца. Кинетическая энергия, которую приобретают образующиеся в ходе реакции частицы, поддерживает высокую температуру плазмы, и тем самым создаются условия для продолжения термоядерного синтеза. Энергия гамма-квантов обеспечивает излучение Солнца.

Из недр Солнца наружу эта энергия передаётся двумя способами: *излучением*, т. е. самими квантами, и *конвекцией*,

т. е. веществом. Выделение энергии и её перенос определяют внутреннее строение Солнца:

— **ядро** — центральная зона, где при высоком давлении и температуре происходят термоядерные реакции;

— **лучистая зона**, где энергия передается наружу от слоя к слою в результате последовательного поглощения и излучения квантов;

— **наружная конвективная зона**, где энергия от слоя к слою переносится самим веществом в результате перемешивания (конвекции).

Каждая из этих зон занимает примерно  $\frac{1}{3}$  солнечного радиуса (рис. 5.5).

Сразу за конвективной зоной начинается **атмосфера**, которая простирается далеко за пределы видимого диска Солнца. Её нижний слой — **фотосфера** — воспринимается как поверхность Солнца. Верхние слои атмосферы непонимных солнечных затмений, либо во время ранства, либо при помощи специальных приборов с поверхности Земли.

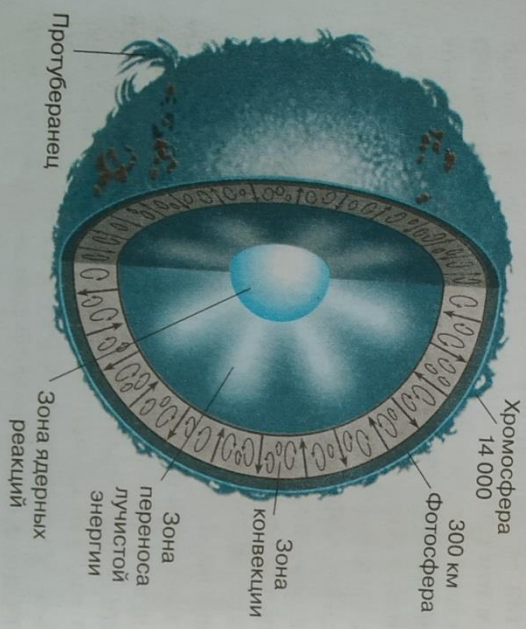


Рис. 5.5. Внутреннее строение Солнца

### 3. Атмосфера Солнца

**Фотосфера** — самый нижний слой атмосферы Солнца, в котором температура довольно быстро убывает от 8000 до 4000 К. Следствием конвективного движения вещества в верхних слоях Солнца является своеобразный вид фотосферы — **грануляция** (рис. 5.6). Фотосфера как бы состоит из отдельных зерен — гранул, размеры которых составляют в среднем несколько сотен (до 1000) километров. Гранула — это поток горячего газа, поднимающийся вверх. В темных промежутках между гранулами находится более холодный газ, опускающийся вниз. Каждая гранула существует всего 5–10 мин, затем на её месте появляется новая, которая отливается от прежней по форме и размерам. Обшая наблюдаемая картина при этом не меняется. Вещество фотосферы нагревается за счёт энергии, поступающей из недра Солнца, а излучение, которое уходит в межпланетное пространство, уносит энергию, поэтому наружные слои фотосферы охлаждаются.

В самых верхних слоях фотосферы плотность вещества составляет  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup>. Здесь в условиях минимальной для Солнца температуры оказывается возможным существование нейтральных атомов водорода и даже простейших молекул и радикалов Н<sub>2</sub>, ОН, СН.

Над фотосферой располагается **хромосфера** («сфера цвета»). Красноважно-фиолетовое кольцо хромосферы можно видеть в те моменты, когда диск Солнца закрыт Лунной во время полного солнечного затмения. В хромосфере вещество имеет температуру в 2–3 раза выше, чем в фотосфере. Здесь, как и внутри Солнца, оно представляет собой плазму, только меньшей плотности. Толщина хромосферы 10–15 тыс. км, а далее на миллионы километров (несколько радиусов Солнца)



Рис. 5.6. Грануляция в фотосфере

