

*Я тебе скажу, Лестат, что было Большим взрывом.
Это когда клетки Бога начали делиться.*

Энн Райс. «История Похитителя тел»

Астрономия полезна потому, что она возвышает нас над нами самими; она полезна потому, что она величественна; она полезна потому, что она прекрасна. Именно она являет нам, как ничтожен человек телом и как велик он духом, ибо ум его в состоянии объять сияющие бездны, где его тело является лишь темной точкой, в состоянии насладиться их безмолвной гармонией. Так мы приходим к сознанию своей мощи, и это сознание многого стоит, потому что делает нас сильнее.

Анри Пуанкаре

Вечная тишина этих бесконечных пространств пугает меня.

Паскаль

*А может быть, созвездья, что ведут
Меня вперед неведомой дорогой,
Нежданный блеск и славу придадут
Моей судьбе, безвестной и убогой.*

У. Шекспир. Сонет 26.

АСТРОНОМИЯ

Введение

Всегда с уважением вспоминаю те времена, когда на изучение курса астрономии в школе отводился один час в неделю, и она была обязательным предметом. С тех пор много воды утекло, в школу пришли экономика и право, укрепилась информатика, итоговая аттестация стала проходить в форме ЕГЭ и ГИА, тихо «ушла» из школьных кабинетов наука о звездном небе. Хорошо это или плохо?! Зачем разбираться с происхождением и эволюцией звезд во Вселенной, если в стране столько удивительных звезд (чиновников, артистов, депутатов), которым можно подражать и с которых можно «делать жизнь»? Все они уйдут когда-то, приоритеты изменятся, а небо над головой останется, как и тяга к постижению законов мироздания.

Небо всегда манило к себе пытливым ум человека. Ведь где-то там, в бездонных просторах Космоса, соединяется наш мир с микромиром и замыкается «кольцо познания». Есть вещи, которые астрономия может предложить современному ученику:

1. Понимание самых близких явлений природы, с которыми он сталкивается ежедневно: например, восход-закат, солнечные и лунные затмения, смена времен года, суточное и годичное изменения вида звездного неба.
2. Учит, как ориентироваться по небу, например, определять стороны света, определять координаты места наблюдения, пользоваться картой звездного неба и другими астрономическими приборами.
3. Дает представление о современной астрофизической картине мира: например, он сможет понять, о чем идет речь, когда по телевизору рассказывают о Нобелевской премии по физике, которую в этом году дали снова астрономам.
4. Развивает научный подход к жизни в принципе, сюда входит и понимание того, как строятся некие причинно-следственные связи, и умение отличать доказательство логичное и обоснованное от доказательства ложного.
5. Астрономия включает не только физику, но и географию, химию, иногда биологию, чаще геометрию и математический анализ.

Хочется верить, что так будет и астрономия вернется в школу! Тогда вновь придется начинать с нуля, писать учебники, разрабатывать методические рекомендации к ним, искать учителей, составлять контрольные и самостоятельные работы. Поэтому я и решил опубликовать свои примерные планы уроков по данному предмету, который не преподаю уже около двадцати лет, но всегда преподавал с интересом. Астрономия — исключительно красивая наука, поэтому не утомительно и с большим интересом постигали науку о звездном небе мои ученики. Все потому, что в основе программы курса лежит эволюционный подход, от звездной астрометрии к наблюдаемому устройству Вселенной и астрофизике, после чего к Большому Взрыву, происхождению наблюдаемых во Вселенной структур и их эволюции, Солнцу и солнечной системе. В последние годы, благодаря земным и внеземным телескопам, удалось сделать новые открытия, многое объяснить и понять. Старался быть «в курсе дела», корректировал и дополнял планы уроков. Некоторые задачи и вопросы к урокам брал из сборников задач, на авторов которых ссылаюсь. Есть очень хорошие вопросы и задачи, и не все еще потеряно.

Учитель физики и астрономии

А. Найдин

Оглавление

1. Введение	2
2. Астрометрия.....	3-24
3. Строение Вселенной.....	25-45
4. Большой Взрыв и космология.....	46-67
5. Солнечная система.....	68-102
6. Вопросы к зачету.....	102-111
7. Примерные темы курсовых работ и рефератов.....	112
8. Примерные темы проектов.....	112
9. Литература.....	113
10. Не решенные проблемы астрономии.....	114-116

Уроки, задачи, вопросы, творческие домашние задания.

Анатолий Найдин



г. Томск

2015 г

*Есть семь чудес?! Не правда то,
Весь мир, чем вам не чудо?
Как создан он, и создал кто?
И взялся он откуда?*

Автор неизвестен

*Глубокая философия скрыта в великой книге - Вселенной,
всегда открытой нашему пытливому взору, но прочесть эту
книгу можно, лишь научившись разбираться в ее языке,
научившись читать буквы, из которых она состоит.*

Галилео Галилей

*— Но неужели вы имеете в виду, сэр», — спросил Питер, — что другие миры могут
существовать... повсюду, буквально за углом... вот просто так?*

*— Ничего не может быть вероятнее, — отозвался профессор... бормоча про
себя: "Интересно, чему их там учат, в этих школах.*

К.С. Льюис. Лев, колдунья и платяной шкаф

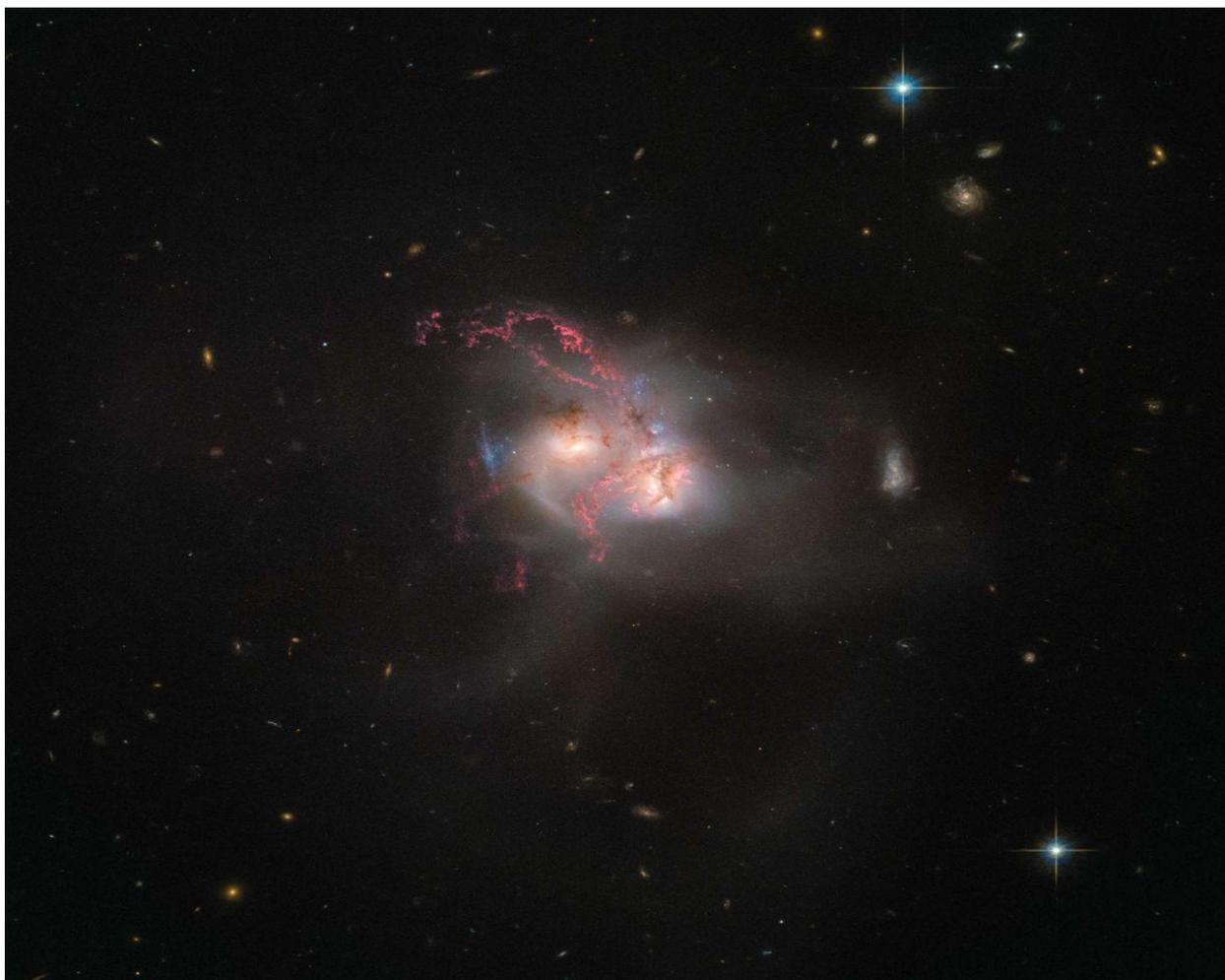
Послушайте: здесь, по соседству, есть чертовски хорошая вселенная: пойдёмте туда.

Эдвард Каммингс

Астрономия заставляет душу смотреть вверх и ведет нас из этого мира в другой.

Платон.

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО АСТРОНОМИИ



... астрономия, рассматриваемая как целое, совершенством своих теорий представляет лучший памятник человеческому гению.

Лаплас

Урок 1-2.

ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

Самая большая загадка Космоса — тайна бесконечности!

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление о предмете астрономии, ее основных методах исследования и практических применениях. Заинтересовать учащихся астрономией.

ТИП УРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Что изучает астрономия", диафильм "Методы астрофизических исследований", телескоп-рефрактор,

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом



II. Со всех сторон нашу Землю окружает необъятный мир небесных тел. Его называют **Вселенной (космосом)**. Космос прекрасно сочетает в себе неповторимую красоту и холод рациональности.

Границу между земной атмосферой и космосом называют **линией Кармана**; она находится на высоте 100 километров над уровнем моря. Слово «астронавт» происходит от двух греческих слов – astron («звезда») и nautes («моряк»). Астронавт – это звездный моряк.

Происхождение слова "астрономия": "астрон" - светило, "номос" - закон.

Разделы современной астрономии:

1. **Астрометрия (измерение координат астрономических объектов).**
2. **Небесная механика (законы движения небесных тел).**
3. **Астрофизика (физическое строение и химический состав астрономических объектов).**
4. **Космогония (происхождение наблюдаемых во Вселенной структур).**
5. **Космология (крупномасштабная структура и эволюция Вселенной).**

Космологию можно считать космогонией всей наблюдаемой Вселенной или даже Вселенной в целом. **Космология** - «супернаука» XXI века, которая объединяет усилия астрономов, космологов и физиков.

Астрономия - наука, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.

Возникновение астрономии для измерения времени и ориентировки на местности. Астрономическими методами определялось время суток, времена года, географические координаты, направления на Восток или на некоторый невидимый пункт (например, на Мекку из Багдада); предсказывались моменты наступления равноденствий и солнцестояний, новолуний и полнолуний, солнечных и лунных затмений, разливов Нила и многое другое. Как только между Гринвичем и Лондоном открыли железную дорогу, то сотрудник

обсерватории регулярно выезжал в город с предварительно настроенными часами. Служба доставки точного времени просуществовала до конца тридцатых годов прошлого века.

Из всех наук астрономия есть та, которая была наиболее полезна разуму и торговле.

Наполеон Бонапарт

*Лишь на востоке начнут восходить Атлантиды-Плеяды,
Жать поспевай, а начнут заходить, - за посев принимайся.
На сорок дней и ночей совершенно скрываются с неба
Звезды-Плеяды, потом же становятся видными глазу
Снова, в то время как люди железо точить начинают.*

Гесиод

*Радостно парус наярят Одиссей и, попутному ветру
Вверившись, поплыл. Сидя на корме и могучей рукою
Руль обращая, он бодрствовал; сон на его не спускался
Очи, и их не сводил он с Плеяд, с нисходящего поздно
В море Воота, с Медведицы, в людях еще Колесницы
Имя носящей и близ Ориона свершающей вечно
Круг свой, себя никогда не купая в водах океана.
«Одиссея», песнь пятая, перевод В. А. Жуковского*

Астрономические объекты: планетные тела, планетные системы (солнечная система), звезды, системы звезд. Шаровые и рассеянные скопления, Галактика, галактики, квазары, системы галактик, Вселенная.

Вселенная - космическая лаборатория: вещество белых карликов и нейтронных звезд, гравитация, черные дыры, излучение квазаров. Астрономия бросает вызов законам природы и задает "планку" человеческому мышлению! Сейчас астрономия представляет физику и химии космическую лабораторию с недостижимыми в земных условиях параметрами: сильнейшие гравитационные и электромагнитные поля, макрообъекты с ядерной плотностью, высочайший вакуум, частицы высоких энергий в космических лучах. **Астрономия, наука ученых-мечтателей, хранит в себе вечную тайну возникновения Вселенной!**

Для астрофизиков космос является продолжением физической лаборатории, где углубленно изучаются важнейшие физические законы, создаются и проверяются новые физические представления и теории.

С. Пикельнер

Солнечная система является гигантской лабораторией, в которой природа в течение миллиардов лет "выполняет" широкий круг экспериментов по физике высоких энергий.

Кирстен

Процессы во Вселенной и их влияние на процессы, происходящие на Земле (космическое излучение, солнечный ветер, приливы, метеориты).

Практические применения современной астрономии: измерение времени, ориентировка, геодезия и картография, поиски экзопланет, защита от астероидов, служба Солнца, физическая картина мира.

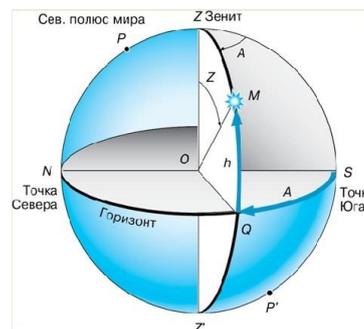
Астрономические наблюдения. Особенности наблюдений: **пассивность** (в апреле 2019 года прошел первый симпозиум по лабораторной астрофизике),

зависимость от места и времени, выполнение углевых измерений. Тем не менее, по наблюдениям в небольшом диапазоне времени мы можем делать выводы об устройстве Вселенной, о процессах, которые в ней происходят, и об их масштабах. Прежде всего, нам надо научиться ориентироваться по звездам!

Плоскость касательная к поверхности Земли в точке наблюдения называется плоскостью горизонта.

Учитель спросил учащихся:

- Что ближе к нам. Луна или Африка?
- Конечно Луна, – ответил один из них.
- Почему ты так думаешь?
- Отсюда я Луну могу увидеть, а Африку нет.



Горизонтальные координаты светил: высота (h) и азимут (A) (приложение Star Walk). Теодолит.

Телескоп увеличивает угол зрения и собирает больше света. Рефрактор (сентябрь 1608 года, Ханс Липпергей) - используется преломление света в линзе (преломляющий), первым в 1609 г. применил Г. Галилей. **Рефлектор** - используется вогнутое зеркало (отражающий), изобрел в 1668 г. И. Ньютон.

Сегодня рефлекторами являются все крупнейшие телескопы мира.

Угловое увеличение телескопа: $\Gamma = F_{об}/F_{ок}$. Угловое разрешение телескопа: $\alpha \approx 1,2 \cdot \lambda/D$ (в видимом свете: $r (") = 140"/D$ (мм)). Угловое разрешение глаза: 1-2' (около 0,02°—0,03°). **Астрофотография.**

Справка. Паранальская обсерватория, где находится Очень большой телескоп (все четыре телескопа объединены в одну систему (Very Large Telescope, VLT) расположена на вершине горы Серро-Параналь всего в 12 километрах от побережья Тихого океана. Погода Атакамы, считающейся самой сухой пустыней Земли, дает возможность проводить наблюдения



в среднем 320–330 ночей в году: облачность здесь бывает редко, а в воздухе практически отсутствуют водяные пары, которые могли бы задерживать регистрируемое телескопами излучение.

Недалеко расположена обсерватория Серро Армасоне, где сейчас сооружается Чрезвычайно большой телескоп (Extremely Large Telescope, ELT) с невероятным диаметром зеркала — 39 м (правда, в отличие от VLT, это зеркало не монолитно: оно будет состоять из

798 шестиугольных сегментов). Его ввод в строй планируется в 2028 году.

Радиотелескопы. Открытие пульсаров и квазаров. Благодаря радиотелескопам, человечество научилось не только видеть Вселенную, но и «слушать» ее. Угловое разрешение радиотелескопа: $\beta \approx 2 \cdot 10^5 \lambda/D$ - угловой секунды.

Рентгеновская астрономия.

Спектральный анализ. С помощью спектрального анализа мы можем узнавать химический состав далеких галактик, измерять температуру и скорость вращения звезд.

Если мы на таком расстоянии способны определить, какие вещества горят в этом пламени, то почему бы нам ни попытаться узнать, из каких веществ состоят небесные тела?

Кирхгоф

Искусственные спутники Земли и внеатмосферная астрономия.

Дополнительная информация. Космический телескоп "Хаббл" может разглядеть муху на расстоянии 20 км, что в 10 раз зорче, чем у земных телескопов. "Хаббл" видит звезды, удаленные от нас на 13 миллиардов световых

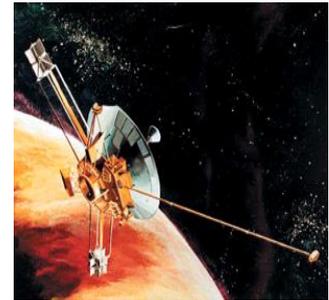


Эдвин Хаббл

лет. Крошечная область пространства (всего 1/32 000 000 часть неба) просматривалась телескопом «Хаббл» на разных длинах волн в общей сложности 23 дня. Количество информации просто поражает: нашли 5500 галактик в этом крошечном клочке неба. Самые тусклые объекты в этом клочке буквально в 10 000 000 000 раз слабее, чем то, что вы можете увидеть на пределе своего невооруженного глаза. Инфракрасный телескоп «Спитцер», его сменщики «Гершель» и «Планк» способны уловить спектральные линии кислорода и других газов в атмосфере планеты, когда она проходит перед диском своей звезды.

Раньше мы могли изучать астрофизику только через **электромагнитные волны** (гамма, рентген, видимый свет и радио) и через космические частицы. Теперь мы получаем дополнительную информацию в виде **гравитационных волн**.

Дополнительная информация. В декабре 2021 года на орбиту была выведена крупнейшая оптическая и инфразвуковая обсерватория – телескоп Джеймс Уэбб. Она регистрирует видимое и тепловое излучение. Размер линзы этого аппарата составляет 6,5 метров в диаметре, что является рекордом. Зеркало предыдущего орбитального телескопа имени Хаббла в 6 раз меньше. Конечно, наземные телескопы есть и больше Уэбба, но из-за интеграции света в атмосфере они делают снимки Вселенной хуже, чем космические. Чтобы телескоп работал в своем диапазоне излучения без помех, нужно, чтобы он сам не нагревался и не излучал. Для этого он был отправлен в так называемую точку Пуассона L2. В ней телескоп постоянно находится в тени Земли и нагревается гораздо меньше от света Солнца. Зеркало телескопа сделано в виде складных золотых сот. Точность разворачивания сот не меньше длины волны света, то есть 0,5 микрометра. Из-за размера и способности собирать свет от самых далеких или очень маленьких объектов космоса и из-за высокой точности от телескопа ждали много новых открытий. И он не подвел. В первый же день работы он обнаружил признаки наличия воды на экзопланете WASP-96b. Среди задач телескопа стоит в первую очередь обнаружение света от самых первых звезд и галактик Вселенной. Телескоп Джеймс Уэбб может поймать свет, который шёл к Земле 13 миллиардов лет от галактик, которые уже давно умерли, но тогда, в первые сотни тысячелетий Вселенной, были молодыми. Также телескоп должен искать главный маркер жизни – метан – на объектах Солнечной системы, а заодно найти и сами такие объекты, например, еще не открытую десятую планету или доказать, что ее не существует. Следующая важная задача – узнать, как погибают планеты. Телескоп Джеймс Уэбб будет смотреть внутрь облаков пыли и газа вокруг звезд. Видимый свет пыль не пропускает, но планеты горячие и их тепло телескоп постарается уловить. Конечно, новый телескоп постарается найти новые миры у других звезд и, может быть, найти там новую жизнь. Будем ждать от него новых открытий.



Джеймс Уэбб



они делают снимки Вселенной хуже, чем космические. Чтобы телескоп работал в своем диапазоне излучения без помех, нужно, чтобы он сам не нагревался и не излучал. Для этого он был отправлен в так называемую точку Пуассона L2. В ней телескоп постоянно находится в тени Земли и нагревается гораздо меньше от света Солнца. Зеркало телескопа сделано в виде складных золотых сот. Точность разворачивания сот не меньше длины

волны света, то есть 0,5 микрометра. Из-за размера и способности собирать свет от самых далеких или очень маленьких объектов космоса и из-за высокой точности от телескопа ждали много новых открытий. И он не подвел. В первый же день работы он обнаружил признаки наличия воды на экзопланете WASP-96b. Среди задач телескопа стоит в первую очередь обнаружение света от самых первых звезд и галактик Вселенной. Телескоп Джеймс Уэбб может поймать свет, который шёл к Земле 13 миллиардов лет от галактик, которые уже давно умерли, но тогда, в первые сотни тысячелетий Вселенной, были молодыми. Также телескоп должен искать главный маркер жизни – метан – на объектах Солнечной системы, а заодно найти и сами такие объекты, например, еще не открытую десятую планету или доказать, что ее не существует. Следующая важная задача – узнать, как погибают планеты. Телескоп Джеймс Уэбб будет смотреть внутрь облаков пыли и газа вокруг звезд. Видимый свет пыль не пропускает, но планеты горячие и их тепло телескоп постарается уловить. Конечно, новый телескоп постарается найти новые миры у других звезд и, может быть, найти там новую жизнь. Будем ждать от него новых открытий.

III. Задачи:

1. Определите угловое расстояние (с точностью до нескольких угловых минут) между Вега и Луной, если известны их координаты: Вега (азимут $A_1 = 90^0$, $h_1 = 52^0$), Луна (азимут $A_2 = 270^0$, высота $h_2 = 18^0$).

Вопросы:

1. Что изучает астрономия?
2. Какие практические задачи решает астрономия в наше время?
3. Какова связь астрономии с другими науками?
4. Какова роль астрономии в формировании научного мировоззрения?
5. Какова роль наблюдений в астрономии?

6. В какой стороне неба находится светило, имеющее горизонтальные координаты: $h = 28^\circ$; $A = 180^\circ$. Каково его зенитное расстояние?
7. Чем отличается астрограф от телескопа для визуальных наблюдений?
8. Если бы Вам представилось выбрать место для новой обсерватории, работающей в оптическом диапазоне, то какие наиболее важные факторы Вы бы учли?

IV. §§ 1-2, упр. 1.



*На воздушном океане
Без руля и без ветрил
Тихо плавают в тумане
Хоры стройные светил.*

М. Ю. Лермонтов

*Стоя в темноте, я вижу свет на расстоянии.
Так холодно, что жду тепла от звезд мерцания.*

Ян Тейген. Оптимист

Урок 3-4. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ЗВЕЗДНЫХ КАРТАХ

Что там «за горизонтом»? Что ближе к нам, Луна или Африка?

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать общее представление о звездном небе, созвездиях, блеске и видимой звездной величине светил; познакомить учащихся с видимым суточным движением звездного неба и его изображением на звездных картах.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Звездное небо", кинофильм "Вселенная", сфера амилярная, скафис универсальный, демонстрационная подвижная карта неба.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



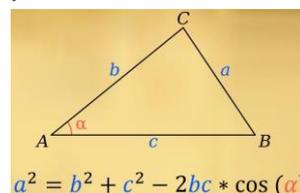
II. Опрос фундаментальный: 1. Предмет астрономии. 2. Методы астрофизических исследований.

Задачи:

1. Диаметр сферического аэростата равен 13 м. На каком расстоянии находится аэростат, если его угловой диаметр $30'$?
2. Определите линейное расстояние между двумя звездами, находящимися от нас на расстояниях 10 св. лет и 30 св. лет и видимых в небе на угловом расстоянии 60° .

Вопросы:

1. В чём преимущество телескопа перед глазом?
2. Можно ли считать космологию наукой, ведь ее теоретические конструкции невозможно подвергнуть экспериментальной проверке?



3. Почему астрономы раньше стремились расположить свои обсерватории на вершинах гор, а теперь – в пустынях?
4. В какой стороне неба находится звезда, если ее горизонтальные координаты: $h = 53^{\circ}$; $A = 270^{\circ}$. Каково ее зенитное расстояние?
5. Почему яркость звезд, видимых невооруженным глазом, при рассматривании их в телескоп заметно увеличивается?
6. В чем преимущество космического оптического телескопа перед наземным телескопом?
7. Почему современную астрономию называют всеволновой?
8. Почему радиоволны позволяют точнее рассмотреть структуру квазаров?
9. Объясните, в чем основное различие между телескопом – рефлектором и телескопом – рефрактором.

III.

*Один, глядя в лужу, видит в ней грязь,
другой - отражающиеся в ней звёзды.*

Иммануил Кант

Звездное небо (по кадрам диафильма). **Созвездия. Созвездием называют область неба внутри некоторых установленных границ.**

Астеризм — различимая группа ярких звёзд, образующих некоторую фигуру.

Все звездное небо разбито на **88 созвездий**. Самое большое созвездие - это Гидра, а самое маленькое - Южный Крест. Древнегреческая мифология и название созвездий. Примеры: Большая Медведица, Кассиопея, Андромеда, Цефей, Персей, Пегас и т.д.

Дополнительная информация. Само созвездие Большой Медведицы раскинулось далеко за пределами ковша и входит в число самых крупных созвездий по площади. Две самые яркие звезды этого созвездия, Дубхе и Мерак (их еще называют "указателями"), образуют одну из сторон "ковша" (чаши) и указывают прямо на Полярную звезду. С помощью этих "указателей" можно найти также звезды Кастор и Поллукс из созвездия Близнецов и Денеб из созвездия Лебеда. А "ручка ковша" указывает на Арктур из созвездия Волопаса.

Алькор и Мицар считаются шестикратной системой со сложным движением компонентов, где светила вращаются друг вокруг друга, а нам кажется, будто перед нами одна яркая точка. Невооруженным глазом в безлунную ночь можно видеть над горизонтом около 3000 звезд. Еще Гиппарх (родился около 190 г. до н.э.) – «отец астрономии», разделил звезды по яркости на **6 звездных величин** и составил каталог 850 наиболее ярких звезд.

Измерения, проведенные в середине XIX века, показали, что разности в 5 звездных величин по шкале Гиппарха соответствуют отношению освещенностей почти в 100 раз.

Блеск звезды (I) - освещенность, создаваемая звездой на Земле.

I_1 – блеск звезды первой величины.

$I_2 = I_1 / 2,512$ – блеск звезды второй звездной величины.

$I_3 = I_2 / 2,512 = I_1 / (2,512)^2$ – блеск звезды третьей звездной величины.

$I_n = I_{n-1} / 2,512 = I_1 / (2,512)^{n-1}$ – блеск звезды n-ой звездной величины.

$$\frac{I_n}{I_m} = (2,512)^{m-n}. \quad \lg \frac{I_n}{I_m} = 0,4(m-n).$$

Примеры: Альдебаран ($m = 1,06^m$), Полярная ($m = 2,3^m$), Вега ($m = 0,14^m$), Сириус ($m = -1,58^m$), Тау Кита ($m = 3,5^m$), Солнце ($m = -26,8^m$).

Сириус — самая яркая звезда ночного неба. Она помогала древним египтянам предсказывать несущий жизнь разлив Нила, с её помощью они определяли длину года. Мореплаватели использовали ярчайшую звезду для навигации, а поэтам она служила источником вдохновения.

Интересный факт. В квалификационной шкале физиков, составленной Львом Давидовичем Ландау в молодые годы, Эрвин Шрёдингер и Луи де Бройль имели класс 1, а Альберт Эйнштейн — наивысший класс 0,5, собственный - класс 3.

Предельная звездная величина светил, доступных для наблюдения телескопом, выражается через его диаметр D (в мм) формулой $m = 2,10 + 5 \lg D$.

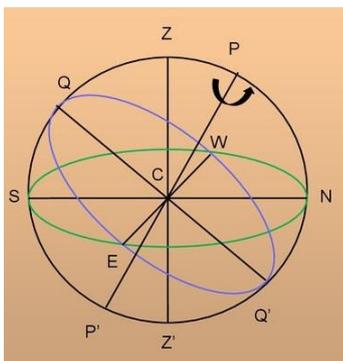
Суточное наблюдение за звездным небом (по кадрам диафильма). Полярная звезда и северный полюс мира. **Полюс мира** (демонстрация на модели).

Увы, не все звезды, как говорил Шекспир, так же "постоянны, как Полярная звезда"!

Считается, что Фалес Милетский «открыл» для греков созвездие Малой Медведицы как путеводный инструмент; ранее этим созвездием пользовались финикийцы. *Увлечись наблюдением небесных явлений, Фалес упал в колодец. Служанка-фракийка хохотала: «Хочешь узнать, что на небе, а сам не видишь, что под ногами!»* Был Фалес убежден и в том, что между жизнью и смертью нет никакой разницы, и когда его спросили: «Что же ты, Фалес, не помрешь?», он ответил: «Именно поэтому».



Небесная сфера - сфера видимого расположения звезд.



Плоскость горизонта и линия горизонта. Плоскость горизонта делит небесную сферу на две равные части - видимую и невидимую.

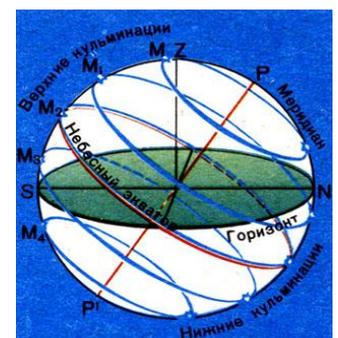
Точки севера и юга (ориентировка ночью по сторонам света). **Полуденная линия** (ориентировка днем по сторонам света). **Зенит и надир.**

Небесный экватор. Небесный экватор делит небесную сферу на две равные части - северную и южную.

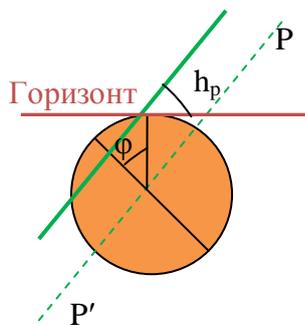
Небесный меридиан делит небесную

сферу на две равные части - западную и восточную.

Кульминация светила. Вращение небосвода против часовой стрелки вокруг северного полюса мира. Верхняя и нижняя кульминация светила. Восход и заход светила. Если вы смотрите на юг, то звезды восходят слева, а заходят справа. Каждая звезда восходит и заходит в одних и тех же точках



горизонта. Максимальная высота звезды в данном месте наблюдения постоянна. Заходящие и незаходящие созвездия (звезды) Северного полушария. Суточное движение звездного неба в средних широтах, на



северном полюсе и на экваторе. Из космоса над Северным полюсом можно заметить, что наша планета крутится против часовой стрелки. **Угловая высота северного полюса мира h_p и широта места наблюдения φ : $\varphi = h_p$.** Определение широты места наблюдения с помощью скафиса универсального.

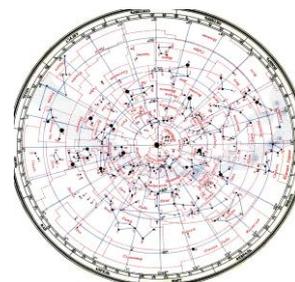
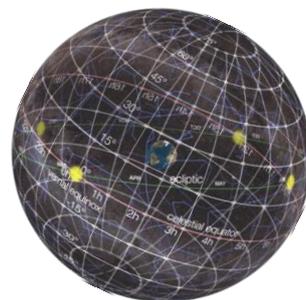
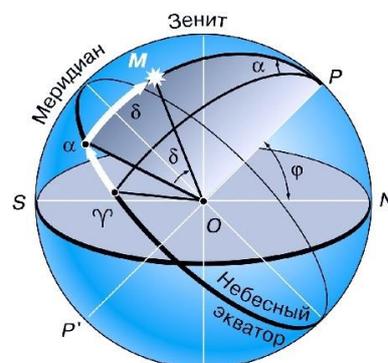
Экваториальная система координат.

Склонение (δ) - угловое расстояние светила от

небесного экватора. Прямое восхождение (α) - угол между плоскостями больших кругов, один из которых проходит через полюса мира и данное светило, а другой - через полюса мира и точку весеннего равноденствия.

Дополнительная информация. Аналог земной широты называется склонением и отсчитывается от небесного экватора к полюсам мира. Аналог земной долготы отсчитывается от точки весеннего равноденствия - одной из двух точек, где эклиптика пересекается с небесным экватором.

Как из модели небесной сферы "можно изготовить" карту звездного неба? **Подвижная карта звездного неба.** Практическая работа с картой звездного неба: **определение экваториальных координат светил и нахождение светил по их экваториальным координатам.** Нахождение положения светил на небе с помощью модели горизонтальных и экваториальных координат.



IV. Задачи:

1. Во сколько раз блеск Сириуса больше блеска α -Центавра?
2. За период видимости расстояние от кометы до Солнца и до Земли увеличилось в 2 раза. Как изменилась ее видимая звездная величина?
3. Сколько надо звезд шестой звездной величины, чтобы их суммарное излучение сравнялось с видимым излучением Сириуса?
4. Крупным телескопам доступны звезды, в миллиард раз более слабые, чем звезды, доступные невооруженному глазу. Какова их звездная величина?
5. Определите угловое расстояние (с точностью до нескольких угловых минут) между Феркадом (γ Малой Медведицы) и Мирфаком (α Персея), если известны их координаты: Феркад (прямое восхождение $\alpha_1 = 15^h 20^m$, склонение $\delta_1 = 71^\circ 46'$), Мирфак (прямое восхождение $\alpha_2 = 3^h 24^m$, $\delta_2 = 49^\circ 51'$).
6. Звезда β Рыб имеет координаты $\alpha = 0^h 50^m$, $\delta = 7^\circ 35'$. Звезда φ Водолея находится на $1^h 36^m$ западнее и на $13^\circ 34'$ южнее. Определите координаты φ Водолея.
7. На Северном полюсе Земли некая звезда наблюдается на высоте $59^\circ 48'$. На какой максимальной угловой высоте может наблюдаться эта звезда на Южном полюсе Земли и на экваторе?

Вопросы:

1. У звезды блеск меняется от минимума к максимуму на 7 звездных величин. Во сколько раз меняется ее блеск?
 2. Какие линии и точки небесной сферы вы теперь знаете?
 3. Можно ли рассматривать суточное вращение звездного неба как доказательство вращения Земли вокруг оси?
 4. Чему равен азимут и высота зенита?
 5. Почему не используют горизонтальные координаты светил для создания карты звездного неба?
 6. Могут ли звезды одного созвездия за несколько часов изменить свое положение относительно горизонта? А одна относительно другой?
 7. В каких точках небесный экватор пересекается с линией горизонта?
 8. В каких точках небесный меридиан пересекается с горизонтом?
 9. Есть ли различие между северным полюсом мира и точкой Севера?
 10. Сколько точек небесной сферы не изменяют своего положения относительно горизонта?
 11. Определите по звездной карте созвездие, в котором находится галактика M31, если ее координаты $\alpha = 0^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta = +41^{\circ}16'$.
 12. Выразите 13 ч 20 мин в градусной мере.
 13. В каком созвездии находится Луна, если ее координаты $\alpha = 20^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = -20^{\circ}$?
 14. 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) $\alpha = 3^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta = +47^{\circ}50'$.
 15. Светило видно в точке неба с азимутом $A = 90^{\circ}$ и высотой $h = 0^{\circ}$. Каково склонение светила?
 16. Координаты звезд равны: $\alpha_1 = 2^{\text{h}}$, $\delta_1 = 0^{\circ}$, $\alpha_2 = 8^{\text{h}}$ и $\delta_2 = 0^{\circ}$. Каково угловое расстояние между ними на небе?
 17. В каких случаях угловая высота светила над горизонтом не изменяется в течение суток?
 18. В каких точках Земли Северный полюс мира совпадает с зенитом? с точкой севера? с надиром?
 19. Оцените угловое расстояние между Полярной звездой и Альтаиром (склонение $+9^{\circ}$, прямое восхождение $19^{\text{h}}51^{\text{m}}$) в градусах.
 20. Желаем всем положительного склонения! Как это понимать?
 21. Насколько могут отличаться центр Земли и центр небесной сферы?
 22. Какая звезда ярче – Сириус или Вега?
- V. §§ 3-5. Упр. ст. 19 (1-9)**
1. Самостоятельно определите широту места наблюдения.
 2. Какую долю небесной сферы составляет область незаходящих и невосходящих светил на полюсе и на экваторе?

3. В фильме «Хроники Риддика» было сказано, что уничтожено созвездие Угольный мешок. Есть ли такое созвездие? Можно ли уничтожить созвездие?
4. Не задумывались ли вы, почему в обычных часах стрелки идут, что называется, «по часовой стрелке»?
5. Выдвиньте прямую руку перед собой и, раздвинув указательный и средний пальцы, изобразите букву V. Чему равен угол между пальцами? Как таким образом астрономы-любители могут измерять интересные их углы?
6. Предложите план измерения угловой скорости вращения Земли вокруг собственной оси по наблюдениям за суточным движением звездного неба.
7. Почему у нитяного маятника, установленного на Северном полюсе Земли, плоскость колебаний медленно вращается по часовой стрелке?
8. На отдельном листе бумаги начертите небесную сферу с ее основными элементами.
9. На листе бумаги (в трех цветах) начертите небесную сферу, изобразив на ней совместно горизонтальную и экваториальную систему координат для одного и того же светила.

Не устану воспевать вас, звезды!

Вечно вы таинственны и юны,

С детских дней я робко постигаю

Темных бездн сияющие руны.

Иван Бунин



Урок 5-6.

ГОДИЧНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Когда мы движемся вокруг Солнца быстрее – днём или ночью?

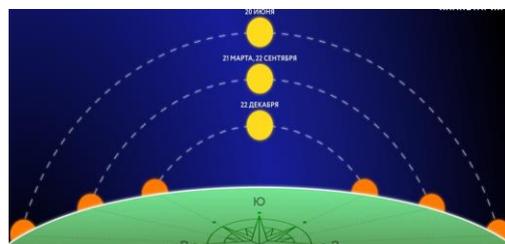
ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление о видимом годовом движении звездного неба. Подготовить учеников к практической работе с подвижной картой звездного неба.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Звездное небо", сфера амиралярная, модель движения Земли вокруг Солнца, диафильм "Видимое движение небесных светил", модель горизонтальных и экваториальных координат, демонстрационная и ученическая подвижные карты звездного неба.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Блеск и видимая звездная величина светила. 2. Небесная сфера. 3. Видимое суточное движение звезд. 4. Звездные карты и небесные координаты.

Задачи:

1. В звездном скоплении 250 одинаковых звезд, видимая звездная величина каждой из которых 10^m . Какова видимая звездная величина скопления?
2. Рассчитайте разность предельных звездных величин, доступных телескопам с диаметрами объективов 20 см и 5 см.
3. В пункте **A** в зените наблюдается метеор, имеющий блеск 0^m . В пункте **B**

этот же метеор был виден на высоте 30^0 над горизонтом. Какой блеск был у него в этом пункте? Поглощением света в атмосфере пренебречь (явления происходят на высотах порядка 100 км).

4. Во сколько раз Солнце освещает поверхность Земли сильнее, чем полная Луна?
5. Одна двойная звезда состоит из двух звезд 2^m , а другая - из одной звезды 1^m и одной 3^m . Какая из этих пар ярче?

Вопросы:

1. Почему в лучах любой звезды, кроме Солнца, невозможно согреться?
2. Чем обусловлено и каковы особенности изменения вида звездного неба в течение суток?
3. Под каким углом пересекаются плоскости небесного экватора и математического горизонта?
4. На какой широте Земли можно увидеть: а) звезды только одной полусферы (северной или южной); б) все звезды небесной сферы?
5. Какой из небесных кругов все светила пересекают дважды в сутки?
6. У каких естественных небесных объектов остаются неизменными их координаты: прямое восхождение и склонение; азимут и высота?
7. Если бы мы могли звезду 4-ой звездной величины приблизить вдвое, то во сколько раз и насколько звездных величин возрос бы ее блеск?
8. Какое созвездие разделяет Большую и Малую Медведицу?
9. В телескоп видны две очень близко расположенные друг к другу звезды одинакового блеска. А для невооруженного глаза они сливаются вместе. Насколько звездных величин их суммарный блеск отличается от звездной величины каждой из них?
10. Является ли доказательством шарообразности Земли изменение высоты Полярной звезды над горизонтом при движении наблюдателя с юга на север. Ответ обосновать.
11. Для определения положения тела в пространстве необходимы три координаты. В астрономических каталогах чаще всего дают только две координаты: прямое восхождение и склонение. Почему?

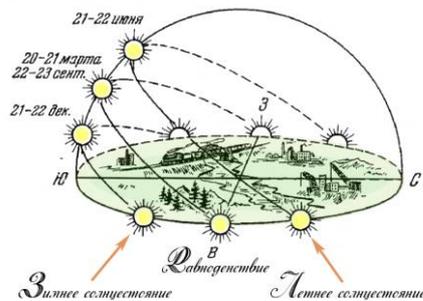
III. Годи́чное изменение вида звездного неба (по кадрам диафильма).

Видимое перемещение Солнца по неясной сфере (демонстрация с моделью движения Земли вокруг Солнца); зодиакальные созвездия. Земля вращается вокруг своей оси в том же направлении, что и вокруг Солнца!

Экли́птика - линия видимого движения Солнца по небесной сфере.

Плоскость эклиптики составляет с плоскостью небесного экватора угол $23^027'$. Почему?

Точки равноденствия - точки пересечения эклиптики с небесным экватором (дважды в год Солнце бывает на небесном экваторе). Видимое суточное движение Солнца в разные времена года (демонстрация с амиллярной сферой). Смена времен года на Земле. Точки весеннего и осеннего равноденствия (21 марта и 23 сентября); точки солнцестояния (22 июня и 22 декабря).



Солнце восходит и заходит так же, как и звёзды (вместе с теми звёздами, на фоне которых оно находится и которых из-за него не видно).



Склонение Солнца на небесной сфере меняется в пределах от (примерно) $+23^{\circ}27'$ до $-23^{\circ}27'$. Эти границы (параллели с широтой $23^{\circ}27'$ в северном и южном полушариях) называются тропиками. Северный тропик называют также тропиком Рака, а южный - тропиком Козерога. На полюсе видна ровно половина эклиптики.

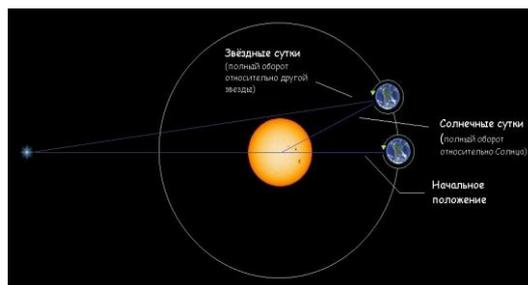
С 30 ноября в Норильске наступает полярная ночь. Она продлится до 13 января 2022 года.

Тропический год - промежуток времени между двумя последовательными прохождениями центра диска Солнца через точку весеннего равноденствия. $T_{\text{троп}} = 365$ дней 5 час 48 мин 46 секунд или 365,242199 суток.

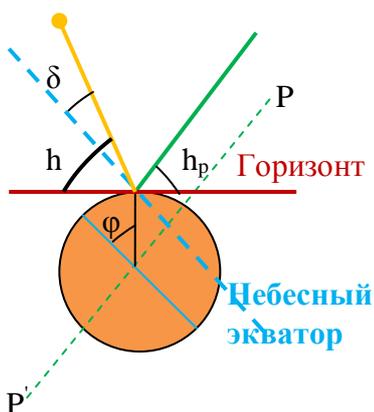
Благодаря наблюдениям за движением Солнца и Луны люди разработали систему календарей!

Истинный полдень и истинная полночь.

Солнечные истинные сутки. Почему солнечные сутки длиннее звездных суток на 3^m57^s ? По мере движения Земли каждый день Солнце немного смещается на небе, и звезды видно уже немного в другом месте. За сутки оно проходит по эклиптике путь примерно в 1 угловой градус.



Чтобы повернуться на такой угол, Земле требуется 4 минуты. И значит, звезды восходят и заходят каждые сутки на 4 минуты раньше, при этом вечерние звезды приближаются к Солнцу, а утренние - отдаляются от него.



Горизонтальная система координат. Высота светила (Солнца) в верхней кульминации: $h = 90^{\circ} - \varphi + \delta$. Каким образом можно определить широту места наблюдения (2-ой способ)? А если известна высота Солнца в верхней кульминации? Дома необходимо доказать, что высота светила в нижней кульминации выражается формулой: $h = \varphi + \delta - 90^{\circ}$. **На каких широтах бывает полярный день?**

Установление вида звездного неба в любое время суток с помощью подвижной карты звездного неба. Практическая работа с подвижной картой звездного неба: восход; кульминация и заход светила; изменение вида звездного неба в течение года (летние и зимние созвездия). Меняется ли длина тени на полюсе в течение суток?

В некоторой точке Земли звезды Дубхе и Мерак (α и β Большой Медведицы) одновременно появились над горизонтом. Чему примерно равна широта точки наблюдения? Полярная звезда тоже будет над горизонтом, широта места 0° (экватор).

IV. Задачи:

1. На какой высоте кульминирует Солнце 22 июня в Томске?
2. С каким предельным склонением видны звезды южного полушария в Санкт-Петербурге? Широта Санкт-Петербурга $59^{\circ}57'$.
3. 23 сентября тень отвесно стоящего столба в полдень составила 0,731 от его высоты. Определите географическую широту местности.

Вопросы:

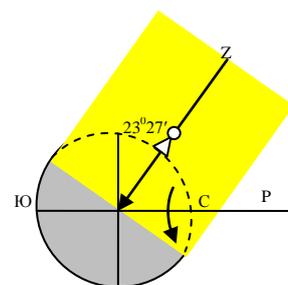
1. Каковы экваториальные координаты Солнца 21 марта, 22 июня, 23 сентября, 22 декабря?
2. В каких зодиакальных созвездиях Солнце бывает летом, осенью, зимой, весной?
3. На сколько градусов смещается Солнце по эклипке каждый день?
4. Чем интересны дни равноденствий и солнцестояний?
5. В каких точках горизонта восходит Солнце в дни весеннего равноденствия, летнего солнцестояния, осеннего равноденствия, зимнего солнцестояния?
6. Определите географическую широту, на которой Солнце в день летнего солнцестояния кульминирует в зените.
7. Определите географическую широту, на которой в день зимнего солнцестояния кульминация Солнца происходит в точке юга.
8. Когда продолжительность ночи в Канберре (Австралия) наибольшая?
9. Сколько раз в году Солнце на экваторе бывает в зените?
10. Обычно говорят, что Солнце восходит на востоке и заходит на западе. Так ли это на самом деле?
11. По какой траектории движется Солнце в протяжении полярного дня с точки зрения наблюдателя на полюсе?
12. Где летний день длиннее (а ночь короче) - в Москве или Петербурге? (Петербург находится на 60° северной широты, Москва - на 56° северной широты.)
13. Что было бы с временами года, если бы эклиптика совпадала с экватором небесной сферы? если бы эклиптика была перпендикулярна экватору небесной сферы?
14. В средних широтах после заката Солнца темнеет не сразу, а сначала

наступают сумерки. С чем это связано?

15. Как меняется в течение года длительность дня и ночи на экваторе?

16. Какие точки небесной сферы не изменяют своего положения относительно земного горизонта?

17. По подвижной карте звездного неба установите дату, когда звезда, прямое восхождение которой 18^h проходит в 20^h в вашей местности через меридиан в южной стороне неба.



V. §§ 6. Упр. ст. 22 (1-6)

1. Нарисовать схему видимого годичного движения Солнца по зодиакальным созвездиям, выписать их названия и условные обозначения.
2. Звезда имела в зените видимый блеск 0^m , а на высоте 30^0 стала светить вдвое слабее. Какую звездную величину она будет иметь на высоте 20^0 над горизонтом? Атмосферные условия считать постоянными и однородными.
3. Составить список созвездий, незаходящих в Томске.
4. Где и когда эклиптика совпадает с плоскостью горизонта?
5. Как изменилась бы продолжительность солнечных суток, если бы Земля стала вращаться в направлении, противоположном действительному?
6. Какое из созвездий Зодиака Солнце проходит за самое короткое время?
7. Как можно ориентироваться по Солнцу на земных полюсах в летнее время, если Солнце там не заходит и в течение суток движется почти на одной и той же высоте над горизонтом?
8. Охотник осенью идет под утро в лес по направлению Полярной звезды. После восхода Солнца он возвращается. Как должен охотник идти обратно, руководствуясь положением Солнца?
9. Выполнить чертежи небесной сферы для г. Томска с изображением на них видимых движений Солнца в дни солнцестояний и в дни весеннего и осеннего равноденствия.

Сириус - дерзкий сапфир, синим горящий огнем

Альдебарана рубин, алмазная цепь Ориона

И уходящий на юг призрак серебристый - Арго!

Иван Бунин

Урок 7-8.

РАБОТА С ПОДВИЖНОЙ КАРТОЙ ЗВЕЗДНОГО НЕБА.

Земля в своем космическом путешествии постоянно катится вперед.

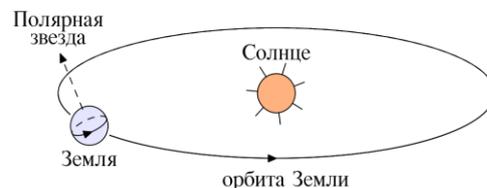
ЦЕЛЬ УРОКА: Закрепить и систематизировать умения и навыки работы с подвижной картой звездного неба и астрономическими моделями.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: модель небесной сферы, модель горизонтальных и экваториальных координат, подвижная карта звездного неба.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Работа с подвижной картой
4. Самостоятельная работа
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Эклиптика. 2. Видимое движение Солнца. 3. Горизонтальная и экваториальная системы координат.

Задачи:

1. Восходит ли в Архангельске ($\varphi = 64^{\circ}35'$) звезда Фомальгаут, склонение которого равно $-30^{\circ}5'$?
2. Серебристые облака могут быть видны 21 июня в Ярославле (широта $57,6^{\circ}$) в зените всю ночь. Определите высоту серебристых облаков. 80 км
3. Звезда отстоит от Северного полюса мира на 15° . Всегда ли она находится над горизонтом в Санкт-Петербурге ($\varphi = 59^{\circ}15'$)?

Вопросы:

1. Что такое зодиакальные созвездия?
2. Что такое точки осеннего и весеннего равноденствий?
3. Экваториальные координаты некоторой точки неба равны $\alpha = 0^h$ и $\delta = 0^{\circ}$. Что это за точка?
4. Как меняется вид ночного неба в течение года?
5. Укажите склонение звезды, которую из любого пункта Земли можно, иногда наблюдать на горизонте.
6. Как по виду звездного неба и его вращению установить, что вы прибыли на Южный полюс Земли?
7. Широта Москвы $\varphi = 55^{\circ}45'$. Определите угловое расстояние от точки зенита в Москве до полюса мира.
8. В какие дни года Солнце достигает зенита для наблюдателя на земном экваторе?
9. Где сегодня день равен ночи?
10. Каковы минимальная и максимальная полуденная высота Солнца в Томске?
11. Почему путешественники, идущие к Северному полюсу, предпочитают иметь часы со стрелками и циферблатом, разделенным на 24 часа?
12. Какая часть эклиптики постоянно находится над горизонтом?
13. Каково суточное движение звезд (Солнца) для наблюдателя на экваторе и на полюсе Земли?
14. На какой широте Большая Медведица становится не заходящим созвездием?
15. В каких местах земного шара солнечные часы имели бы самое простое устройство? Почему именно там их никогда не сооружают?
16. Какая часть небесной сферы в Краснодаре (широта 45° с.ш.) оказывается южнее небесного экватора?
17. Некоторое светило в Санкт-Петербурге (60° с.ш.) отказалось в верхней кульминации вдвое выше над горизонтом, чем в нижней кульминации. Чему равно его склонение?
18. Некоторое светило видно в Томске в зените. Зайдет ли оно за горизонт?
19. В поле стоит одинокий типовой пятиэтажный дом. Торцы здания

ориентированы строго на юг и север. С какой стороны весной раньше растает снег — с восточной или с западной? Почему?

20. Звезда кульминировала в $00^{\text{h}}00^{\text{m}}$, а зашла в $07^{\text{h}}00^{\text{m}}$. В какое время произойдет ее ближайший восход?
21. Звезда вошла над горизонтом в $00^{\text{h}}01^{\text{m}}$ по московскому времени. Когда произойдет ее следующий восход?
22. 22 декабря самый короткий световой день в Москве. Когда в Москве раньше темнеет – 12 декабря или 1 января?
23. На какой географической широте Солнце будет кульминировать в полдень на высоте 45° над горизонтом, если в этот день его склонение равно -10° ?

III. При помощи подвижной карты звёздного неба ты можешь:

- 1. Научиться находить на небе созвездия и яркие звезды, измерять угол между ними.**
- 2. Определить вид звёздного неба на любую дату и время.**
- 3. Ориентироваться на местности по звёздному небу.**
- 4. Определять экваториальные и горизонтальные координаты звезд.**
- 5. Определить приблизительные моменты восхода, захода и верхней кульминации звезд (Солнца) и созвездий, а также многое другое.**

Вопросы:

1. Выберите из списка названия тех звёзд, которые будут видны сегодня в 9 часов вечера в Томске при условии хорошей погоды.
2. Склонение светила $+30^{\circ}$, прямое восхождение 7^{h} . В каком созвездии оно находится?
3. Определите по карте экваториальные координаты ярких звезд созвездия Орла.
4. Определите моменты восхода и захода звезды α Большого Пса 22 декабря.
5. Определить дату верхней кульминации звезды Регул в 21 час по местному времени.
6. Звезда Вега оказалась в верхней кульминации в $00^{\text{h}}00^{\text{m}}$ 1 июля. В какой день она окажется в верхней кульминации в $20^{\text{h}}00^{\text{m}}$?
7. Прямое восхождение первой звезды равно $5^{\text{h}}29^{\text{m}}$, второй $10^{\text{h}}31^{\text{m}}$. Определите, через какое время кульминирует вторая звезда после первой?
8. Сириус кульминировала в 4 часа по местному времени. Какой сейчас сезон года (с точностью до месяца)?
9. Когда восходит звезда, если месяц назад она восходила в 10 часов вечера?
10. Как определить приблизительное положение Солнца для выбранной даты.
11. Как определить время восхода Солнца для выбранной даты?
12. Между какими точками горизонта восходит и заходит Солнце в дни летнего и зимнего солнцестояний?

13. Когда начинается и когда заканчивается полярный день на северном полюсе?

14. Сегодня Сириус взойдёт в 23 часа. Во сколько он взойдёт завтра (в той же местности)?

Задачи:

1. В Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$) в полдень высота Солнца оказалась равной $57^{\circ}17'$. Пользуясь астрономическим календарем (картой звездного неба) определите, в какой день года было сделано это измерение?

2. Полярное расстояние звезды равно $20^{\circ}15'$. Каково ее зенитное расстояние в нижней кульминации в Вологде ($\varphi = 59^{\circ}13'$)?

IV. Самостоятельная работа (Контрольная работа № 1).

V. §§ 4-5, ст. 25 (1-8)

1. Лето у римлян начиналось в то время, когда Плеяды были видны восходящими рано утром. Зима начиналась, когда Плеяды заходили рано утром. В каком месяце у римлян начиналось лето, а в каком – зима?

2. Как определить в течение дня, в каком полушарии Земли вы находитесь — северном или южном?

3. Вы находитесь на 60-ой параллели. Сегодня звезда взошла в $16^{\text{h}}00^{\text{m}}$, а зашла в $23^{\text{h}}00^{\text{m}}$ по московскому времени. Куда вам нужно отправиться завтра, чтобы наблюдать восход и заход этой звезды в то же время?

4. В какой части неба кульминируют светила в южном полушарии Земли?

5. Два поезда выехали с одинаковой скоростью на запад и восток в момент захода Солнца. В каком из поездов пассажиры раньше встретят рассвет?

6. Почему увеличивается яркость звездного неба по направлению к эклиптике («зодиакальный свет»)?

7. Как из наблюдений звездного неба доказать, что Земля вращается вокруг собственной оси и что вращение происходит с запада на восток?

Природа не заботится о том, доступны ли человеческому восприятию ее скрытые причины и способы действия.

Галилей

Урок 9.

ВРЕМЯ И КАЛЕНДАРЬ

В лунном календаре было 354 дня в обычном году и 355 в високосном!

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление об астрономических способах измерения больших и малых промежутков времени, а также способе измерения долготы места наблюдения.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБРУДОВАНИЕ: сфера амилярная, подвижная карта звездного неба.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос - повторение
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Экваториальная система координат и карта

звездного неба. 2. Горизонтальная система координат и работа с подвижной картой звезд неба.

Задачи:

1. В полдень длина тени вертикального стержня была равна $1/3$ его высоты. Вычислите географическую широту места и укажите примерную дату наблюдения, зная, что оно, производилось весной. Склонение Солнца = $14^{\circ}47'$.
2. Около 1100 лет до нашей эры китайские астрономы установили, что в день летнего солнцестояния высота Солнца в полдень равнялась $79^{\circ}07'$ (к югу от зенита), а в день зимнего солнцестояния $31^{\circ}19'$. Вычислите географическую широту пункта наблюдения и угол бывшего тогда наклона эклиптики к экватору.
3. В устье Беломоро - Балтийского канала высота полюса мира составляет $64^{\circ}33'$. На какой высоте бывает там Солнце в полдень 22 декабря?

Вопросы:

1. Чему равны азимуты точек севера, юга, востока и запада?
2. Азимут светила 45° , высота 60° . В какой стороне неба надо искать это светило?
3. Установите по карте экваториальные координаты ярких звезд созвездий Лебеда и Ориона.
4. Установите, какие созвездия в пункте вашего наблюдения восходят, проходят через меридиан на юге и заходят 22 декабря в 6 часов вечера?
5. Перечислите созвездия, через которые проходят: а) небесный экватор; б) Млечный Путь.
6. В какое время взойдет над горизонтом 12 апреля звезда α -Лиры?
7. Две звезды имеют одно и то же прямое восхождение. На какой географической широте обе эти звезды восходят и заходят одновременно?
8. В какой день кульминирует в полночь самая яркая звезда неба – Сириус?

III. Определить свое местоположение по широте можно по высоте Солнца, для определения долготы нужны часы.

Время данного географического меридиана (местное время) можно определить так: $T_m = T_0 + \lambda$, где T_0 - время на Гринвиче, а λ – долгота. Долготу измеряют в градусах или часах ($360^{\circ} = 24$ ч) от меридиана обсерватории в Гринвиче. Долгота (λ) – угол между меридианом Гринвича и меридианом наблюдателя. Время на Гринвиче T_0 (всемирное координированное время (Universal Coordinated Time, UTC) показывал хронометр, изобретен Джоном Харрисоном в 1761 году) легко определить, если известно декретное время T_d (время, которое показывают наши часы (декретное время)). $T_d = T_0 + N + 1$ (в весенне-летний период + 2). Например, для Москвы $T_d = T_0 + 3$ (UTC+3), а в

весенне-летний период $T_0 + 4$, поскольку Москва лежит во втором часовом поясе ($N = 2$, UTC+3). Как определить долготу места наблюдения по Солнцу? Для определения долготы из астрономических наблюдений необходимы точные часы, хранящие время нулевого меридиана (сотовый телефон). Определив, например, по этим часам момент верхней кульминации Солнца (истинный полдень), мы можем сразу определить долготу места наблюдения. Например, истинный полдень в Томске наступил в $13^{\text{h}}20^{\text{m}}$, по Гринвичу в $6^{\text{h}}20^{\text{m}}$, тогда долгота Томска $12^{\text{h}} - 6^{\text{h}}20^{\text{m}} = 5^{\text{h}}40^{\text{m}}$. **Томск: широта $\phi = 56^{\circ}29'51''$, долгота $\lambda = 84^{\circ}58'27'' = 5^{\text{h}}39^{\text{m}}46^{\text{s}}$.** Какое у нас сейчас местное время?

Например, Чукотка находится на меридиане, противоположном Гринвичу (так что там сходятся 180° восточной и 180° западной долготы).

Задача: Определите географическую долготу пункта наблюдения, если верхняя кульминация Солнца на его меридиане наблюдалась 23 ноября в $17^{\text{h}}56^{\text{m}}$ по московскому декретному времени.

Дополнительная информация.

Местное время (местное истинное солнечное время) — определяется для данного места в данный момент видимым положением Солнца на небесной сфере.

Среднее солнечное время на Гринвичском меридиане (GMT; оно определено) является «точкой отсчёта». Чтобы получить среднее солнечное время в данном месте, надо к GMT прибавить долготу данного места, переведённую в часы, минуты и секунды. **Уравнение времени** – разница между средним солнечным временем и истинным солнечным временем.

Всемирное время (UT) – современная замена среднего времени на Гринвичском меридиане.

Поясное время – местное среднее солнечное время на срединном меридиане географического часового пояса.

Гражданское время – время, используемое гражданами данной страны.

Дополнительная информация. Звездное время. Звездным временем (S) называют, промежуток времени, протекший после верхней кульминации точки весеннего равноденствия. Как измерить звездное время? Необходимо знать прямое восхождение светила, находящегося в данный момент в верхней кульминации. **Звездные сутки - промежуток времени между двумя одноименными кульминациями точки весеннего равноденствия.** Солнечные сутки длиннее звездных суток на $3^{\text{m}}57^{\text{s}}$. Почему (показать на модели)?

Задача: Пусть требуется вычислить звездное время S в пункте с географической долготой $\lambda = 6^{\text{h}}36,4^{\text{m}}$ для 15 декабря 1989 года на момент $T = 22^{\text{h}}28^{\text{m}}$ по принятому в этом пункте времени, отличающемуся от московского времени на $\Delta T = 4^{\text{h}}$.

Решение. В астрономическом календаре всегда указано звездное время на Гринвиче в московскую полночь 15 декабря ($2^{\text{h}}34^{\text{m}}$). Но сейчас в Москве $T - \Delta T = 18^{\text{h}}28^{\text{m}}$, а на Гринвиче должно быть $S_0 + (T - \Delta T) = 21^{\text{h}}02^{\text{m}}$, а в пункте с долготой $S = S_0 + (T - \Delta T) + \lambda$. Но мы должны учесть поправку, связанную с тем, что звездное время за 1 солнечный час уходит вперед на $0,164^{\text{m}}$. $T = (T - \Delta T) + 0,164^{\text{m}}$. А можно ли решить обратную задачу, т.е. зная истинное звездное время, определить долготу места наблюдения?

Календарём (в астрономии) принято называть систему счисления больших промежутков времени, основанную на периодичности движения небесных тел.

Жрецы Древнего Египта, примерно в середине V тысячелетия до н. э., создали солнечный календарь, в котором началом отсчета стал восход Сириуса **19 июля 4236 года до н. э.**

Продолжительность года в этом календаре составляла 365 суток, а разница между длительностью этого года и тропического составляет порядка $0,2422$ суток, т. е. календарь опережал равноденствие примерно каждые четыре года. Из-за этого каждый четвёртый год в

календарь стали добавлять дополнительные сутки. Позднее этот календарь был введён на территории Римской империи указом Юлия Цезаря, вследствие чего получил название юлианского. За 128 лет появлялось расхождение в один день, из-за чего в Европе, пользовавшейся юлианским календарём более 15 веков, появилось заметное отставание от равноденствия и сместились даты христианских праздников, в частности Пасхи. Чтобы отпраздновать Пасху в календарные сроки, было велено пропустить 10 дней – после 4 октября 1582 наступило 15 октября. Новый календарь получил названия григорианского. Новый стиль – использование григорианского календаря. Старый стиль – использование юлианского календаря. Мы живем **по григорианскому летоисчислению**, согласно которому, каждый второй четный год — високосный. Для более полного согласования астрономического и календарного года было принято решение не делать високосными те года, которые заканчиваются на 00, то есть начало каждого века. Но и здесь есть свое исключение: каждый 4-й из этих годов (заканчивающихся на 00 – 400, 800, 1200, 1600, 2000, 2400, ...) также являются високосными. Легко посчитать в уме: первый четный год после 2000-го — 2002-й, второй четный — 2004-й, високосный; 2006-й — обычный, 2008-й — високосный. Високосный год всегда делится на 4 без остатка.

В каком веке «старый Новый год» будут встречать в ночь на 1 февраля?

IV. Задачи:

1. Оцените, на какую максимальную высоту над горизонтом поднимется сегодня в Томске Солнце? В какое время это произойдет?
2. Капитан корабля измерил при помощи секстанта в истинный полдень 22 декабря зенитное расстояние Солнца и нашел его равным $66^{\circ}34'$. Хронометр, идущий по всемирному времени, показал в момент наблюдения $11^{\text{h}}54^{\text{m}}$. Показать на земном глобусе (карте) место, где находился корабль.
3. В Омске ($n=5$) 20 мая $7^{\text{h}}25^{\text{m}}$ вечера. Какое в этот момент декретное и местное время в Новосибирске ($\lambda = 5^{\text{h}}31^{\text{m}}$, $n = 6$). А в Томске?
4. Вы отправились в путешествие на самолете. Время вашей отправки из Новокузнецка (UTC+7) 24 февраля, 5 ч 43 мин вечера. Во сколько вы прибудете в Париж (UTC+2), если вы летели 8 ч?

Вопросы:

1. Самолет вылетел 10 ноября из Екатеринбурга ($n = 4$) в $11^{\text{h}}20^{\text{m}}$ и прибыл точно по расписанию в Иркутск ($n = 7$) в $17^{\text{h}}45^{\text{m}}$. Сколько времени он летел?
2. Поезд выехал 3 марта из Новокузнецка ($n = 6$) в $10^{\text{h}}55^{\text{m}}$ вечера и прибыл в Омск ($n = 5$) в $15^{\text{h}}45^{\text{m}}$ следующего дня. Сколько времени он ехал?
3. Как с помощью подвижной карты звездного неба узнать, в какое время сегодня Сириус восходит, заходит, кульминирует?
4. Как определить момент истинного полдня с помощью солнечных часов (тень от предмета самая короткая)?
5. Почему стрелки часов идут слева направо и при чём тут Солнце?
6. Как определить географическую долготу пункта наблюдения по показанию местных часов в момент подачи сигналов точного времени из пункта с известной долготой.
7. Найдутся ли натуральные числа X, Y и Z, удовлетворяющие условию $28X+30Y+31Z=365$?

V. § 9, ст. 29 (1 – 7)

1. Вы вылетаете из Петропавловска-Камчатского, летите 4,5 часа до США (в Анкоридж) и прилетаете в прошлое на 15 часов назад. Может ли быть такое?
2. Вернувшись из кругосветного путешествия, моряки из экспедиции Магеллана обнаружили, что их календарь расходится с портовым календарем на один день. Какой из календарей был впереди и почему?

Очень может быть, что в глубине души природа совершенно несимметрична, но в хитросплетениях реальности она начинает выглядеть почти симметричной, и эллипсы начинают походить на окружности.

Фейнман

Нет ничего столь удаленного от нас, чего бы мы ни смогли постичь, или столь потаенного, чего бы мы ни смогли открыть.

Рене Декарт

Урок 10-11.

СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ (ОТ КВАРКА ДО ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЫ).

Принцип Коперника. Земля вовсе не занимает в космосе особого положения!

ЦЕЛЬ УРОКА: Обобщить и систематизировать знания учащихся о структуре Вселенной и фундаментальных взаимодействиях, определяющих эти структуры. Показать на примере установленных закономерностей в Солнечной системе, как были открыты в ней красота и гармония.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: обобщающие таблицы: "Нуклон", "Атомное ядро", "Атом", "Молекула", "Кристалл", "Порода", "Планетное тело", "Планетная система".

Модель планетной системы, диафильм "Развитие представлений о строении Вселенной", кинофильм "Планетная система" ч. 1.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Работа над ошибками
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Краткое подведение итогов контрольной работы. Работа над ошибками.

III. Обобщающее повторение по рисуночным обобщающим таблицам:

- **Нуклон** (протон и нейтрон) - система кварков (всего 6 кварков и 6 антикварков). Взаимодействия кварков (глюоны (8) – частицы, удерживающие кварки). Появились экспериментальные данные о том, что глюоны распределяются внутри нейтронов и протонов очень изменчиво.
- **Атомное ядро** - система нуклонов. (Взаимодействие нуклонов, ядерные силы).
- **Атом** - система из электронов и атомного ядра.
- **Молекула** - система атомов.
- **Вещество** (твердые тела, жидкости, газы) - система молекул.
- **Порода** - система кристаллов, аморфных тел,



жидкостей и газов.

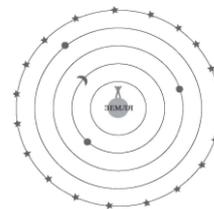
- **Планетное тело** - система пород.
- **Планетная система** - система, состоящая из звезды и планетных тел.

Изумительно, что по принципу матрешки устроена Вселенная, от планетного тела до кварка.

Развитие представлений о строении солнечной системы.

Какой представлялась Вселенная древним (по кадрам диафильма)? Религия и астрология. Весь мир подразделялся на три уровня — земной, подземный и небесный. Люди населяли земной мир, в подземный мир отправлялись души умерших, а небо было уделом богов.

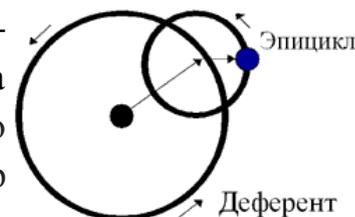
Уже в V в. до н.э. утвердилось мнение о шарообразности Земли: затмение Луны сегментной формы (Аристотель), изменение картины звездного неба при перемещении на юг или север. Земля висит в пространстве и понятий «верх» и «низ» в космосе не существует (Анаксимандр)!



Геоцентрическая система мира Аристотеля (хрустальные сферы, подлунный мир).

Интересный факт: выражение «седьмое небо» связано как раз с представлениями астрономов, использующих геоцентрическую систему мира.

Видимое петлеобразное движение планет. Планеты - "блуждающие" светила. Геоцентрическая система мира Птолемея (согласно этой модели, планета равномерно движется по малому кругу, называемому **эпициклом**, центр которого, в свою очередь, движется по большому кругу, который называется **деферентом**).



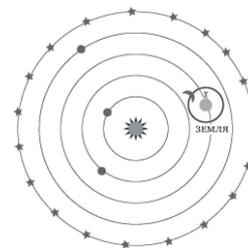
Птолемей составил таблицы, которые позволяли с высокой для того времени точностью вычислять положения планет. Клавдий Птолемей говорил: *«К чему удивляться сложному движению небесных тел, если их сущность нам неизвестна».*

Трудности системы мира Птолемея-Аристотеля.

Птолемей жаловался: *«Легче, кажется, двигать самые планеты, чем постичь их сложной движение».* Уже в XIII веке для правильного описания движения планет накопилось 75 окружностей. Византийский кардинал Виссарион вывез из гибнущего Константинополя в 1453 году тринадцать томов «Альмагеста» Птолемея, которые перевели на латынь Пурбах и Региомонтан. Эти таблицы, например, помогли Колумбу «предсказать» лунное затмение 29 февраля 1504 года, что напугало индейцев и спасло экспедицию от голода.

Гелиоцентрическая система Николая Коперника (1473 - 1543). Согласно этой системе:

- Земля имеет форму шара.
- Земля вращается вокруг неподвижного Солнца по круговой орбите, делая оборот (возвращаясь на прежнее место) примерно за год.
- Земля также вращается вокруг своей оси, делая оборот примерно за сутки. Концы этой оси (точки, где она пересекает Землю) называются северным и южным полюсами.
- Земная ось сохраняет своё направление в пространстве (её северный конец остаётся направленным примерно на Полярную звезду, а южный - в район созвездия Октанта).
- Размер Земли мал по сравнению с расстоянием до Солнца (радиусом орбиты Земли). В свою очередь это расстояние мало по сравнению с расстоянием до звёзд.



Объяснение смены дня и ночи, смены времен года, петлеобразного движения планет,

условия видимости планет и их фаз, таблицы Коперника.

*Один твердил: Земля, вертясь, круг Солнца ходит,
Другой, что Солнце все с собой планеты водит.*

М. В. Ломоносов

Коперник рассматривал свою гелиоцентрическую систему мира не как теорию, отражающую реальный порядок вещей, а лишь как более простой и удобный способ астрономических расчетов. Модель Коперника помогла избавиться от Птолемеевых небесных сфер, а заодно и от представления о том, что Вселенная имеет какую-то естественную границу. Джордано Бруно о Копернике: "Он остановил Солнце и сдвинул Землю". Это случилось в XVI веке.

Отсюда ввысь стремлюсь я, полон веры.

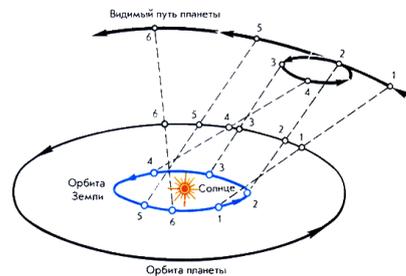
Кристалл небес мне больше не преграда.

Их твердь пробив, подъямлюсь в бесконечность.

Джордано Бруно

Стремление к истине — единственное занятие, достойное героя.

Джордано Бруно



Галилео Галилей: "Оставив дела земные, я обратился к делам небесным". Открытия Галилея: фазы Венеры, горы на Луне, спутники Юпитера.

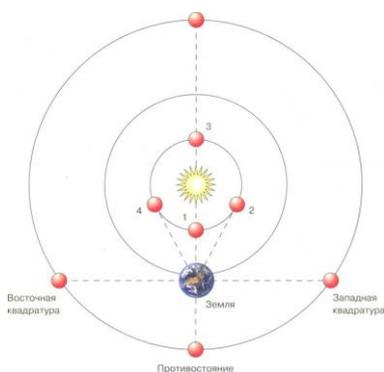
Состав и масштабы Солнечной системы. В Солнечную систему входят восемь больших планет, около сотни спутников, множество комет, десятки тысяч астероидов (малых планет), метеорные тела и межпланетные газ и пыль. В центре всего этого и находится наше Солнце. Чтобы получить представление о расстояниях, мы создадим модель, в которой мы и Солнечная система уменьшимся в 10 миллиардов раз. В такой модели диаметр Земли будет немного больше миллиметра — размером с песчинку. Эта песчинка находится в 15 метрах от Солнца. А Солнце со своими значительными 14 сантиметрами в диаметре будет размером с кокосовый орех. И вот мы вращаемся на песчинке в 15 метрах от кокосового ореха. Между нами и Солнцем есть еще две песчинки: Венера и Меркурий. А помимо этого — пустота. Солнечная система на Земле не заканчивается. Самая большая планета, Юпитер, превратится в нашей модели в маленький фундук диаметром 1,4 сантиметра, расположенный на расстоянии 78 метров от Солнца — кокосового ореха. Самая крайняя планета, Нептун, станет горошиной примерно в полукилometре от Солнца, далеко, очень далеко от песчинки — Земли. Если нам захочется добраться до Нептуна, то поездка на машине с прежней скоростью теперь займет больше 9000 лет.

Конфигурациями планет называют некоторые характерные взаимные расположения планет, Земли и Солнца.



Внутренние и внешние планеты. **Нижнее и верхнее соединение** внутренней планеты с Солнцем. **Наибольшее удаление планеты от Солнца** (Меркурий до 28^0 , Венера до 48^0). Венеру хорошо видно в двух случаях: когда она правее,

западнее Солнца - это называется **западная элонгация** - в это время она садится раньше Солнца и раньше Солнца встаёт, поэтому хорошо видна перед восходом. **Восточная элонгация** - когда планета слева от Солнца и в течение дня следует по небу за ним, тогда её видно вечером. **Фазы внутренних планет.**



Внешние планеты. Противостояние и верхнее

соединение планеты с Солнцем. Условия видимости планет.

Квадратурой называют элонгацию, равную 90° . Только внутренняя планета может наблюдаться в нижнем соединении. Только внешняя планета - в квадратуре.

Звездный (сидерический) период (T) - период обращения планеты вокруг Солнца по отношению к звездам.

Синодический период (S) - промежуток времени, протекающий между двумя последовательными одноименными конфигурациями планет.

Синодический период внешней планеты - промежуток времени, по истечении которого Земля обгонит планету на 360° (2π) при их движении вокруг Солнца.

Для внешних планет:

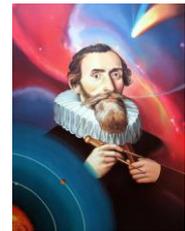
$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T}$$

Для внутренних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_3}$$

А если внешняя планета обращается в сторону, противоположную направлению орбитального вращения Земли?

Дополнительная информация. Тихо Браге и Иоганн Кеплер. Трудности системы мира Коперника. 17-ти лет Тихо Браге наблюдал сближение Сатурна и Юпитера, предсказанное таблицами Птолемея и Коперника. Птолемей ошибся на месяц (1400 лет), а Коперник на 3 дня (100 лет).



Интересно, что обсерватория Тихо Браге производила все использованные Кеплером наблюдения безо всяких телескопов и измеряла углы с точностью в одну угловую минуту.

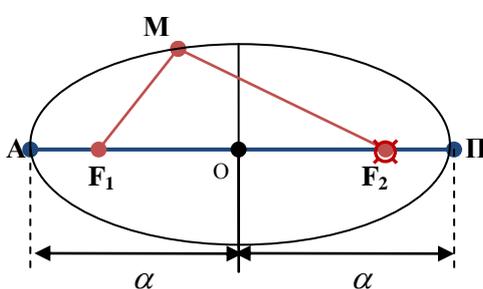
То, что шестнадцать лет тому назад, я решил искать, ради чего я пришел к Тихо Браге... наконец найдено, и это открытие превзошло все мои самые смелые ожидания...

И. Кеплер

Путем невероятно тяжелого труда, методом проб и ошибок Кеплер приходит к выводу, что траектория движения Марса представляет собой не круг, а эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце — положение, известное сегодня как первый закон Кеплера.

Законы Кеплера: 1. Планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце.

Форму эллипса принимает круг, если смотреть на него под углом.



Эллипс. Фокусы эллипса. $F_1M + F_2M = 2\alpha$.

Эксцентриситет эллипса: $e = \frac{OF_1}{\alpha} = \frac{OF_2}{\alpha} < 1$

(при $e = 0$ – окружность, при $e = 1$ – парабола, при $e > 1$ – гипербола).

Перигелии и афелий. Перигелий – ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты или иного небесного тела Солнечной системы. Слово «афелий» произошло

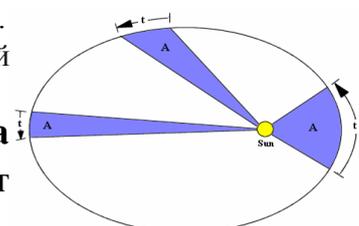
от греческого *arhelios*, корени "аро" — вдали и "helios" — Солнце), в переводе буквально означает «вдали от Солнца». Наименьшее и наибольшее расстояние планеты от Солнца:

$F_2\Pi = \alpha(1 - e)$. $F_2A = \alpha(1 + e)$. **Среднее расстояние планеты от Солнца равно длине большей полуоси ее орбиты.** $\alpha_3 = 149597870691 \text{ м} \approx 149,6 \cdot 10^6 \text{ км} = 1 \text{ а.е.}$

Перигелий - 3 января (147 млн. км). Афелий - 3 июля (152 млн. км).

Два тысячелетия астрономы были слишком впечатлены красотой симметрии круга и сферы.

2. Радиус-вектор, связывающий планету с Солнцем, за одинаковые промежутки времени описывает

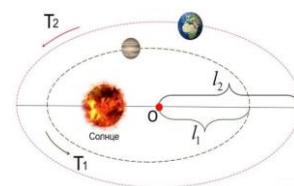


одинаковые площади.

Скорость Земли в перигелии и афелии: 30,03 км/с и 29,54 км/с. В этом случае: $\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{r}_1 = \mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{r}_2$. Каждому собственным чувства подсказывали, что Земля стоит на месте. Если бы Земля двигалась, то падающие камни не смогли бы достичь земли. Почему это не так?

3. Квадраты звездных периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



Задача: Чему равен период обращения Юпитера вокруг Солнца, если известно, что он в 5 раз дальше от Солнца, чем Земля? Демонстрации с использованием модели планетной системы. Если представить Солнце в виде апельсина, то на расстоянии 10 м будет маковое зернышко – Земля, а на расстоянии 50 м будет мелкая вишня – Юпитер. Уран был открыт Гершелем в 1781 году. "Он разбил преграды неба" написано на могиле Уильяма Гершеля.

Правило Тициуса – Боде: "Радиус орбиты каждой планеты в 2 раза больше, чем у её внутренней соседки". Когда работу Кеплера отвергли, он ответил: «Я могу подождать своего читателя еще сто лет, ведь Бог ждал шесть тысяч лет!».

Закон всемирного тяготения: $F_T = G \frac{mM}{r^2}$. Сила тяжести, действующая на планету

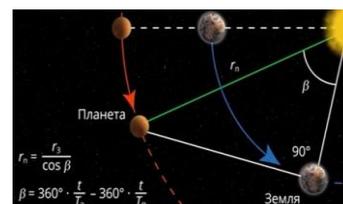
(спутник): $\vec{F}_T = m\vec{a}$. Центробежное ускорение планеты: $a = \frac{4\pi^2}{T^2} r$.

$\frac{4\pi^2}{T^2} r = \frac{GM}{r^2}$ или $\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{GM}{r^3}$. Открытие планеты Нептун.

Мы можем измерить массу Земли (как и любой планеты, имеющей спутники), зная орбитальный период Луны и расстояние до ее орбиты!

IV. Задачи:

1. Найти перигелийное и афелийное расстояния, сидерический и синодический периоды обращения малой планеты Поэзии, если большая полуось и эксцентриситет ее орбиты равны 3,12 а.е. и 0,144.
2. Известно, что максимальное угловое расстояние между Венерой и Солнцем равно 48° . Найдите радиус орбиты Венеры.
3. Сатурн находится в противостоянии с Землей 10 мая. Когда произойдет соединение этих планет?
4. Некоторое тело в перигелии движется в 3 раза быстрее, чем в афелии. Найдите эксцентриситет его орбиты.
5. 9 июля 2019 года Сатурн находился в противоположном Солнцу направлении. Период обращения Земли вокруг Солнца равен 365 земных суток, а Сатурна – 10759 земных суток. Средний радиус орбиты Сатурна 9,58 а.е.. В какой день Сатурн находился на угловом расстоянии 90° от Солнца, если считать орбиты планет окружностями. Через 88 суток 5 октября.
6. Полет космического аппарата с Земли к некоторой планете по оптимальной траектории занял 6 лет. Что это за планета?



Вопросы:

1. Какие недостатки имела гелиоцентрическая система мира Н. Коперника?
2. В какое время года Земля быстрее движется по своей орбите вокруг Солнца?
3. Какие планеты могут пройти на фоне диска Солнца, а какие не могут?
4. Планета видна на угловом расстоянии 60° от Солнца. Внешняя это планета или внутренняя?
5. Может ли синодический период обращения S планеты быть равен ее сидерическому периоду T?
6. Меркурий находится в наибольшей западной элонгации. В какой стороне его можно увидеть невооруженным глазом и в какое время суток?
7. Во сколько раз Юпитер ближе к Земле в противостоянии, чем в верхнем соединении?
8. Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации в декабре. В каком созвездии она при этом была видна?
9. В каких конфигурациях хорошо видны внутренние и, в каких - внешние планеты?
10. Венера вступила в тесное соединение с Марсом. У какой из этих двух планет видимый диаметр в это время больше?
11. Через какой промежуток времени повторяются моменты максимальной удаленности Венеры от Земли, если ее звездный период равен 224,70 сут?
12. При каких конфигурациях нижних и верхних планет их наблюдают вечером после захода Солнца?
13. Может ли Юпитер наблюдаться в виде тонкого серпа на небе?
14. Почему синодические периоды ближайших к Земле планет самые большие?
15. Почему многие говорят, что Нептун был открыт «на кончике пера»?

V. §§ 10-12. Упр. ст. 35 (1-9), ст. 42 (1-3)

1. Нарисуйте схему обращения верхней планеты относительно Земли и покажите, почему возникает ее петлеобразное движение?
2. 19 мая было противостояние Марса. В каком созвездии он был виден?
3. Луна, перемещаясь по хрустальной сфере, в одном месте должна подходить к Земле в 2 раза ближе, чем в другом! Почему этого мы не наблюдаем?
4. Как непосредственно из наблюдений определить сидерический период обращения планеты относительно Солнца?
5. У какой планеты синодический период на 14 % превышает сидерический?
6. Где должны находиться планеты, у которых синодический период с точностью до 1 % равен 1 году?
7. Теория же тяготения Ньютона исходила из еще более простой модели и весьма точно предсказывает движение Солнца, Луны и планет. Что это за модель?
8. Если бы эксцентриситет земной орбиты увеличился (уменьшился), то, как бы это повлияло на климат? (Возмущение, вызываемое планетами, приводит к тому, что эксцентриситет земной орбиты изменяется с периодом 20000 лет, что приводит к

оледенениям). Возмущения вызываются темной материей при прохождении солнечной системы через галактический диск (другая гипотеза).

9. Оказалось, что в среднем ближе всего к Земле оказывается не Венера и не Марс, а Меркурий. Почему?

*Открылась бездна, звезд полна,
Звездам числа нет, бездне - дна.
Так я, в сей бездне углублен,
Теряюсь, мыслью утомлен...*

М. В. Ломоносов

Урок 12-13.

СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ (ЗВЕЗДЫ)

Звезды - это термоядерные реакторы, они создали элементы, из которых созданы мы.

ЦЕЛЬ. УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся о структурных элементах Вселенной - звездах. Совершить переход от созерцания картины звездного неба к измерению параметров звезд.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Звезды и межзвездная среда".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Состав и масштабы Солнечной системы. 2. Конфигурации и условия видимости планет. 3. Законы Кеплера.

Задачи:

1. Сколько времени Земля делала бы оборот вокруг Солнца, если бы масса Солнца (Земли) была бы вдвое больше нынешней при том же расстоянии Земли от Солнца?
2. Чему равнялся бы синодический период обращения планеты, звездный период обращения которой составлял бы 370 сут? На какое расстояние эта планета приближалась бы к Земле?
3. Вычислить массу Юпитера, зная, что его спутник Европа совершает оборот вокруг планеты за 3,55 суток, а большая полуось его орбиты $6,71 \cdot 10^5$ км.
4. Спутник обращается вокруг сферической планеты по эллиптической орбите. В перицентре спутник имеет высоту над поверхностью планеты 800 км и орбитальную скорость 12,3 км/с, в апоцентре – 2300 км и 11,1 км/с. Определите радиус планеты.
5. На какое максимальное угловое расстояние от Солнца может уходить Земля при наблюдении с Марса?
6. Определите звездный период обращения Марса, зная, что его синодический период равен 780 сут.
7. Два спутника Земли движутся по одной и той же орбите, при этом

расстояние между ними изменяется от наименьшего значения 2,0 км до наибольшего 10,0 км. Определить максимальное и минимальное удаления спутников от центра Земли, если период их движения по орбите 30 ч. Радиус Земли $6,4 \cdot 10^6$ м, ускорение свободного падения на ее поверхности $9,8 \text{ м/с}^2$.

Вопросы:

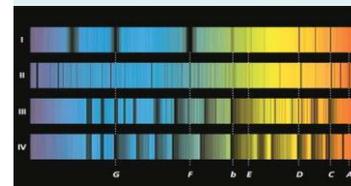
1. Когда Земля ближе к Солнцу – в январе или в июле?
2. Почему радиосигнал от Земли к Марсу идет от трех до двадцати двух минут?
3. Отношение квадратов периодов обращения двух астероидов вокруг Солнца равно 64. Во сколько раз большая полуось орбиты одного астероида меньше большей полуоси другого астероида?
4. Если бы Земля неожиданно остановилась на своей орбите, то, за какое время она бы упала на Солнце?
5. Какое направление имеют скорости и ускорения планет, обращающихся вокруг Солнца?
6. Какова должна быть продолжительность звездного и синодического периодов обращения планеты в случае их равенства?
7. Можно ли наблюдать Венеру утром на западе, а вечером на востоке?
8. Вычислите расстояние Марса от Земли в противостоянии и соединении, если средние расстояния этих планет от Солнца соответственно равны 228 и 150 млн. км.
9. Наблюдатель заметил, что некая планета отходит к востоку от Солнца на 90° каждые 505 сут. Каковы время ее обращения вокруг Солнца?
10. Как изменился бы период обращения Земли вокруг Солнца, если бы при этом же расстоянии масса Солнца была в 2 раза больше?
11. В результате излучения масса Солнца постепенно уменьшается. Как влияет это обстоятельство на расстояние планет от Солнца?
12. Почему положение планет не изображено на картах звездного неба?
13. Почему соединения не считают удобными конфигурациями для наблюдения внутренних и внешних планет?
14. Что наблюдается чаще – прохождение Марса или Меркурия по диску Солнца?
15. В какое время года Солнце быстрее движется по эклиптике?
16. Почему теория тяготения Ньютона делает невозможной статическую Вселенную?
17. Третий закон Кеплера формулируется в разных руководствах различно. В одних утверждается, что квадраты времен обращения планет и комет относятся как кубы их средних расстояний от Солнца. В других — что они относятся как кубы больших полуосей их орбит. Какая формулировка правильна?

III. Разнообразие звезд. Цвет звезд: Бетельгейзе, Ригель, Капелла, Вега. **Цвет и температура звезд.** Определение температуры звезды по графику распределения энергии в ее спектре. **Спектры звезд - спектр поглощения.** Звезды бывают только коричнево-красного, красного, оранжевого, желтого, белого, голубовато-белого и синего цвета.

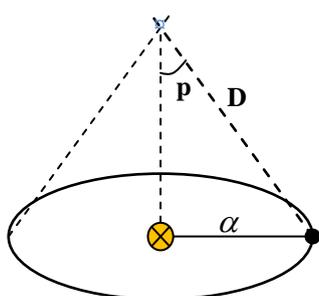
Гарвардская спектральная классификация звезд

класс	эффективная температура К	цвет
O	26000–35000	голубой
B	12000–25000	бело - голубой
A	8000–11000	белый
F	6200–7900	желто - белый
G	5000–6100	желтый
K	3500–4900	оранжевый
M	2600–3400	красный

Спектральные классы звезд: O, B, A, F, G, K, M. Мнемоническое правило запоминания классов звезд: «Один бритый англичанин финики жевал как морковь».



Определение расстояний до звезд. Годичный параллакс (p) - угол, под которым со звезды можно



было бы видеть большую полуось земной орбиты, если она перпендикулярна лучу зрения (Фридрих Вильгельм Бессель, 1838 год).

$$D = \frac{\alpha}{\sin p} \quad \sin p'' = p \cdot \sin 1'' = \frac{p}{206265}$$

Первым годичный параллакс в XVI веке пытался измерить Тихо Браге (точность – около одной минуты дуги), но для измерения параллаксов это было совершенно недостаточно. Из этого он сделал вывод, что система Коперника неверна! Космический аппарат европейского космического агентства за последние шесть лет измерил параллаксы 1,3 миллиарда звезд!

Определите расстояние до звезды alpha - Центавра (p = 0,75''). 1 парсек (пк) - расстояние, с которого, большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в 1''.

1 пак = 3,26 св. года = 206265 а.е.; 1 св. год составляет около 9460730472580 км или 63241 а.е. Точное значение парсека равняется $3,0856776 \cdot 10^{16}$ метра или 3,2616 светового года. 1 парсек равен примерно 206264,8 а.е.

$$D = \frac{1}{p} (\text{пк})$$

Абсолютная звездная величина светила (M) - видимая звездная величина светила на стандартном расстоянии 10 пак.

M = m + 5 - 5 lgD (пк). Пример с определением абсолютной звездной величины светила (m = 6), расстояние до которого 100 пак, $M_{\odot} = 4,77 \approx 4,8$.

Светимость звезды (L) - отношение мощности излучения звезды к мощности излучения Солнца.

$$L = \frac{P}{P_{\odot}} = 2,512^{4,8-M}; \quad \lg L = 0,4 \cdot (4,8 - M). \quad P_{\odot} = 3,827 \cdot 10^{26} \text{ Вт. Пример: Проксима}$$

Центавра (Кентавра): $L = 0,000081$, Ригель: $L = 23000$, Сириус: $L = 23$.

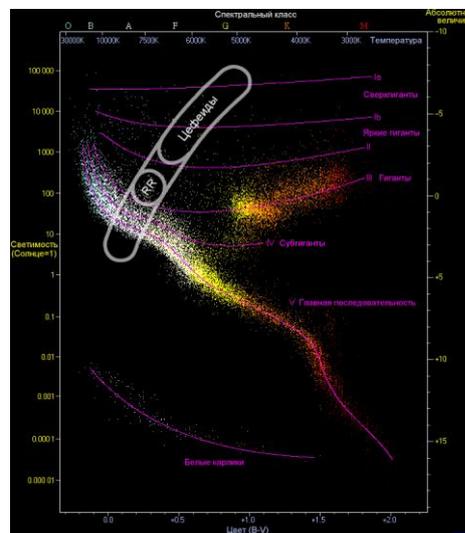
Какую температуру имеет звезда, светимость которой в 16 раз меньше при тех же размерах?

Размеры звезд: $P = L \cdot P_{\odot}$; $P = W \cdot S = \sigma \cdot T^4 \cdot 4\pi R^2$; $T = \frac{b}{\lambda_m}$. $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Примеры: эpsilon Возничего: $R = 2700 R_{\odot}$, проксима Центавра: $R = 1/14 R_{\odot}$.

Диаграмма "спектр - светимость" (зарисовать в тетрадь) - точечная диаграмма зависимости светимости (или абсолютной звездной величины) звёзд от их эффективной температуры (или спектрального класса). Интересно то, что на этой диаграмме звёзды, представленные в виде точек, склонны группироваться в несколько областей – это происходит потому, что эволюция звёзд идёт сходным образом. Основная их часть (до 90%) скапливается вокруг линии, названной «главной последовательностью», протянувшейся от ярких и горячих звёзд до тусклых и холодных. Почему на диаграмме звёзды, группируются вдоль определенных последовательностей? На этот вопрос мы ответим при изучении эволюции звезд. Звёзды в течение жизни проходят по диаграмме довольно сложные траектории, но большую часть своей жизни все звёзды проводят на главной последовательности.

Соотношение «масса – светимость» для звезд главной последовательности: $L \sim M^4$.



Дополнительный материал: Рассеянные звездные скопления, например, Плеяды или Гиады. Как выглядит «настоящая» главная последовательность? Определяем расстояние до скопления, находим абсолютные звездные величины, строим диаграмму «спектр-светимость». В другом скоплении строим диаграмму, устанавливаем, на какие звездные величины она отличается от «настоящей», находим расстояние до скопления.

Дополнительный материал: Самая большая звезда расположена в созвездии Большого Пса ($d \approx 1000 d_{\odot}$); самая яркая – в созвездии Стрельца ($L = 38 \cdot 10^6$); самая массивная – в созвездии Киля ($m \approx 100 - 150 m_{\odot}$); самая легкая – в созвездии Киля ($m \approx 0,05 m_{\odot}$); самая старая – в созвездии Весов (возраст 13,2 миллиарда лет). В созвездии Центавра обнаружена одна из самых крупных звезд во Вселенной. Французские ученые-астрономы на расстоянии 12 тысяч световых лет от Земли открыли звезду, которая в 1300 раз больше нашего Солнца и в миллион раз ярче земного светила.

IV. Задачи:

1. Параллакс звезды 61 Лебеда равен $0,37''$. Чему равно расстояние до нее в световых годах?
2. Какова светимость звезды ζ Скорпиона, если ее видимая звездная величина 3^m , а расстояние до нее 7500 св. лет?
3. Видимая звездная величина Веги равна $0,14^m$ и ее параллакс $0,123''$, а у звезды β - Водолея визуальный блеск $3,07^m$ и параллакс $0,003''$. Найти отношение блеска и светимости этих двух звезд.
4. Во сколько раз белый карлик с температурой 17000 К и абсолютной звездной величиной 11^m меньше Солнца? Температура Солнца 5800 К.
5. Расстояние до звезды 20 световых лет. Сколько времени будет лететь до неё космический аппарат, движущийся со скоростью $1/100$ скорости света?

6. Какое светило - Солнце или S Золотой Рыбы (абсолютная величина которой равна $-9,4^m$) - обладает большей светимостью и во сколько раз?

V. § 22, упр. ст. 131 (1-6)

1. Светимость звезд Главной последовательности примерно пропорциональна четвертой степени их масс. Как зависит от массы звезды время ее жизни на главной последовательности?

Мироздание с его неизмеримым величием, с его сияющим отовсюду бесконечным разнообразием и красотой приводит нас в безмолвное изумление. Но если представление обо всем этом совершенстве поражает наше воображение, то, с другой стороны, разум восторгается по-иному, видя, сколько великолетия, сколько величия вытекает из одного всеобщего закона ...

Иммануил Кант

Урок 14-15.

СТРОЕНИЕ ВСЛЕННОЙ (ДВОЙНЫЕ И ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ).

Космос - сверкающий звёздами полигон для человеческого воображения.

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о структурных образованиях Вселенной: двойных, переменных и нестационарных звездах.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: Диафильм "Звезды и межзвездная среда", кинофильм "Вселенная", кинофильм "Строение Вселенной", ч. 1.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Определение расстояний до звезд. 2. Абсолютная звездная величина и светимость. 3. Спектральные классы звезд (диаграмма "спектр - светимость").

Задачи:

1. Вычислите абсолютную звездную величину Сириуса, зная, что его параллакс $0,371''$, а видимая звездная величина $-1,58^m$.
2. Определите радиус звезды α - Центавра, если ее температура 5750 K , а абсолютная звездная величина $4,38^m$.

Вопросы:

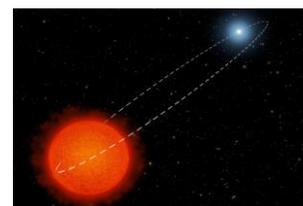
1. От чего зависит цвет звезды?
2. На каком расстоянии от нас находится звезда, если ее абсолютная звездная величина равна видимой звездной величине?
3. Каким образом измеряют расстояние до звезд?
4. Определите светимость звезды, поверхностная температура которой такая же, как у Солнца, а радиус звезды в 10 раз больше солнечного.
5. Звезды различают по цвету. Есть, например, красные и желтые карлики,

голубые гиганты, но только у писателей-фантастов встречаются зеленые и фиолетовые звезды. Почему мы не видим эти звезды в телескоп?

6. Вы взглянули на небо. Как отличить звезду от планеты?
7. Почему некоторые планеты кажутся ярче, чем самые яркие звезды?
8. Какой параметр звезды определяет её принадлежность к данному спектральному классу?
9. Две звезды имеют одинаковые массы и светимости, но поверхность одной из них вдвое горячее. У какой из звезд средняя плотность больше? Во сколько раз?
10. Как с помощью диаграммы спектр–светимость можно определить расстояние до звезды?
11. Почему расстояние до звезд не указывают в километрах?

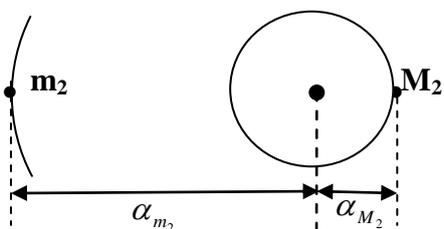
Измерять расстояние до звезд в километрах все равно, что измерять количество воды в море чайными ложками.

III. Системы звезд. Двойная система — это система из двух гравитационно связанных звезд, обращающихся по замкнутым орбитам вокруг общего центра масс.



Визуально-двойными называют звезды, двойственность которых может

быть замечена при непосредственных наблюдениях в телескоп. Примеры: Мицар и Алькор. Системы с числом звезд $N \geq 3$ называют кратными. Определение масс физически двойных звезд:



$$1) \frac{T_1^2}{T_2^2} \cdot \frac{M_1 + m_1}{M_2 + m_2} = \frac{\alpha_{m_1}^3}{\alpha_{m_2}^3}. \quad 2) M_2 : m_2 = \alpha_{m_2} : \alpha_{M_2}.$$

Дополнительная информация. В 1844 году Фридрих Бессель предположил, что Сириус является двойной звездой. В 1862 году Альван Кларк подтвердил это, обнаружив звезду-компаньона, получившую название Сириус В. Две звезды вращаются вокруг общего центра масс на расстоянии примерно в 20 а.е. с периодом обращения, близким к 50 годам. Предсказание, а потом обнаружение невидимого спутника Сириуса явилось не только триумфом теории гравитации Ньютона, но и привело к одному из важнейших открытий в астрофизике и физике в целом — обнаружению белых карликов.

Спектрально-двойные звезды - выявляемые по периодическим колебаниям или раздвоению спектральных линий. Спектр излучения неона и спектр излучения водорода. Смещение спектральных линии. Спектры звезд.

Определение лучевой и тангенциальной скорости звезд: $v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$. $v_t = 4,74 \mu''/p$.

В 1868 году Сириус стал первой звездой, у которой удалось сфотографировать спектр и по методу Доплера оценить скорость. Вычислить из спектроскопических данных можно почти всё (массы, расстояние между компонентами, период обращения, эксцентриситет), кроме угла наклона орбиты к лучу зрения.

Затменно-двойные звезды (Алголь) - звезды, изменяющие свой блеск вследствие затмения одного компонента двойной звезды. Две компоненты

Алголь-А и Алголь-В, образуют очень тесную двойную систему с периодом обращения 2,87 суток.

Клянемся никогда не путать Алгол с Алголем, а Алголь – с алкоголем...

Из шуточной клятвы астрономов МГУ.

Дополнительная информация. Диаметр V766 Центавра более, чем в 1400 раз превышает солнечный. Это не только самая большая из всех известных звезд такого класса, но и одна из десяти самых больших известных науке звезд. Желтые гипергиганты очень редки, их в нашей Галактике известно всего с десяток; самый известный пример Ро Кассиопеи. Ранее, анализируя переменную яркость звезды и используя наблюдения, выполненные на других обсерваториях, астрономы подтвердили, что объект представляет собой затменно-двойную систему, в которой вторичный компонент, вращаясь по орбите вокруг Ро Кассиопеи (HR 5171 A) с периодом 1300 дней, оказывается то перед ним, то за ним на луче зрения. Звезда-спутник оказалась меньше и холоднее своего партнера — она, по-видимому, является холодным гигантом или сверхгигантом с радиусом примерно в 650 раз больше солнечного.

Астрометрически двойные — выявляются по отклонению в движении (колебаниям) главной звезды, вызванное орбитальным движением более слабого спутника.

Переменные звезды – цефеиды. Почему изменяется светимость цефеиды?

Период изменности δ Цефея 5,37 суток, а амплитуда изменения блеска от 4,6^m до 3,7^m. Цефеиды меняют свои спектральные класс в течение цикла.

Самым известным представителем этого класса звезд является Полярная звезда. Полярная звезда относится к пульсирующим переменным объектам с периодом около четырёх суток и при этом меняющая яркость примерно на 10–15%. Она более беспокойна, чем Солнце, она в шесть раз тяжелее его и в 50 раз больше. Такая звезда относится к классу сверхгигантов и является системой из трёх звёзд.

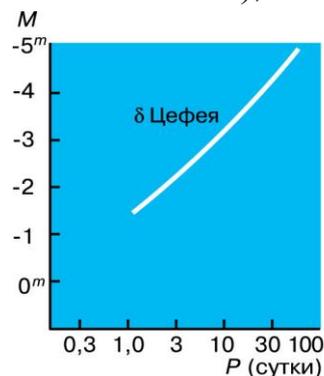
Цефеиды делятся на две группы: коротко периодичные цефеиды с периодом меньше 1 суток (часто встречаются в шаровых скоплениях), и классические с периодом больше 2 суток (обычно обитают в рассеянных звездных скоплениях). Первые из них горячие и имеют одинаковую абсолютную звездную величину $M = 0,5^m$. **У классических цефеид, чем больше светимость звезды, тем больше период ее пульсаций.**

Это заметила в 1908 году американский астроном из Гарварда Генриетта Суон Ливитт, наблюдая цефеиды в Малом Магеллановом Облаке (ММО). Зная расстояние до ММО можно было, измерив наблюдаемую звездную величину, узнать абсолютную. Так вот, оказалось, что цефеиды с малой звездной величиной (то есть более яркие) имеют больший период. Она вывела формулу, связывающую абсолютную звездную величину цефеиды M с ее периодом T (измеряемым в днях): $M = -2,81 \cdot \lg T - 1,43$.

Определение расстояния до δ -Цефеи. Цефеиды, словно лампочки новогодней гирлянды, мигают нам из далеких глубин галактик. Этим методом можно определить расстояние до галактик вплоть до 13 миллионов световых лет. Несмотря на то, что метод цефеид является наиболее точным на расстояниях до 10 000 000 пк, его погрешность может достигать 30%.

Следует отметить, что более яркие переменные имеют больший период.

Генриетта Ливитт



При увеличении потока энергии из недр звезды, увеличивается степень ионизации гелия в верхних слоях, и он не пропускает излучение (плазма). Эти слои расширяются, температура их понижается, ионы гелия захватывают электроны и слои становятся прозрачными. Это приводит к охлаждению газа и под действием тяготения верхние слои звезды сжимаются.

Дополнительная информация. Другие периодические звезды:

1. Правильные:

- **Мириды** – красные гиганты. (Мира Кита или Удивительная Кита) - гигант класса М, блеск которой изменяется от 2^m до $10,1^m$ с периодом 331,6 дней.
- **Лириды** – гигантские белые и желтые звезды с периодом 0,2 - 1,2 суток и изменением яркости от $0,2^m$ до $2,0^m$.

2. Полуправильные – на определенный период накладываются более мелкие колебания (δ -Щита, класс F с изменением блеска на $0,25^m$ с периодом 3÷ 14,6 часа).

3. Неправильные. Пульсации α Ориона (Бетельгейзе) происходят не регулярно, и блеск со временем изменяется от нулевой звездной величины в максимуме до $1,3^m$ в минимуме.

R Северной Короны — переменная звезда редкого типа. Для земного наблюдателя её яркость то возрастает, то убывает. Из её недр периодически выбрасывается вещество, которое затем остывает и образует крупное пылевое облако. Облако окружает звезду и понижает её яркость для наблюдателя.

Основные типы звезд:

1. Сверхгиганты (светимость $10^4 - 10^5$, $30 m_{\odot} < m < 150 m_{\odot}$, плотность 1 г/см^3).

2. Звезды главной последовательности ($0,1 m_{\odot} < m < 30 m_{\odot}$).

3. Красные карлики (светимость $10^{-5} - 10^{-6}$, $0,0767 m_{\odot} < m < (1/3) m_{\odot}$, $\rho = 10 - 100 \text{ г/см}^3$).

Красные карлики являются самыми распространенными светилами во Вселенной. Они составляют около 75% от всей звездной популяции Галактики.

4. Коричневые карлики ($0,01 m_{\odot} < m < 0,075 m_{\odot}$).

5. Белые карлики (светимость $10^{-3} - 10^{-4}$, $m < 1,43 m_{\odot}$, $\rho = 10^3 \text{ г/см}^3$).

6. Нейтронные звезды ($2,4 m_{\odot} > m > 1,43 m_{\odot}$, плотность $10^{13}-10^{14} \text{ г/см}^3$).

7. Черная дыра ($m > 2,4 m_{\odot}$). Черные дыры состоят из пустого пространства, горизонта и сингулярности. Новые наблюдения выявили скопления газа, которые со скоростью, лишь на 70% ниже скорости света, вращаются по орбите вблизи от её горизонта событий.

Утром 17 августа 2017 года последовательно двумя гравитационными детекторами был зарегистрирован пятый по счету гравитационный всплеск от слияния **двух нейтронных звезд** с массами в диапазоне от 1,1 до 1,6 масс Солнца. При помощи 8-метрового телескопа удалось получить спектр вспышки, что позволило определить количество вещества, выброшенного прочь при слиянии - около 1% от общего количества материи в двойной системе и его скорость - около 30% скорости света. Спектры показывают наличие цезия, теллура, золота, платины и других тяжелых элементов, рожденных в результате процессов нейтронного захвата и выброшенных в пространство при слиянии нейтронных звезд.

IV. Задачи:

1. Вычислить сумму масс двойной звезды Капелла, если большая полуось ее орбиты равна 0,85 а.е., а период обращения 0,285 года. $7,58 m_{\odot}$
2. Пользуясь графиком "период - абсолютная величина", определите расстояние до цефеиды. Цефеида имеет период десять суток и среднюю видимую звездную величину $4,8^m$.
3. Считая массы обеих составляющих двойной звезды одинаковыми, вычислите расстояние между ними и их массы, если максимальное расщепление спектральных линий $\Delta\lambda/\lambda = 1,2 \cdot 10^{-4}$, причем оно возникает через каждые 30

суток.

4. В начале XX века Эдвин Хаббл обнаружил в туманности Андромеды цефеиду с периодом 31,4 дня и видимой звездной величиной $+17,6^m$. Какой значение расстояния до туманности Андромеды он получил в итоге?

Вопросы:

1. Где на небе находится "звезда дьявола"?
2. Каким способом можно определить массу двойной звезды?
3. Во сколько раз красный гигант больше красного карлика, если их светимости отличаются в 100 раз?
4. Как изменится характер движения звезды, если недалеко от неё поместить ещё одну? А ещё?
5. Что вы знаете о спектрально-двойных звездах?
6. Есть ли что-то общее между процессами в двигателе внутреннего сгорания и в цефеиде?
7. Затменно-двойная звездная система имеет одинаковые компоненты. На сколько величин меняется блеск системы в момент полного затмения одной компоненты другой?

V. §§ 23-24 ст. 145 (1 – 5), ст. 151 (1 – 9)

1. Определите возможный орбитальный период обращения Алькора вокруг Мицара, если угловое расстояние на небе между ними - $12'$, параллакс - $0,04''$, суммарная масса системы – 9 масс Солнца.
2. Почему в «Астрономических календарях» для переменных звезд — цефеид приводятся моменты максимумов, а для затменно-двойных звезд — моменты минимумов блеска?
3. Белый карлик имеет массу $0,6 \cdot M_{\odot}$, светимость $0,001 \cdot L_{\odot}$ и температуру $2 \cdot T_{\odot}$. Во сколько раз его средняя плотность выше плотности Солнца?

*Полночных солнц к себе нас манят светы,
В колодцах труб пытливый тонет взгляд,
Алмазный бег вселенные стремят;
Системы звезд, туманности, планеты...*

М. Волошин

Урок 16-17.

СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ (ГАЛАКТИКИ).

Из чего состоит наша Вселенная сегодня? Каковы масштабы Вселенной?

ЦЕЛЬ УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся о структурных образованиях Вселенной; галактиках, группах галактик, скоплениях галактик, сверхгалактиках, Вселенной.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Галактика", кинофильм "Строение Вселенной".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Двойные звезды. 2. Цефеиды. 3. Новые и сверхновые звезды.

Задачи:

1. У новых звезд блеск обычно возрастает при постоянной температуре вследствие вздутия фотосферы. Если изменение блеска новой звезды составляет 8^m , то во сколько раз изменился радиус звезды?
2. Определите расстояние до Полярной звезды – цефеиды с периодом 3,97 дня и звездной величиной в небе Земли $+1,97^m$.
3. Определите возможный орбитальный период обращения Алькора вокруг Мицара, если угловое расстояние между ними на небе – $12'$, параллакс – $0,04''$, суммарная масса системы – 9 масс Солнца.
4. Переменная звезда δ -Цефея имеет период 5 дней и среднюю видимую звездную величину $4,4^m$. На каком расстоянии от нас находится эта звезда?
5. Чему равно отношение радиусов компонентов в системе затменной переменной звезды типа Алголь, если затмение центральное, спутник темный, а блеск в максимуме снижается на 1^m ?

III. Млечный Путь (Молоко Геры). На небе Млечный Путь образует полный круг.

... ибо Млечный Путь есть не что иное, как скопление неисчислимых звезд. Куда не обратим мы свои взор, всюду распространяются облака звезд; многие из них огромны и ярки, а количество малых звезд нельзя даже определить...

Г. Галилей

Звезды, весьма малые и весьма многочисленные, не будут различаться одна от другой, а породят смутный, единообразный беловатый свет, который мы и видим в Млечном Пути.

Кант

*Когда люди узнают, что движет звездами, сфинкс засмеется, и жизнь на Земле иссякнет.
из древнейшей иероглифической надписи, найденной в Египте*

Только в начале XX века было доказано, что мы и все видимые на небе звезды образуют обособленную звездную систему - **Галактику** (Гершель). Масса Галактики составляет примерно **триллион солнечных масс**.

На видимую материю Галактики Млечный Путь - звезды, планеты, астероиды, облака межзвездного газа - приходится всего 15% массы Галактики. Остальные 85% массы занимает **темная материя**, которая находится в гало Галактики.

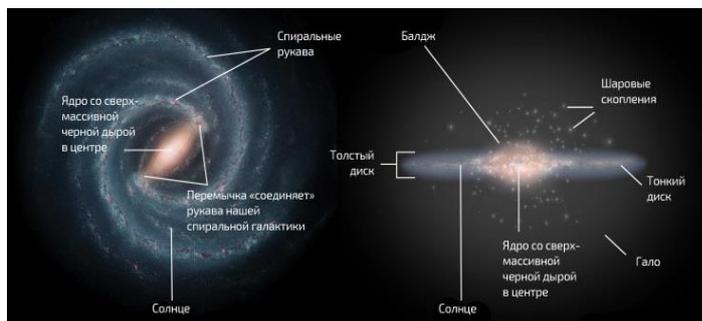
Главные элементы строения Галактики: ядро, балдж, диск, гало, корона.

Диаметр Галактики 100000 св. лет, она содержит около 400 миллиардов звезд. Галактика Млечный Путь известна в Китае как «Серебряная Река»!

Галактика имеет форму летающей тарелки, которую можно примерно получить, если сложить два блюда выпуклостями наружу.

Ядро - центральная часть Галактики.

Ядро имеет диаметр порядка 3000 св. лет. Его образуют звезды и тучи пыли, которые на большой скорости движутся вокруг **сверхмассивной**



черной дыры (Стрелец А) массой $4,3 \cdot 10^6 m_{\odot}$.

Черная дыра имеет диаметр $44 \cdot 10^6$ км, окружена кольцом из молекулярного водорода массой $10^5 m_{\odot}$ и размером 480 св. лет, дальше вереницей из десятков тысяч обычных черных дыр, плотным слоем газа и пыли, звездными скоплениями, остатками сверхновых звезд общей массой $10^8 m_{\odot}$ и размером 2300 св. лет. Их орбитальные скорости составляют до нескольких процентов от скорости света!

Балдж - протяженная объемная оболочка центра Млечного Пути (наиболее яркая часть Галактики), имеет общую массу порядка $20 \cdot 10^9 m_{\odot}$.

Здесь преобладают крупные **звезды-гиганты**, старые светила и раскаленные газы, которые вращаются вокруг ядра с громадными скоростями. По обе стороны от балджа (перемычки) отходит мостик, к которому крепятся галактические рукава Млечного Пути. Из перемычки постоянно нагнетаются потоки галактических **газов и пыли**, что приводит к активному образованию звезд.

Тонкий диск состоит из двух главных рукавов спирали Млечного Пути (**рукава Щита-Кентавра и Персея**) и еще минимум 5 меньших рукавов, которые ответвляются параллельно главным, и множества маленьких спиральных рукавов, достигает в поперечнике почти 120000 св. лет.

По форме эти рукава можно сравнить со струями воды, вылетающими из вращающейся системы для поливки газонов.

Толщина диска колеблется от 300 до 3000 св. лет, окружен **толстым диском** диаметром от 3 до 18 тысяч световых лет. На долю тонкого диска приходится всего 5% галактической массы, зато он излучает до 90% света, ведь здесь в основном находятся молодые звезды. Здесь также много газопылевых облаков, где еще миллиарды лет будут рождаться новые звезды. Наша Солнечная система находится на окраине небольшого рукава Ориона чуть севернее галактической плоскости. Галактический центр находится на расстоянии 25 800 световых лет от Солнечной системы. Солнце движется вокруг центра Млечного пути со скоростью 227 км/с.

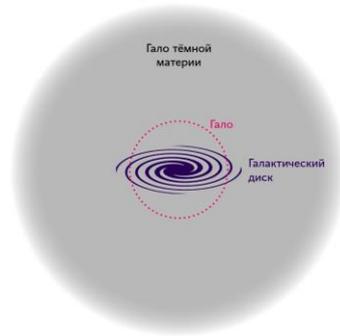
Гало окружает галактический диск.

Масса гало составляет около 1–2% от полной массы звезд в Млечном Пути. Оно имеет примерно сферическую форму диаметром более 600 тысяч световых лет и состоит из **звёздного гало** (чаще всего это самые старые из звёзд галактики), **галактической короны** (окружающий галактику горячий ионизированный газ, или плазма) и **гало тёмной материи**. Модели предполагают, что размер Галактики составляет почти 2 миллиона световых лет в поперечнике с погрешностью всего в 0,4 миллиона световых лет.

Шаровые и рассеянные скопления.

Скопления представляют собой большие группы светил, возникших из одного газопылевого облака. **Шаровые скопления** содержат от 10^4 до нескольких миллионов звезд, **рассеянные** - десятки и сотни звезд, чей возраст исчисляется десятками миллионов лет (Плеяды, Гиады, Улей).

Дополнительная информация. Название рассеянного скопления Плеяды происходит из Древней Греции. Так называли семь дочерей титана Атланта и нимфы-океаниды Плейоны. Самые яркие звезды скопления носят их имена: Астеропа, Тайгета, Майя, Целено, Электра, Альциона, Меропа.



В Галактике известно около 150 шаровых скоплений и сотни рассеянных скоплений. В далеком прошлом, когда наша Галактика только образовалась, в нее входили тысячи шаровых скоплений, но они разрушились из-за многократных столкновений звезд между собой и при прохождении через центр Галактики. У старых скоплений имеется плотное ядро и протяженная разреженная оболочка из покидающих (испаряющихся) скопление звезд. Звезды в шаровых скоплениях почти такие же старые, как сама Вселенная.

Диффузная материя в Галактике (нейтральный водород 75%, гелий 25%, пыль 1%). Общая масса нейтрального водорода в Галактике составляет 2% ее массы. Межзвездная пыль и газ. Межзвездное поглощение света ослабляет яркость звезд тем больше, чем они дальше от нас, и тем сильнее, чем короче длина волны. Выделяют **темные и светлые** туманности (рассеивающие), **диффузные** (излучающие) газовые туманности, планетарные туманности.

Движение звезд в Галактике.

Наше Солнце движется с достаточной скоростью около 230 км/с для того, чтобы вращаться вокруг центра галактики и не «падать» в черную дыру. Для обращения Солнца вокруг центра Млечного Пути требуется около 226 млн. лет.

Собственное движение (μ) - видимое угловое смещение звезды в секундах на небе за один год на фоне неярких далеких звезд.

$v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$; $v_t = 4,74\mu D$ км/с, где $[D] = [пк]$, а $[\mu] = ["]$. $v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}$. По собственному

движению звезды можно определить время, прошедшее с момента начала наблюдений!

Дополнительная информация. Солнечная система движется по направлению созвездий Лиры и Геркулеса со скоростью 20 км/с. Относительно поля реликтового излучения Земля летит в пространстве со скоростью 370 км/с в сторону созвездия Льва (установлено благодаря эффекту Доплера).

Завоевание мира туманностей, это достижение больших телескопов.

Хаббл

В начале XX века было доказано, что спиральные туманности – это огромные звездные системы, похожие на нашу Галактику. С тех пор их стали называть галактиками. Данные, получаемые с космических телескопов, дают основания полагать, что в наблюдаемой части Вселенной более 2000 миллиардов галактик.

Виды галактик:

1. Спиральные галактики (составляют до 55% всех галактик, две трети из них – галактики с перемычкой) содержат как гало, так и массивный звездный диск и обозначаются буквой S (a, b, c).



Галактика в созвездии Андромеда (туманность Андромеды). Ядро галактики содержит одно скопление в форме бублика и сверхмассивную черную дыру, масса которой превышает 140 миллионов масс Солнца. Диаметр галактики Андромеда составляет 220 000 световых лет, масса $0,8 \cdot 10^{12} m_{\odot}$ (около одного триллиона звезд). В ней обнаружено до 35 черных дыр.

Туманность Андромеды и Млечный Путь движутся навстречу друг другу со скоростью 110 км/с и они сблизятся через 4,5 млрд лет. Разнообразие типов спиральных галактик: а) простые спиральные системы с разным классом спиралей; б) пересеченные центральной перемычкой – баром. Примерно 90% вещества крупных галактик находится в их темных (невидимых) гало. Чем ярче спиральная галактика, тем быстрее она вращается (определение расстояние до спиральной галактики методом Талли-Фишера). Звезды в центре и на периферии спиральных галактик движутся с примерно одинаковой скоростью вокруг галактического центра. Вращение звезд слишком быстрое и удерживать галактику от распада

не может гравитация, создаваемая только лишь видимой частью их вещества.

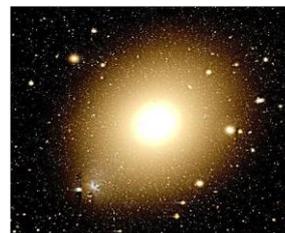
*И страшным, страшным креном
К другим каким-нибудь
Неведомым вселенным
Повернут Млечный Путь.*

Е. Пастернак



2. Эллиптические галактики составляют примерно 20 % от общего числа галактик высокой светимости, обозначаются буквой E. Типичная E-галактика выглядит как сфера или эллипсоид, диск в ней практически полностью отсутствует.

По степени вытянутости эллиптических галактик Эдвин Хаббл получил 8 подтипов галактик от E0 до E7.



3. Линзовидные галактики (около 20%). У них есть гало и диск, но нет спиральных рукавов, обозначают S0.

4. Неправильные галактики (первого и второго типа, около 5 %, обозначаются Ir).



5. Карликовые галактики, которые в десятки раз меньше по размерам обычных галактик. Карликовые галактики обозначают буквой d. Их можно разделить на карликовые эллиптические dE, карликовые сфероидальные dSph, карликовые неправильные dIr и карликовые голубые компактные галактики dBCG. В карликовой галактике Большое Магелланово Облако, спутнике нашего Млечного Пути, в туманности Тарантул астрономы обнаружили много массивных звёзд (массой свыше 50 солнечных). Среди них можно выделить и текущего рекордсмена по массе – звезду R136a1, которая массивнее Солнца в 250 раз и по праву считается самой массивной звездой в известной Вселенной.

Всего во Вселенной не менее 125 миллиардов галактик (возможно до триллиона).

6. Существуют и другие виды галактик:

1) **Взаимодействующие.**

2) **Галактики с активными ядрами** (примерно 1% от общего количества галактик):

- **Сейфертовские** - галактики с ярким точечным ядром и незаметными спиральными рукавами;
- **Радиогалактики** - источники интенсивного радиоизлучения (структура таких галактик представляет собой галактику-хозяина (скопление звёзд, вращающихся вокруг галактического ядра, содержащего сверхмассивную черную дыру), окружённую колоссального размера "струями" и "лепестками", вырывающимися из галактического центра);
- **Лацертиды** - эллиптические галактики с ярким существенно переменным плотным ядром;
- **Квазары** (квази - звездный объект) - это компактное галактическое ядро, отчасти похожее на ядро такого типа, что наблюдается в сейфертовской галактике. Однако на самом деле квазар в тысячи раз ярче целых галактик. Квазар - активный центр галактики, в котором находится сверхмассивная черная дыра, а вокруг – аккреционный диск из падающего на нее вещества. Слои газа в диске движутся вокруг центра в одном направлении, но с разными скоростями — чем ближе к центру, тем выше скорости. Поэтому между слоями газа возникает трение, и оно превращает кинетическую энергию газа в тепло. В результате диск разогревается до такой высокой температуры, что светится в радио-, инфракрасном и оптическом диапазонах, в рентгеновском свете и гамма-лучах. Радиус последней стабильной орбите вокруг черной дыры в три раза больше радиуса горизонта. Магнитная индукция черной дыры посылает часть вещества к полюсам, где создаются **джеты** – узкие пучки, излучающие радиоволны. Порядка 10% квазаров являются мощными источниками

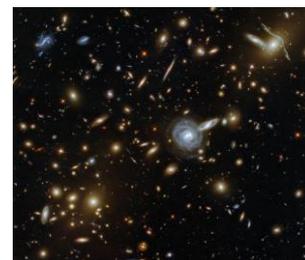
радиоизлучения, остальные же – считаются спокойными. Количество найденных квазаров около 200 000, но этот процесс непрерывен, постоянно открываются новые объекты.

Группы галактик (3 - 10 млн. св. лет). По результатам исследования гравитационного линзирования получается, что в группах галактик содержится примерно в 30 раз больше темного вещества, чем видимого. В 1933 году Фриц Цвикки, измерив скорости галактик в большом и сравнительно близком к нам скоплении Coma, заявил, что массы имеющихся там звезд не хватает, чтобы объяснить разброс их скоростей - а без этой массы скопление с гарантией разлетелось бы (масса должна была быть в



десятки раз больше). **Темная материя. Местная Группа галактик** - гравитационно связанная группа галактик, диаметром 3 Мпк (~10 миллионов световых лет) и массой около 2 триллионов солнечных масс, включающая в себя Млечный Путь, галактику Андромеды (M31) и галактику Треугольника (M33), Магеллановы облака, а также несколько сотен менее крупных галактик. Правда, большинство из них являются карликовыми галактиками малой массы, содержащими менее 0,1% от того количества звезд, которыми обладает наш Млечный Путь. За пределами Местной Группы находится скопление Девы, ближайшее крупное скопление галактик, расположенное на расстоянии 50 миллионов световых лет от Земли.

Скопления галактик (гравитационно-связанные системы галактик, правильная сферическая форма, в центре крупная эллиптическая галактика, размеры 5-15 млн. св. лет, содержат сотни, а порой и тысячи галактик). Пространство между ними заполнено горячим газом, разогретым до температуры в миллионы градусов. Иногда такие скопления сталкиваются. Самое большое из известных скоплений галактик имеет массу $800 \cdot 10^{12} m_{\odot}$.



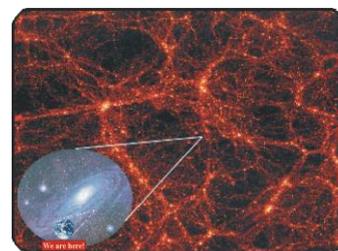
Сверхскопления галактик (группы галактик и скоплений галактик, размеры 150 млн. св. лет, содержат от двух до двадцати галактических скоплений, которые расположены либо в галактических нитях, либо в узлах пересечения нитей). Размеры сверхскоплений достигают сотен миллионов световых лет. Известно около пятидесяти сверхскоплений. Самое крупное насчитывает 29 богатых скоплений. В той части Вселенной, за которой мы можем наблюдать, находится очень много сверхскоплений галактик. Наша местная группа галактик, членом которой является Млечный Путь, входит вместе с другими галактиками, их группами и скоплениями в сверхскопление Девы. Еще одно сверхскопление Кома расположено примерно на расстоянии 120 Мпк. Сверхскопления сверхскоплений пока не обнаружены, но зато существуют Великие Стены (галактические нити), представляющие собой протяженные на невероятные расстояния сверхскопления. И это уже самые масштабные из известных во Вселенной структур. Их ещё называют галактическими стенами, поскольку их структура часто напоминает мыльную пену – стенки огромных пузырей, внутри которых преимущественно содержится пустота (или войд в терминах астрономии). Такие «стены» имеют протяжённость от 160 до 260 миллионов световых лет и содержат сотни тысяч крупных галактик (группы сверхскоплений), простирающиеся на сотни миллионов световых лет. Группа сверхскоплений — Laniakea (с гавайского языка — «Неизмеримые небеса»). Laniakea ограничивает собой область, сечение которой имеет диаметр около 160 мегапарсек, что более чем в пять тысяч раз больше диаметра Млечного Пути. Его масса превышает массу Галактики в 100 тысяч раз! Еще одна группа сверхскоплений - Стена Южного Полюса.

Вселенная - система сверхскоплений галактик.

Метагалактике присуща сетчатая структура. Как вы думаете, почему рисунки нейронных связей и космической паутины похожие?

Вселенная вечна потому, что она живет не для себя; преображаясь, она дает жизнь другим.

Лао-цзы. Дао дэ цзин



Около 10% обычной материи находится в галактиках, еще 60% - в диффузных облаках газа, лежащего между галактиками, недостающие 30% в виде паутины в пространстве, которое называется тепло-горячей межгалактической средой (газы при температуре около 1 миллиона градусов Цельсия). Великий аттрактор - центр притяжения для Млечного пути и других галактик вокруг. Астрофизики полагают, что этот объект представляет собой сверхскопление галактик.

IV. Задачи:

1. Линия поглощения водорода, длина волны которой $4861 \cdot 10^{-10}$ м смещена в спектре звезды к красному концу на $0,66 \cdot 10^{-10}$ м. Определите лучевую скорость звезды относительно Земли в ночь наблюдения.
2. 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 $M = 0,5^m$.
3. Определите массу галактики, если на расстоянии 20 кпк от её ядра звезды обращаются со скоростью 350 км/с.
4. Шаровое звездное скопление М13 имеет угловой диаметр 23', удалено на расстояние 7600 пк и состоит из 200000 звезд. Оцените среднее расстояние между звездами в скоплении.
5. Шаровое скопление имеет радиус 100 световых лет и состоит из 500000 звезд солнечного типа. Оцените скорости звезд на краю скопления.
6. Первый обнаруженный квазар, 3С 48 имеет блеск $16,2^m$ и красное смещение 0,367. Какова его светимость?

Вопросы:

1. Расположите в порядке удаления от Земли следующие объекты: Сириус, Сатурн, Луна, Туманность Андромеды, Солнце.
2. С какими астрономическими явлениями связаны следующие промежутки времени: галактический год, год, сутки, месяц, неделя?
3. Как доказать, что Солнце расположено близко к галактической плоскости?
4. Каким образом установили, что не существует «сферы неподвижных звезд»?
5. Как определить пространственную скорость звезды?
6. Почему центр Млечного Пути находится именно в направлении созвездия Стрельца и как астрономы определили это?
7. Как выглядел бы Млечный Путь, если бы Земля находилась в центре Галактики?
8. Существует ли связь между планетарными туманностями и планетами?
9. Оптическая спектроскопия звезд - источник сведений о химическом составе звезд, о состоянии звездных атмосфер и оболочек, о движениях звезд в Галактике. Так ли это?
10. Какие методы астрономии позволяют определить расстояния до других галактик и идентифицировать их как другие звездные системы?
11. Как распределены шаровые скопления в Галактике? Чем они отличаются от рассеянных скоплений?
12. В каком созвездии находится центр нашей Галактики и почему мы его не видим?
13. Почему чем дальше галактика от нас, тем она выглядит моложе?

V. §§ 25. Упр. ст. 160 (1 – 13), ст. 167 (1 – 10)

1. Солнечная система приближается к звезде Вега ($p = 0,12''$) каждую секунду на 14 км. Через сколько лет видимый блеск Веги увеличится на $0,1^m$?
2. В каком из созвездий (Дева, Стрелец, Рыбы, Весы) больше всего галактик?
3. Астрономы измерили звезды галактики, чтобы определить ее массу, используя соотношение между ее общей гравитацией и звездной инерцией. Как это им удалось?
4. Большое Магелланово Облако удалено на 50 кпк. Оцените время его оборота вокруг Галактики. $2 \cdot 10^9$ св. лет

*Ночью я открываю мой люк и смотрю, как далеко разбрызганы в небе миры.
И все, что я вижу, умножьте, насколько хотите, есть только граница новых и новых вселенных.*

*Дальше и дальше уходят они, расширяясь, всегда расширяясь.
За грани, за грани, вечно за грани миров.*

Уолт Уитмен



УРОК 18-19.

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ И КОСМОЛОГИЯ

Вначале был «Big-Bang»! Если Вселенная расширяется, то куда?

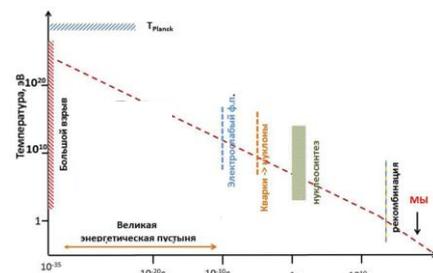
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с основными этапами (эрами) эволюции Вселенной, экспериментальными подтверждениями этого процесса и возможными следствиями.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Происхождение и развитие небесных тел", ч. 1, диафильм "Происхождение и развитие небесных тел".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Галактика. 2. Скопление галактик.

Задачи:

1. Лучевая скорость звезды Альдебаран 54 км/с, ее собственное движение составляет $0,20''$ в год, а параллакс $0,05''$. Определите полную пространственную скорость Альдебарана.
2. Собственное движение звезды за 1 год равно ее годовому параллаксу. Определите тангенциальную скорость звезды (в км/с) относительно Солнца.
3. Оцените массу Галактики, лежащую внутри области орбитального движения Солнечной системы вокруг центра Галактики, находящейся в 26000 св. лет, если период ее обращения (галактический год) составляет $225 \cdot 10^6$ лет.
4. Угловые размеры галактики M81 в созвездии Большой Медведицы равны $35' \times 14'$. Наибольший блеск сверхновой звезды, вспыхнувшей в этой галактике, был равен $13,5^m$. Приняв в среднем абсолютную звездную величину сверхновых звезд в максимуме блеска близкой к $-15,0^m$, вычислите расстояние до этой галактики и ее линейные размеры.

Вопросы:

1. Как измеряют лучевую и тангенциальную скорость звезды?
2. Какая звезда имеет самое большое собственное движение?

3. Какие сведения может дать спектр звезды?
4. Почему на небе вблизи Млечного Пути наблюдается относительно мало ярких звезд, а количество слабых галактик, наоборот, меньше, чем вдали от него?
5. Сходны ли другие галактики с пространственной структурой нашей Галактики?
6. Почему спиральный узор Галактики вращается как единое целое?
7. Какие системы небесных тел вам известны?
8. Как выглядел бы Млечный Путь, если бы Земля находилась в одном из шаровых скоплений?
9. Чем отличаются другие звездные системы?

III. Древние Шумеры отождествляли космос с океаном – хаосом, из которого родились все шумерские боги и люди. Они называли его Тиамата. Великая Мать! Трудно смириться с огромными масштабами космоса: существуют сотни миллиардов звёзд в нашей галактике и, как минимум, триллионы галактик во Вселенной. Но для космолога есть нечто ещё более интригующее, чем сами умопомрачительные цифры, - это вопрос о том, как все эти звёзды и галактики появились за 13,8 млрд. лет. Возраст небесных объектов.

Планка константы: длина $\ell_n = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ см}$, время $t_n = \frac{\ell_n}{c} \approx 5,3 \cdot 10^{-44} \text{ с}$,

плотность $\rho_n = \frac{c^5}{G^2\hbar} \approx 5 \cdot 10^{96} \text{ кг/м}^3$, **температура:** $T_n = \frac{1}{k} \left(\frac{\hbar c^5}{G} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 4,029 \cdot 10^{31} \text{ К}$. $\hbar = 1,054\ 571\ 817 \dots \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$. Максимальное число операций в секунду $n = \frac{1}{t_n} \approx 2 \cdot 10^{43} \text{ с}^{-1}$. **Константы Планка считаются предельными в физике**

величинами! Бесконечностей в природе не бывает!

Наши законы физики и наше описание Вселенной, не могут выйти за пределы этих масштабов! До **планковского времени** мы не можем сказать ничего определенного о тогдашних событиях! Мы не знаем, как время и пространство ведут себя на очень малых масштабах!

Современная теория, опираясь на астрономические наблюдения, с неизбежностью приводит к тому, что в отдаленном прошлом вся видимая Вселенная могла бы поместиться в литровой банке.

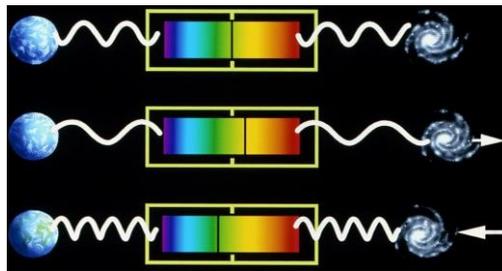
Я.Б. Зельдович

Доказательства теории Большого Взрыва:

- 1) Открытие явления расширения Вселенной.
- 2) Парадокс Ольберса.
- 3) Открытие космического микроволнового фона.
- 4) Состав Вселенной. Изобилие гелия в космосе.

1) **Эффект Доплера:** $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{V}{c}$. **Красное**

смещение (расширение Вселенной). Синее смещение наблюдается в случае, когда два объекта быстро сближаются. Расширение Вселенной — это увеличение со временем расстояния между гравитационно несвязанными частями наблюдаемой Вселенной (галактиками и их скоплениями). Сложно представить, но вся Вселенная просто



становится больше. Ткань пространства-времени способна растягиваться (и сжиматься?). Для точной оценки темпа расширения необходимо знать два параметра: скорость удаления объекта (красное смещение) и расстояние до него (цефеиды, сверхновые типа Ia). Стационарные объекты-галактики удаляются от наблюдателя со скоростями, в среднем пропорциональными их расстоянию от него, поскольку само пространство расширяется.

Закон Хаббла: Чем больше расстояние между какими-либо двумя галактиками, тем выше скорость их взаимного удаления. $v = H \cdot r$, где

постоянная Хаббла: $H = (74,03 \pm 1,42) \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$. В задачах $H \approx 75 \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$.

Дополнительная информация. Галактика, удаленная от Земли на расстояние 1 миллиард световых лет, убегает от нас со скоростью 24000 км/с. Разбегаются ни звезды и галактики, а скопления галактик, так как в скоплении галактик действует сильная гравитация, удерживающая галактики вместе. Закон Хаббла начинает выполняться для других галактик, которые находятся от нас на расстоянии больше 10-20 Мпк и расширение пространства уже становится заметным для непосредственного наблюдения. А на расстоянии примерно 46 млрд. световых лет от наблюдателя скорость расширения Вселенной начинает превышать скорость света, что приводит к полной невозможности не только наблюдения, но и даже и гипотетического взаимодействия с более далёкими объектами, и делает само их упоминание физически бессмысленным. Мы упираемся в горизонт событий (радиус Шварцшильда) наблюдаемой Вселенной. Именно поэтому она и называется **наблюдаемой**.

Существование линейной зависимости между красным смещением и расстоянием является наиболее эффективным открытием в астрономии.

Отто Струве

Общая теория относительности позволила объяснить явление «разбегания» галактик. Вселенная расширяется во всех направлениях с одинаковым ускорением! Представьте буханку хлеба с изюмом, поднимающуюся в духовке. Тесто расширяется на одно и то же расстояние между каждым изюмом, как и Вселенная!

2) Парадокс Ольберса заключается в том, что в стационарной Вселенной, равномерно заполненной звёздами (как тогда считалось), яркость неба (в том числе ночного) должна быть примерно равна яркости солнечного диска. Если Вселенная бесконечна, однородна и стационарна, то на небе, в каком направлении ни посмотри, рано или поздно окажется звезда. То есть, в ночи небо должно ярко светиться. А мы почему-то наблюдаем сплошное черное небо лишь с отдельными звездами? Подробное математическое рассмотрение этого решения было дано Уильямом Томсоном в 1901 году. Оно основано на конечности возраста Вселенной и конечности скорости света. Вселенная, наблюдаемая на больших расстояниях, настолько молода, что звёзды ещё не успели в ней образоваться. Некоторый (существенно меньший) вклад в уменьшение яркости ночного неба вносит и красное смещение галактик.

Фоновое свечение ночного неба исходит от космического моря далеких галактик, первых сгоревших звезд, далекого межзвездного газа. **Вселенная не бесконечна и не вечная, небо не ослепительно яркое - чем дальше от нас, тем меньше становится звезд.** Возможно, межзвездный газ еще не успел разогреться или же свет далеких звезд еще не дошел до нас.

Если Вселенная сейчас расширяется, тогда получается, что:

- Плотность Вселенной постоянно уменьшается, поскольку фиксированное количество материи занимает всё больше и больше пространства.
- Вселенная охлаждается, поскольку свет внутри неё растягивается, увеличивая длины волн.
- Галактики, не связанные вместе гравитацией, со временем разлетаются.

3) Реликтовое излучение – космическое фоновое излучение, возникшее в эпоху первичной рекомбинации водорода.

Космический микроволновой фон - это фотография Вселенной в возрасте примерно 300 тысяч лет. До этого времени "туман из электронов" окутывал юную Вселенную и излучение, порожденное Большим Взрывом, не могло свободно выходить в пространство. Оно снова и снова поглощалось и рассеивалось этими отрицательно заряженными частицами. Его температура составляет сейчас 2,73 К, а 11 миллиардов лет назад Вселенная была разогрета до 9,15 К. Это излучение - что-то вроде детской фотографии космоса, на которой он запечатлен еще до того, как появились звезды. Горизонт Вселенной.

4) Избыток гелия в космосе. Вселенная на 3/4 состоит из водорода и почти на 1/4 из гелия. Расчеты показывают, что наблюдаемые количества материи во Вселенной точно совпадают с теми, которые можно было бы ожидать, если бы она достаточно остыла в течение трех минут после Большого взрыва.

Большой Взрыв. Возраст Вселенной ($13,779 \cdot 10^9 \pm 21 \cdot 10^6$) лет. Первая вспышка излучения! Вовочка определил возраст 13 миллиардов лет + неделя. По размерам намного меньше атома, юная Вселенная была обжигающе горячей, — это был первичный огненный шар, который начал стремительно расти и остывать с бешеной скоростью.

Дополнительная информация. Большой Взрыв можно считать началом отсчета времени!

Температура Вселенной: $T \approx \frac{10^{10}}{\sqrt{t}} K$ (приблизительная формула), где t - время в секундах

после Большого Взрыва. Вселенная в каждой точке находится в состоянии расширения (аналог трехмерного раздувающегося воздушного шара: любая точка на поверхности шара может считаться центром расширяющейся Вселенной). Замкнутость пространства (аналог-окружность: у кольца нет ни начала, ни конца). Возникновение пространства и времени в момент Большого Взрыва. Большой взрыв произошел повсюду и одновременно!

Мир сотворен со временем, но не во времени.

Святой Августин IV век

Как эволюционировала Вселенная? Если сегодня Вселенная расширяется, охлаждается и становится менее плотной, то в прошлом она была меньше, горячее и плотнее.

1. Квантовая пена - основа ткани Вселенной. Рождение классического пространства-времени: $t \approx 5 \cdot 10^{-44}$ с.

Если все во Вселенной эволюционирует в направлении увеличения беспорядка, то оно должно было стартовать с невероятно упорядоченной конфигурации.

«Существует множество источников энергии. То, что считается пустым пространством – это лишь материя, которая еще не проснулась. Не существует пустого пространства ни на Земле, ни во Вселенной. Черные дыры, о которых говорят астрономы – самые мощные источники энергии и жизни», – утверждал Тесла.

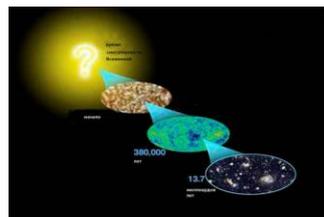
2. Инфляционная эра (10^{-43} - 10^{-35} с).

В инфляционную эпоху Вселенная внезапно и резко расширилась, и её объём увеличился, по меньшей мере, в 10^{78} раз (это эквивалентно увеличению объекта длиной 1 нанометр до объекта длиной примерно 10,6 световых лет). Теория космической инфляции говорит, что Вселенная не была заполнена материей и излучением. В ней содержалось большое количество энергии, присущей самой ткани пространства. Это заставило Вселенную экспоненциально расширяться с определённой скоростью, и вывело её в итоге к плоскому, пустому и однородному состоянию. А уже в конце инфляции энергия, присущая самому пространству, и одинаковая везде и повсеместно, за исключением квантовых флуктуаций, превратилась в материю и энергию – и вот вам Большой взрыв. Это значит, что Большой взрыв стал не началом всего, а только началом известной нам Вселенной. До Большого взрыва была космическая инфляция, которая в какой-то момент закончилась и породила горячий Большой взрыв, причём сегодня мы можем наблюдать следы этой инфляции.

Инфляция – это космическая «перезагрузка».

Дополнительная информация. Теория инфляции гласит, что Вселенная резко расширилась

за крошечную долю секунды после Большого взрыва, движимая фантастическими количествами энергии, содержащейся в самом пространстве. Небольшие колебания плотности материи, присутствовавшие в ранней Вселенной, значительно усилились во время инфляции. Эти флуктуации плотности в конечном итоге создали крупномасштабную структуру Вселенной. Гравитация «отпочковалась» от остальных сил! **То время, когда все четыре фундаментальных взаимодействия были единым целым, называлось Эпохой Великого Объединения (ЭВО).** В этот период Вселенная экспоненциально расширилась до размеров, в невероятное число раз превышающих видимые границы, и с тех пор продолжает расширяться. Скорость ее расширения во много раз превышала скорость света в вакууме, поскольку расширялось все мироздание. Может показаться, будто частицы движутся «быстрее света», - а это просто Вселенная расширяется вместе с ними. Необходимость этой эры диктуется почти одинаковой температурой реликтового излучения (сейчас она 2,725 К). Для ее создания потребовалось бы расширение Вселенной до сегодняшних размеров за 10^{-33} секунд! Но могло ли такое быть? Равномерный «нагрев» остается для науки аномалией. Может быть, Вселенная началась с горячего, плотного состояния и расширялась именно ее ткань? Именно это и являл собой Большой Взрыв - состояние, в которое перешла вся наблюдаемая Вселенная в определенный момент? Все, что мы видим, это ее небольшая часть? Из-за квантово-механических флуктуаций инфляция в разных областях Вселенной прекратилась в разное время, флуктуации растягивались в момент расширения до колоссальных размеров и усиливались, что привело к образованию неоднородностей плотности вещества к концу эры. Начало рождения частиц пришлось как раз на завершение эпохи инфляции. Частицы, слагающие материю, в ту пору вообще не имели массы (многие до сих пор не обзавелись этим свойством). **Образование материи и антиматерии произошло до окончания ЭВО.** Инфляция завершается Большим Взрывом, когда поле, «разогнавшее» расширение, распадается и порождает обычную и темную материю, заполнившие Вселенную. Первичные черные дыры возникали в момент начала расширения Вселенной. Популярными кандидатами на роль вещества, которое могло бы сформировать первичные черные дыры, выступает темная материя.



3. Эра X-частиц ($10^{-35} - 10^{-12}$ с).

Все, что мы сегодня наблюдаем во Вселенной, а также нарушение симметрии между веществом и антивеществом, должно было возникнуть сразу после инфляции, когда энергия, питавшая инфляционный взрыв, превратилась в вещество и излучение. Лишь в этот момент времени начался Большой взрыв в его традиционном понимании - и Вселенная начала дальнейшее неспешное расширение в ту громадную структуру, которую мы видим сегодня. При достаточно высоких температурах электромагнитное, сильное и слабое взаимодействия были идентичны и передавались при помощи так называемого X-бозона. **К концу эры взаимодействие разделилось на две силы: «электрослабую» и «сильную ядерную».** Сегодня у нас уже имеются и данные, и описывающая их теория, которые предоставляют нам надежную информацию о физических процессах, протекавших во Вселенной на этапе, когда ее возраст был всего 10^{-12} с.

Согласно данным, полученным учеными, X-частица представляет собой компактный тетракварк (состоит из четырех кварков), либо состоит из двух мезонов, которые, в свою очередь, образованы двумя кварками. **Энергия проявила себя в виде вещества и фотонов.**

4. Кварковая эра ($10^{-12} - 10^{-6}$ с). Энергия фотонов: $h\nu = kT$ (они находились в равновесии с веществом). Условия образования частиц: $h\nu \geq 2m_0c^2$. $T = 10^{13}$

К. Рождение и аннигиляция частиц происходят непрерывно!

Дополнительная информация. Этот период все еще относится к эпохе, которую мы можем описать с позиции известных нам физических процессов как теоретически, так и

эмпирически. Перед самым этим моментом Вселенная состояла из элементарных частиц, тогда не было ни протонов, ни нейтронов, ни вообще составных адронов какого-либо типа. Однако кварки не были свободными, их наряду с глюонами удерживал заполняющий Вселенную густой «суп», называемый **кварк-глюонной плазмой**. Считается, что перед самым охлаждением из кварков и глюонов возникали X-частицы. Когда температура опустилась примерно до 1 ГэВ, произошел спонтанный фазовый переход, при котором образовались адроны с нулевым цветовым зарядом. Кварк-глюонная плазма представляет собой самую идеальную жидкость из всех известных. В настоящее время на каждые 4 кубических метра космического пространства приходится в среднем по миллиарду квантов реликтового электромагнитного излучения, одному электрону и одному протону, состоящему из трех кварков. Число нейтронов всемеро меньше, и в свободном состоянии они не встречаются. Как уже говорилось, позитроны, антипротоны и антинейтроны хоть кое-где и рождаются, но в таком малом количестве, что в космологических масштабах ими можно пренебречь. Но так было отнюдь не всегда. Когда возраст Вселенной приблизился к миллионной доле секунды, на каждый миллиард квантов приходилось примерно 3 миллиарда антикварков и 3 миллиарда три кварка. Они вступили в аннигиляцию, съевшую все антикварки, но оставившую ничтожную часть кварков, которые не нашли антипартнеров. Уцелевшие кварки объединились в протоны и нейтроны, на что потребовалось не больше четырех-пяти микросекунд. Переход вещества Вселенной из одного состояния в другое – фазовый переход. Происходил ли этот переход мгновенно по всему объему расширяющейся Вселенной или некоторое время существовали смешанные фазы материи, подобно тому, как в кастрюле, при закипании воды, одновременно бурлит вода и пар? Например, могла ли некоторое время существовать смешанная фаза адронной материи и кварк-глюонной плазмы, когда они некоторое время существовали вместе?

5. Адронная эра (10^{-6} – 10^{-4} с). В адронную эру все частицы присутствовали в равных количествах, но поскольку адронов в таблице элементарных частиц больше, то и адронов было больше.

Дополнительная информация. В адронную эру сильное взаимодействие между всеми частицами посредством свободных пионов (в конце эры они аннигилировали). В ранние мгновения существования Вселенной температуры и давление были до того велики, что самый обычный свет регулярно сгущался вплоть до образования массы. Происходило это не один раз. Большая часть возникавшей массы продолжала взрываться, обращаясь в беспримесную энергию. Если бы законы симметрии соблюдались точно, то Вселенная исчезла бы, не успев возникнуть (число частиц было бы равно числу античастиц). Сейчас ученые выяснили, что протоны и антипротоны абсолютно одинаковы! Это означает, что нашей Вселенной не должно было существовать, так как частицы и их полные противоположности античастицы должны были аннигилировать и превратиться в свет. Почему этого не произошло, наука пока не знает!

6. Лептонная эра (10^{-4} - 1 с).

В лептонную эру образовалось большое количество реликтовых электронных и мюонных нейтрино (нейтринное реликтовое излучение $T = 1,95$ К). **К концу эры температура Вселенной 10^{10} К.** Когда возраст мироздания достиг одной секунды, аннигилировали и исчезли позитроны, пребывавшие в таком же ничтожном дисбалансе с электронами. Вот так и возникла Вселенная, в которой плотность антиматерии практически не отличается от нуля. К концу лептонной эры вся Вселенная состояла из **протонов, электронов, нейтронов, квантов света, шло образование гелия, дейтерия и немного лития.**

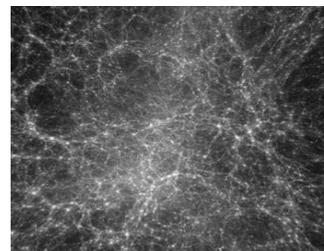
Дополнительная информация. Почему не образовались более тяжелые ядра? $2He_2^4 \rightarrow Be_4^8$ - нестабильный изотоп, $3He_2^4 \rightarrow C_6^{12}$ - маловероятно! Гелий - реликт космического "костра", пылавшего первые три минуты после Большого Взрыва; относительная концентрация гелия 10%, водорода 90%, меньше сотой доли процента дейтерия (2H), гелия (3He) и лития (7Li).

Изучение газовых облаков в глубоком космосе подтвердило эти пропорции. Одиночные нейтроны превращаются в протоны в течение примерно 15 минут, так что все нейтроны, оставшиеся после образования ядер гелия, стали протонами. Сколько нужно частиц для сотворения мира: $6 + \bar{6}$ кварков, $6 + \bar{6}$ лептонов, фотон, 8 глюонов, 3 промежуточных векторных бозона, бозон Хиггса = 37 частиц! Масса вещества во Вселенной 10^{50} т?!

7. Фотонная эра (380000 лет).

Через 15 мин после Большого Взрыва Вселенная заполнена ядрами водорода, гелия, свободными электронами и фотонами высокой энергии. Если какой-нибудь протон соединился с электроном, образуя атом водорода, то такой атом мгновенно разбивался фотонами (непрозрачная плазма). Время шло, Вселенная расширялась, а плотность и температура излучения падали. **В конце эры $T = 3000$ К**, ее размер $1/1200$ своего нынешнего размера (около 84 миллионов световых лет), энергии фотонов перестало хватать для ионизации атомов (поддержания плазмы). Протоны и электроны смогли образовывать нейтральные атомы водорода, а длина свободного пробега фотонов стала больше размеров видимой Вселенной - излучение отделилось от вещества, и Вселенная стала для него прозрачной. Освободившиеся фотоны мы наблюдаем сегодня в виде реликтового излучения.

Дополнительная информация. Вспышка реликтового излучения высветила множество неоднородностей, возникших к тому времени в юной Вселенной (частицы темной материи могли скапливаться в гравитационных ямах). Это и были зародыши будущих скоплений, на них свет рассеивался и немного остывал (реликтовые фотоны, выбираясь из гравитационных ям, теряют энергию; их частота, а стало быть и температура, уменьшаются). Масса зародышей составляла от $100 \cdot 10^6$ до $10 \cdot 10^9 m_{\odot}$, они были размером с карликовую галактику, и вокруг них под действием гравитации скапливался газ (однородный коллапс). Именно возникшие на ранней стадии существования Вселенной неоднородности (размеры больше 1000000 световых лет) распределения темной материи привели к образованию первых протогалактик. Считается, что Вселенная похожа по структуре на гигантскую трехмерную паутину. Ее нити представляют собой скопления темной материи, так называемые филаменты. В точках пересечения этих нитей находятся плотные комки видимой материи — отдельные галактики и группы звездных мегаполисов. В межгалактическом пространстве в кубе со стороной 170000 км содержится 1 г обычного вещества и около 10 г темной массы, а в Солнечной системе плотность обычного вещества в миллион раз больше (в центре Галактики еще больше). И то, что мы раньше считали независимыми галактиками, являются только точками высокой концентрации в сплошном поле материи нашей Вселенной. Астрофизики составили карту распределения темной материи, охватывающую расстояние 100 млн св. лет от центра каждой известной галактики. Распределение темной материи весьма неоднородно и совершенно неслучайно, оно организовано и подчиняется математическому описанию. В настоящее время поиски темной материи и исследования на эту тему проводятся во всем мире. Учёные предполагают, что этот невидимый и неуловимый материал состоит из особого вида элементарных частиц, *WIMP*-частиц (*weakly interacting massive particles*), которые во много раз тяжелее протонов и взаимодействуют с окружающим миром только посредством сил гравитации и сил слабых ядерных взаимодействий.



8. Звездная эра (начало около 200 миллионов лет после Большого Взрыва).

Вселенная была наполнена своеобразным туманом из нейтрального газообразного водорода, который не излучал никакого света («тёмные века»). Именно в этот период формировались самые древние звёзды, которым ещё предстояло загореться. Во Вселенной с самого начала существовали облака темной материи, и каждое из них втягивало в себя сгустки атомов обычного вещества. Из-за этого со временем расширение в некоторых областях должно было остановиться и смениться сжатием. По мере сжатия сила притяжения материи за пределами

этих областей могла заставить их медленно вращаться. Чем меньше становилась сжимающаяся область, тем быстрее она вращалась — так фигуристы ускоряют свое вращение, прижимая руки к телу. В итоге, когда эта область стала достаточно мала, частота вращения увеличилась настолько, что удалось уравновесить гравитационное притяжение. Так возникли вращающиеся дисковидные галактики. Со временем газ в этих галактиках распадается на облака, сжимающиеся под действием собственной гравитации. По мере сжатия температура газа увеличивается, пока он не нагревается настолько, что запускаются ядерные реакции. Водород превращается в гелий, а выделяющееся при этом тепло приводит к увеличению давления, что останавливает дальнейшее сжатие облаков. Они могут оставаться в таком состоянии долгое время, подобно нашему Солнцу, сжигая водород и превращая его в гелий и излучая энергию в виде тепла и света. Компьютерные модели показывают, что в отсутствие тяжелых элементов первые звезды могли разрастаться до 30 – 100 солнечных масс. Все эти звезды рождались тесными группами, возникли небольшие протогалактики и первые шаровые скопления. Многие из звезд взорвались, обогатив облака газа тяжелыми химическими элементами («догалактическое обогащение металлами»), благодаря чему первые галактики уже содержали не только водород и гелий, но и существенные количества более тяжелых элементов. Всего через 500 млн. лет после Большого взрыва самых первых звезд уже не осталось. Ультрафиолетовое излучение первых звезд развеяло водородный туман, и жар от их взрывов стал причиной повторной ионизации Вселенной, завершив этот процесс на половину, когда Вселенная достигла возраста 700 миллионов лет. Однако плотность вещества уже настолько маленькая (Вселенная большая), что на свободное движение фотонов это никак не влияет. Взрывы массивных звезд порождали черные дыры, которые притягивали другие звезды, и вокруг них сформировался «сфероид» обычных звезд. Масса черной дыры сейчас составляет 0,001 массы «сфероида». Черные дыры предшествовали появлению первых галактик. Световое давление и образование лакун вокруг протогалактик. Протогалактики сливались или сталкивались друг с другом (образование видимого нами гало) – так образовались крупные галактики (эллиптические и спиральные), в том числе наш Млечный путь. Тепло, выделенное при слиянии, и большое количество галактического газа в конечном итоге привели к формированию современной формы Млечного Пути. Вместе с тем, это был не первый случай такого слияния. За историю своего существования Млечный Путь поглотил много других меньших галактик. По мере остывания, выдавленные на периферию галактики газовые облака, около 12 миллиардов лет назад под действием гравитации стало проникать внутрь гало, и образовали вращающийся диск. Сжатие в галактической плоскости мешали центробежные силы, а по оси вращения сжатие газа ничего не мешало. В результате в плоскости галактики возникает тонкий вращающийся газовый диск, в котором и образуются самые молодые звезды Галактики.

Галактики ... всегда будили в нем неистовое желание узнать законы их устройства, историю их возникновения и дальнейшую судьбу.

И.А. Ефремов

Таинству Вселенной не причинит ущерба наше проникновение в какие-то ее тайны, ибо правда более поразительна, нежели все то, что было нарисовано воображением художников прошлого.

Р. Фейнман

В нашем мозгу непонятно, каким образом записан весь мир.

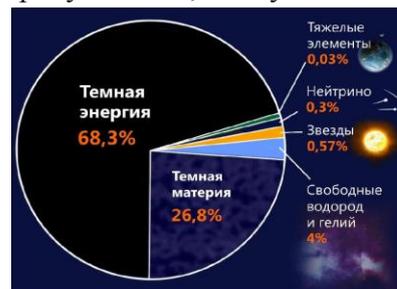
Игорь Кричевер, доктор физико-математических наук.

Галактики - яркие, красивые, набитые звездами - украшают темные бездны пространства, будто города - ночной пейзаж под крылом самолета. Если бы не телескопы, работающие в различных диапазонах спектра, мы бы до сих пор считали, что в космосе между галактиками пусто. Однако при помощи современных детекторов мы обнаружили там самые разные «скрытые» объекты: темную материю, карликовые галактики, тусклые голубые галактики, убегающие из галактик звезды, в том числе взрывающиеся, вездесущие газовые

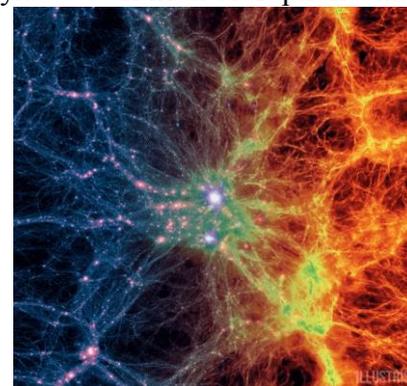
облака. А еще потрясающие высокоэнергичные частицы разного рода, загадочную квантовую энергию вакуума и раскаленный до миллионов градусов газ, испускающий рентгеновские лучи.

Все что мы видим во Вселенной (звезды, газ, пылевые скопления, черные дыры) - составляет всего 0,46% ее массы, межгалактические облака водорода – 3,6% массы Вселенной, темная материя составляет $(26,8 \pm 5) \%$, темная энергия – 68,3%.

Дополнительная информация. Тёмная материя — загадочная форма материи, чьи следы астрономы постоянно обнаруживают во Вселенной, но не могут «пощупать» напрямую: с обычной материей она



взаимодействует только гравитационно. Невидимая темная материя - гравитационный клей, который не дает звездам стремительно вращающейся галактики, как и галактикам в скоплениях, разлететься в разные стороны. Материя скапливается, образуя космическую паутину, скопления галактик вырастают до огромных размеров, отдельные галактики вращаются с большой скоростью, остающейся большой до самого их края. Но всего это могло и не быть, если бы темной материи не было в несколько раз больше. В молодой Вселенной всё было горячее, плотнее и однороднее, чем сегодня. В ранние времена были немногим более плотные участки, в которых содержалось чуть больше среднего темной материи. В ответ на притяжение этого экзотического вещества обычная материя формирует звезды и галактики внутри мест самой плотной концентрации этой темной материи. Гравитация притягивает к таким участкам больше материи, а излучение работает на её выталкивание. Если бы у нас была только нормальная материя и составляющие её частицы вкупе с этим излучением, то галактики не успели бы образоваться и галактические скопления сегодня были бы совсем не такими, которые мы видим. Но если темная материя находится в соотношении 5 к 1 с обычной материей, мы теоретически можем воспроизвести космическую паутину, соответствующую нашим наблюдениям и измерениям. Она составляет 85% от всей массы Вселенной и 26,8% общего количества массы-энергии. Одно из последствий существования темной материи состоит в том, что любую крупную структуру, формирующуюся во Вселенной, например, галактику, будет окружать крупное разреженное гало темной материи. На крупнейших масштабах во Вселенной доминирует тёмная материя. Но там, где находимся мы, в 25000 световых годах от центра Галактики, локально преобладает обычная материя. Если собрать всю темную материю, находящуюся внутри всех людей на Земле в определённый момент времени, её не наберётся и на нанограмм. При этом, поскольку она не



сталкивается с нормальной материей, она не движется вместе с Солнечной системой. Она:

- не вращается вокруг Солнца,
- не движется вместе с Солнцем и другими звёздами вокруг галактического центра,
- не остаётся в одной плоскости,
- не вращается с диском Млечного Пути,
- она невидима (свет не излучает и не отражает, оставаясь прозрачной),
- не сталкивается ни с обычной материей, ни с другими темными материями,
- распределена в галактиках в виде сферы (обычная - в плоскости галактики).

Оказалось, что пустое пространство заполнено еще и вакуумной энергией (**темной энергией**), которая создает давление, заставляющее Вселенную разбегаться в противодействие гравитации на этих больших масштабах.

Свойства темной энергии: 1. «Разлита» во Вселенной равномерно; 2. Заставляет вещество Вселенной расширяться с ускорением (8 миллиардов лет назад темная энергия составляла только 15%, поэтому расширение происходило с замедлением); 3. Плотность темной энергии

порядка 10^{-27} кг/м³ и не зависит от времени. Если бы тёмная энергия имела большую плотность, галактики сформироваться не смогли бы, и результатом явилась бы мертворождённая Вселенная, не содержащая ничего сложнее почти однородного газа.

Теория устойчивого состояния - теория, в которой считается, что мир во времени не имеет ни начала, ни конца, но поддерживается в «устойчивом состоянии» благодаря тому, что непрерывно создается новая материя, которая заменяет материю, уходящую в бесконечность в результате расширения Вселенной.

Общая теория относительности и модели Вселенной. Модель Фридмана. Через $30 \cdot 10^9$ лет расширение замедлится до нуля (гравитация), после чего начнется сжатие Вселенной. Период пульсаций 80 миллиардов лет. Теория о пульсирующей Вселенной, проистекает из гипотезы о дискретном пространстве и времени. Пространство своего рода поделено на ячейки, а время на периоды. Критическая плотность Вселенной равна $9,31 \cdot 10^{-27}$ кг/м³. На сегодняшний день достоверно установлено, что Вселенная будет расширяться вечно! $R = C \cdot t^{2/3}$. Физический космос следует математическим рецептам. Будущее предопределено!

История астрономии - это история расширяющихся горизонтов.

Эдвин Хаббл, 1938

Астрофизики, как шутят «земные физики», часто ошибаются, но никогда не сомневаются!

IV. Задачи:

1. Вычислить расстояние, линейные размеры и светимость квазара 3C48, если его угловой диаметр равен 0,56", а линия 0,2798 мкм ионизованного магния смещена в его спектре до положения 0,3832 мкм. Блеск квазара 16^m.
2. Сверхновая с абсолютной звездной величиной – 18^m вспыхнула в галактике с красным смещением 0,2. Каков блеск этой сверхновой в небе Земли?
3. Скопление галактик в созвездии Волосы Вероники имеет среднее красное смещение 0,0231, угловой диаметр 12^o и состоит примерно из 1000 галактик. Определите характерное расстояние между галактиками.

Вопросы:

1. Если разогнать космический корабль в сторону от Земли до скорости 0,25 скорости света, то его цвет – темно-синий – в наших телескопах будет казаться ярко-красным. Почему?
2. Может ли Вселенная расширяться бесконечно?
3. Можно ли увидеть в телескоп край Вселенной?
4. Назовите три фактора, ограничивающие яркость ночного неба.
5. Почему наблюдателю, находящемуся на Земле, Млечный Путь представляется прерывистым и клочковатым?
6. Почему динамическая масса спиральных галактик на порядок превышает их массу, определенную по светимости звезд?
7. Скорость, с которой вращаются звезды в галактиках, должна привести к их распаду, но этого не происходит. Почему?
8. Как вел бы себя на Земле мяч из темной материи?

V. § 26. Упр. ст. 176 (1-11).

1. Если Вселенная расширяется с возрастающей скоростью, то растет ли количество частиц в ней?
2. Чему равна планковская масса (она соответствует примерно 1/10 массы блохи)?
3. Нанесите ручкой несколько точек на поверхности резинового шарика. Надувая шарик,

проследите, как будет изменяться расстояние между ближними и удаленными друг от друга точками.

Характеристики звезд зависят от простейших и самых фундаментальных законов Природы и даже с нашими современными знаниями могли бы быть предсказаны на основе некоторых физических принципов, даже если бы мы никогда и не видели звезды.

Генри Рессел

*Фитиль уснет, когда иссякнет масло,
Ветра сотрут ступни горячей след.
Но нежная звезда давно погасла,
И виден мне ее горячий свет.*

Илья Эренбург

Урок 20-21.

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД

Из чего сделаны звезды? Где зарыты небесные сокровища?

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о звездах, обосновать известную модель происхождения (рождения) звезд и возможные пути их эволюции. Раскрыть многовековую тайну природы звезд, оказавшихся далекими солнцами.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Происхождение и развитие небесных тел".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Большой Взрыв.

2. Подтверждение теории Большого Взрыва.

Задачи:

1. В галактике с красным смещением линии Z в спектре, соответствующем скорости удаления 7500 км/с, вспыхнула сверхновая звезда 18^m . Как до нее далеко и какова ее абсолютная звездная величина и светимость?
2. Квазар 3C 273 имеет блеск $m = 12,88^m$, красное смещение $z = 0,158$, угловой диаметр оболочки $d = 1''$. Определите расстояние до квазара, его светимость и диаметр.
3. Некоторая галактика удалена от нас на 100 Мпк. Какую длину волны будет иметь в ее спекте линия ионизованного кальция с лабораторной длиной волны 393,4 нм? 402,3 нм

Вопросы:

1. Почему Вселенная постоянно расширяется и не может ли она лопнуть, как воздушный шар?
2. Почему протонов во Вселенной почти в 7 раз больше, чем нейтронов?
3. В бесконечной Вселенной при условии равномерного заполнения ее звездами ночное небо должно иметь примерно такую же яркость, как и Солнце.



Почему небо темное?

4. По древним представлениям сотворение мира начиналось с отделение света от тьмы, а Солнце и Луна появляются гораздо позже. Так ли это?
5. Что общего и в чём различие между звёздами первого и второго поколения?
6. Величина, обратная постоянной Хаббла, дает время жизни Вселенной. Так ли это?
7. Законы биологической эволюции записаны в генетическом аппарате, в молекулах ДНК. Но где были записаны законы физики в то время, когда нашей Вселенной еще не было?
8. Что было за секунду перед Большим Взрывом?

III. Звездная эра. Эволюция звёзд - изменение со временем физических и наблюдаемых параметров звезды под действием гравитации и идущих в ней термоядерных реакций.

Законы физики, что позволяют нам заглянуть в будущее, позволяют нам также узнать, что случилось в прошлом. В результате были получены интересные предсказания:

- Более далёкие галактики должны быть меньше по размеру и массе, их количество должно быть больше, и в них должны преобладать горячие голубые звёзды;
- Чем дальше во времени мы заглядываем в прошлое Вселенной, тем меньше там должно быть тяжёлых элементов;
- У Вселенной должно было существовать время, когда она была слишком горячей для формирования нейтральных атомов (и с тех времён должно существовать остаточное излучение, на сегодня уже сильно охладившееся);
- В настоящее время в обозримой Вселенной должно насчитываться около **2,14 секстиллиона** ($2,14 \times 10^{21}$) звезд, а из любой точки Вселенной можно в идеале наблюдать только около 8×10^{19} звезд.

Теперь у астрофизиков есть надежные доказательства того, что **сами звезды формируются - и не по одной, а сразу тысячами и десятками тысяч - внутри огромных облаков газа и пыли, причем из одного такого облака в итоге может образоваться до миллиона отдельных звезд.** Процесс рождения звезд продолжается и сейчас.



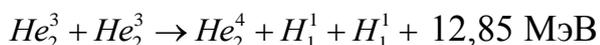
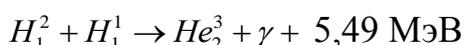
В таких гигантских звездных яслях в свое время сформировалась туманность Ориона - ближайший к Солнечной системе регион активного звездообразования. В Млечном пути сейчас рождается звезда одной солнечной массы в год, а в начале звездной эры рождалось более 1500 солнечных масс в год.

Когда в какой-то области идет образование звезд, то это распространяется подобно болезни.

Вальтер Баадс

Молекулярные облака (темные и отражательные газопылевые туманности) – самые холодные места Вселенной (высокая электропроводность среды и ее взаимодействие с межзвездным магнитным полем). **Типичное газопылевое облако (звездная колыбель) имеет температуру 5 - 10 К, массу от 100 тысяч до миллиона масс Солнца, размер 40 - 50 пк. Общее их количество в Галактике оценивается в 5 - 10 тысяч.** В крупных молекулярных облаках за несколько десятков миллионов лет рождаются целые звёздные скопления.

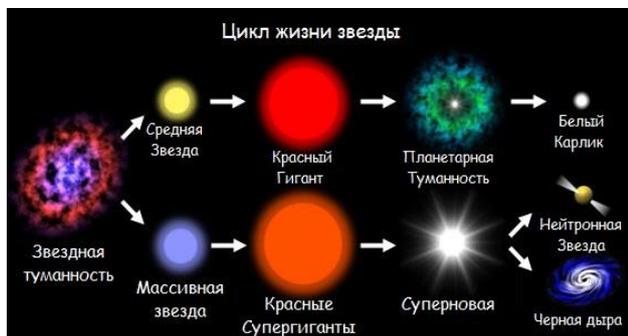
Развитие тепловых и гравитационных неоднородностей в облаках газа, сжатие и нагрев сгустков молекулярного облака, образование протозвезды. Гравитационное сжатие газа приводит к тому, что газ разогревается. **Чтобы термоядерные реакции начались, температура должна подняться до нескольких миллионов градусов.** При температуре 10^6 К начинает гореть дейтерий, которого в звезде очень мало, тысячные доли процента. Он горит и может обеспечить недолговечное поддержание давления за счет температуры. Некоторые сгустки молекулярных облаков не дотягивают до звезд - **коричневые карлики**, их масса составляет от 0,013 до 0,075 масс Солнца. Дейтерий и литий в их недрах быстро исчерпываются, а горение водорода быстро прекращается, они сжимаются и тускнеют. В сгустках меньшей массы термоядерные реакции вообще не идут и они не загораются (Юпитер). Затем дейтерий выгорает и у более массивных звезд продолжается сжатие. Как только температура в недрах звезды достигает 10^7 К, в недрах звезды начинается цикл термоядерных превращений водорода:



Самые маленькие объекты, которые уже называются звездами, имеют массу больше 0,08 массы Солнца, - **красные карлики** (медленно сжигают водород). Со временем они постепенно сжимаются и всё больше нагреваются, пока не израсходуют весь запас водородного топлива, и постепенно превращаются в голубые карлики, а затем — в белые карлики с гелиевым ядром. Такие типы звезд (звёздных останков) могут противостоять гравитационному коллапсу. Дело в том, что при очень большом давлении в ядре газ вырождается, то есть становится настолько плотным, что в нем начинает сказываться **принцип Паули** (два электрона не могут занимать одну и ту же ячейку). Если слои не перемешиваются, то внутри ядра находится гелий, снаружи – водород. Ядро становится плотнее (ядра гелия тяжелее водорода). Притяжение к нему увеличивается. Звезда чуточку поджимается. Температура внешних слоёв, как и ядра, становится больше. Давление повышается тоже. Сжатие прекращается. В какой-то момент водород начинает гореть всё в более внешних слоях. При постепенном сжатии повышается центральная концентрация гелия в ядре и температура. Твёрдая сердцевина занимает половину объёма звезды солнечного типа и условно делится на две не имеющие чёткого разграничения зоны: ядро, имеющее радиус 20-25% солнечного (только в этой зоне давление достаточно для протекания термоядерных реакций), и зону лучистого переноса. Через последнюю родившиеся в ядре фотоны

медленно и мучительно протискиваются к границе зоны конвекции, которую можно назвать «жидким пламенем».

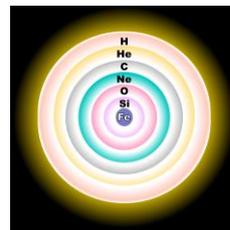
В период, когда в недрах звезды **водород постепенно переходит в гелий**, звезда находится на главной последовательности. Недра звезды находятся в состоянии **гидростатического равновесия**. Это означает, что ядерные реакции выделяют такое количество энергии, которое достаточно для разогрева



вещества до температуры, приводящей к такому давлению, которое способно уравновесить вес вышележащих слоев, не давая им рухнуть вниз под действием силы тяжести. Как только кончается водородное топливо для термоядерного синтеза в ядре звезды, начинаются

изменения. Ядро сжимается и в процессе нагревается до температуры, которой достаточно для возникновения реакции термоядерного синтеза гелия $15 \cdot 10^7$ К - а его много, поскольку многие миллионы или миллиарды лет звезда его вырабатывала. При этом ядра гелия соединяются, образуя ядра углерода и кислорода. У звезд больше **10 солнечных масс** этот процесс происходит не столь безмятежно. Дополнительная энергия, выделенная при синтезе гелия и его превращения вплоть до неона, раздувает внешнюю поверхность звезды. Такая звезда во время своих предсмертных спазмов разрастется до огромных размеров и становится **красным сверхгигантом**. Если масса звезды больше **двух-трех** масс Солнца, гелий не успевает выродиться, а просто загорается (гелиевая вспышка). Термоядерное «горение» гелия также становится причиной чудовищного расширения звезды. Звезда «распухает», становясь очень «рыхлой», и её размер увеличивается приблизительно в 100 раз (**красный гигант**), после финиш: **белый карлик и планетарная туманность**. **Белый карлик - финальная стадия жизни звезды и солнечного типа.**

В зависимости от исходной массы звезды, термоядерные реакции могут остановиться на гелии (остатки самых легких звезд) или на неоне (для звезд массой от 8 до 10,5 солнечных), что приведёт к образованию белых карликов, состоящих соответственно из гелия, углерода, кислорода, неона и магния.



У более массивных звезд неон сгорает при ещё более высоких температурах в кислород. И снова ядро сжимается и повышает температуру, что приводит к слиянию кислорода с образованием таких элементов, как кремний и сера. Когда ядро ещё больше сжимается, исчерпав свой кислород, происходит горение кремния, в результате которого за счёт захвата гелия образуются другие элементы: сера, аргон, кальций, титан, хром, железо и никель. В этот момент

ядро становится инертным, и вскоре появляется сверхновая с коллапсирующим ядром. Звезда жива, пока она «переваривает» свои источники энергии!

Эволюция звезд главной последовательности: протозвезда → сверхгигант → звезда главной последовательности → красный гигант → пульсирующая звезда (цефеида) → белый карлик (нейтронная звезда или черная дыра). Примерно 98 процентов звезд в нашей галактике окончат свой век, превратившись в белых карликов. Часть видимых звезд уже потухла!

Звезда – космический объект с массой от 0,01 m_{\odot} , в недрах которого происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции.



Выводы: Когда звезда умирает, возможны несколько вариантов ее последствий. Если масса звезды примерно в 30 раз превышает массу Солнца, ядро коллапсирует в черную дыру. Смерть звезды, масса которой от 8 до 30 раз превышает солнечную, приводит к нейтронной звезде диаметром около 20 км и примерно в 1,4 раза больше массы Солнца. Ядро звезды, масса которой менее чем в 8 раз превышает массу Солнца, коллапсирует в белый карлик, масса которого в 1,5 раза больше массы Солнца и упаковывается в шар размером между Землей и Луной.

Дополнительная информация. Модели звезд:

1. Звезда типа Солнца. Температура в центре $15 \cdot 10^6$ К, конвективная зона 10% массы звезды, плотность в центре в 20 раз больше средней. Если Солнце немного сожмется, температура и давление в его недрах возрастут, что приведет к ускорению ядерных реакций, выделению дополнительного количества энергии, еще больше разогреву солнечных недр. Это приведет к дальнейшему росту температуры, увеличению давления и расширению Солнца. Аналогично, если Солнце немного расширится, его ядро охладится. Таким способом Солнце автоматически поддерживает скорость ядерных реакций на определенном уровне в течение длительного промежутка времени.

2. Красный гигант (маленькое гелиевое ядро, температура в центре $40 \cdot 10^6$ К, плотность ядра $3,5 \cdot 10^5$ г/см³). Радиусы таких звезд составляют 10—200 R_{\odot} , светимости — 10^2 до 10^4 L_{\odot} , а эффективные температуры — 3000—5000 К. Красными гигантами становятся звезды массой от 0,2 M_{\odot} до 8 M_{\odot} . В их ядрах уже исчерпан водород, а ядерное горение водорода происходит в слоевом источнике. Ядро сначала состоит из гелия и является инертным, затем в нём начинается горение гелия, при котором синтезируется углерод и кислород. Если масса звезды меньше 0,5 M_{\odot} , то накопленный в ядре гелий так и не загорается. Недожали. Сбрасывая оболочку, красный гигант становится **белым карликом**.



3. Белый карлик (масса не превышает 1,43 m_{\odot} (предел Чандрасекара), время охлаждения - сотни миллионов лет) - звезда, состоящая из электронно-ядерной плазмы, лишённая источников термоядерной энергии и светящаяся благодаря своей тепловой энергии. Эти звезды могут быть голубыми, белыми, желтыми или даже красными, в зависимости от того, насколько они горячие. Сжатие белого карлика сдерживает давление вырожденного электронного газа. Белые карлики - это последняя стадия эволюции звезд с массой, близкой к массе Солнца!

4. Красный карлик - маленькая и относительно холодная звезда главной последовательности, имеющая спектральный класс М или поздний К. Масса красных карликов не превышает трети солнечной массы (нижний предел массы - 0,0767 m_{\odot}). Из-за

низкой скорости термоядерного сгорания водорода красные карлики имеют очень большую продолжительность жизни. **Вспыхивающие звезды** — это маленькие красные карлики, на которых происходят сильные взрывы, подобные вспышкам на Солнце, но только мощнее (горячие, прогретые недра всплывают во внешние слои, подобно дыму от костра).

5. Коричневые карлики - промежуточное звено между звездами и планетами газовыми гигантами (масса от 0,013 до 0,075 масс Солнца). Температуры не превышают 2800 К, а у самых холодных — около 300 К. В них идут термоядерные реакции на ядрах лёгких элементов (дейтерий, Li), но они настолько слабые и недолгие, что не способны разогреть эти объекты до высоких температур.

6. Звёзды Вольфа-Райе – это массивные звёзды, потратившие почти весь свой водород в процессе ядерного синтеза, но богаты гелием и испускают сильный звездный ветер. Сброшенная оболочка поглощает практически всё излучение горячего ядра и разогревается до такой высокой температуры, что начинает светиться.



7. Нейтронная звезда — космическое тело, являющееся одним из возможных результатов эволюции звёзд, состоящее, в основном, из нейтронной сердцевины, покрытой сравнительно тонкой (около 1 км) корой вещества в виде тяжёлых атомных ядер и электронов. Масса звезды менее $2,5 m_{\odot}$ (предел Оппенгеймера-Волкова 0,1 до примерно 2,16 солнечных масс), диаметр порядка 10 - 20 км, плотность в центре порядка 10^{15} г/см³, температура в центре $1 \cdot 10^9$ К, период обращения от 4 до 0,02 секунды. Если масса белого карлика превышает 1,4 массы Солнца (в зависимости от химического состава белого карлика значение предела Чандрасекара находится в диапазоне от 1,38 до 1,44 m_{\odot}) силы гравитационного притяжения заставляют протоны и электроны внутри звезды попарно объединяться в нейтроны. Внутри нейтронной звезды нейтроны не распадаются (стабильны). Но тогда нейтроны, подобно электронам в белых карликах, начинают производить внутренне давление, которое называется давлением вырожденного нейтронного газа, и в этом случае гравитационный коллапс звезды останавливается на стадии образования нейтронной звезды. Чайная ложка вещества нейтронной звезды весит 6 миллиардов тонн. Верхний слой коры состоит из железа (толщина несколько метров), погруженный в океан из электронов. Самый нижний слой коры состоит из ядер и покидающих их электронов (динамическое равновесие). Различные теоретические массовые модели предсказывают существование таких тяжёлых изотопов, как, например, железо-92, никель-98, олово-172 и другие. Наконец, когда плотность достигает $1,5 \cdot 10^{14}$ г/см³, кора заканчивается, и атомные ядра распадаются. В этой сверхпроводящей жидкости нейтроны находятся в явном избытке. Около трети нейтронных звезд рождается с магнитным полем порядка 10^{11} Тл (превращаются в магнетары из-за сильного сжатия линий магнитного поля). При радиусе звезды 10 км и толщине слоя, содержащего поле около 1 км, получим запас энергии порядка 10^{40} Дж! Энергия магнитного поля может выделяться потихоньку (АРП) или в виде вспышки (МПП). При столь мощном магнитном поле и чрезвычайно высокой скорости вращения до 700 оборотов в секунду с поверхности нейтронной звезды срываются заряженные частицы, порождающие вторичную плазму, которая удаляется от пульсара вдоль магнитных силовых линий. Основной поток плазмы уносится внутри довольно узких конусов с вершинами в районе магнитных полюсов. Эта плазма становится источником радиоизлучения, с характерным периодом сигнала от нескольких миллисекунд до нескольких секунд. **Пульсары** являются подмножеством нейтронных звезд. Это нейтронные звезды, которые вращаются с безумной скоростью и расположены под таким углом, что лучи ярких радиоволн, исходящих от магнитных полюсов, проносятся мимо Земли при каждом обороте — в масштабе от секунд до миллисекунд («старые» пульсары). Эффект пульсара возникает из-за того, что ось вращения звезды зачастую не совпадает с осью магнитного диполя, и по Земле пробегает как бы луч космического радиомаяка. Постепенно пульсар теряет вращательную энергию, а его магнитное поле ослабевает. Из-за этого вещество получает возможность достигать поверхности пульсара в районах полюсов, разогревшись при этом до десятков миллионов

градусов. При таких температурах плазма начинает излучать в рентгеновском диапазоне, порождая собственно феномен **рентгеновского пульсара**. **Рентгеновские пульсары** — это нейтронные звезды с сильным магнитным полем в тесных двойных системах. Вещество, текущее от звезды-компаньона, в таких системах захватывается гравитационным полем нейтронной звезды и падает на нее. Однако сильное магнитное поле препятствует прямому падению вещества. Аккреционный поток приостанавливается на некотором расстоянии от компактного объекта, а далее вещество следует вдоль силовых линий поля и достигает поверхности нейтронной звезды около ее магнитных полюсов. Площадь, на которую падает вещество, оказывается меньше одного квадратного километра, а выделение энергии этой области таково, что излучение уходит в жестком рентгеновском диапазоне. Полет вещества по силовым линиям поля общей протяженностью в несколько сотен или тысяч километров до магнитного полюса занимает примерно десятую долю секунды, а то и меньше. В непосредственной близости к нейтронной звезде вещество успевает разогнаться благодаря гравитации до скорости, близкой к половине скорости света. Кинетическая энергия, которой суждено высветиться внутри одного квадратного километра на поверхности, таким образом, составляет около 20% энергии покоя вещества.

8. Черные дыры. Существует три типа черных дыр - черные дыры звездной массы, имеющие массу нормальной звезды, сверхмассивные черные дыры, масса которых может составлять от миллиона до нескольких миллиардов масс Солнца и черные дыры промежуточной массы, масса которых составляет 500-1000 масс Солнца. При массе звезды, начиная примерно с тридцатикратной массы Солнца, силы гравитации слабевают сопротивление вырожденного нейтронного газа, и звезда коллапсирует дальше, превращаясь в черную дыру. Например, черная дыра массой $10 m_{\odot}$ может образоваться из звезды, которая до коллапса имела массу $30 m_{\odot}$, - остальные $20 m_{\odot}$ рассеиваются при взрыве. Недавно ученые зафиксировали огромную черную дыру из когда-либо обнаруженных - ее масса почти в 30 миллиардов раз больше массы Солнца. Массивные черные дыры обладают необыкновенным аппетитом: в течение лишь одного года каждая из них "пожирала" миллион звезд, похожих на наше Солнце. По современным представлениям, сверхмассивные черные дыры составляют ядро каждой галактики во Вселенной. Гигантская черная дыра есть и в центре нашей Галактики, ее масса $4,3 \cdot 10^6 m_{\odot}$. В настоящее время она сидит на «голодном пайке», но все-таки какая-то аккреция происходит и ее светимость равна нескольким тысячам. Как вода, стекая в ливнесток, создает воронку и мощное трение, так и частицы вещества, падающего на дыру, раскаляются от взаимодействия друг с другом и выделяют огромное количество света и тепла. Рекордная светимость дисков в тысячу раз больше полной светимости нашей Галактики, а температура достигает 10^7 К. Внутри дыра совершенно пустая, так как все вещество сосредоточено в центре. Если у черной дыры есть и магнитное поле, то оно к тому же собирает частицы в пучки – так называемые джеты – которые разлетаются от полюсов. Джет имеет узкую конусообразную форму, вещество в нем разгоняется до четверти скорости света. Именно джеты излучают мощнейшие потоки рентгеновских лучей и гамма - квантов. Лишь около одного процента сверхмассивных черных дыр обладает выраженными газопылевыми дисками и большой светимостью.

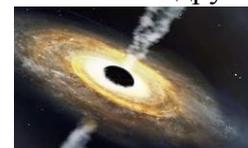
Млечный Путь (как и другие крупные спиральные галактики) содержит десятки миллионов черных дыр звездной массы, однако лишь малая их часть ярко светится рентгеном.

Чтобы описать черную дыру, нужно знать только три параметра: массу, электрический заряд и момент вращения (он же спин). Все остальные параметры вроде температуры, плотности, объема или свойств исходного вещества у черной дыры просто отсутствуют.

9. Квазар (галактическое ядро) относительно компактен, возможно, сравним по размеру с Солнечной системой, но излучает, как миллионы звезд, ярче, чем обычная галактика или даже несколько галактик. Его яркий свет наблюдается с Земли как радиоволны из-за сильнейшего доплеровского эффекта. С помощью телескопа можно получить изображение, на котором видны и квазар, и галактика вокруг него, которая называется материнской галактикой этого квазара. **Блазар** - редкий тип квазаров - самых ярких объектов во

Вселенной, которые образованы сверхмассивной черной дырой и поглощаемым ею веществом. Они представляют собой ядра активных эллиптических галактик. Как и другие квазары, они выбрасывают струи плазмы (джеты).

Дополнительная информация: Сверхмассивная черная дыра в центре галактики M87 насчитывает 6,5 млрд масс Солнца и ежедневно поглощает 90 масс Земли (одну массу Солнца примерно за 10 лет).



Недавно была обнаружена сверхмассивная черная дыра, которая растет так быстро, что светит в 7000 раз ярче, чем весь Млечный Путь. Ее свет прошел около 7 миллиардов лет, чтобы достичь нас, и что ее масса примерно в 2,6 миллиарда раз больше, чем масса Солнца.

Что мы еще знаем о черных дырах?

- 1) **Горизонт событий** — воображаемая линия, оказавшись за которой ничто не может вернуться обратно. Горизонт событий черной дыры имеет характерный размер — гравитационный радиус. Пересекая его, все объекты уходят за пределы наблюдаемой Вселенной, исчезая в сингулярности. Гравитационный радиус черной дыры в галактике M87 составляет 0,019 светового года, более чем в сто раз превышая орбиту Земли.
- 2) **Аккреционный диск** материи, падающей в черную дыру: ускоряясь и раскаляясь, вещество активно излучает в широком диапазоне волн, позволяя увидеть если не саму дыру, то ее ближайшие окрестности. Аккреционный диск сверхмассивной черной дыры в галактике M87 тянется на 0,4 светового года — в тысячи раз дальше орбиты Плутона.
- 3) **Релятивистские струи** появляются при взаимодействии аккрецирующей плазмы с магнитными полями. Часть вещества на околосветовой скорости выбрасывается из полюсов диска двумя узкими противоположно направленными потоками. Сверхмассивная черная дыра выбрасывает джеты длиной до 5000 световых лет. Один из них направлен в нашу сторону и виден в оптическом диапазоне.
- 4) **Корона черной дыры** представляет собой яркое кольцо из высокоэнергетических частиц, которое окружает точку невозврата – горизонт событий. Положение попавших сюда частиц неустойчиво, и, совершив один или несколько оборотов, они неизбежно падают в недра дыры или уходят по спирали в космическое пространство.
- 5) **Тень дыры** возникает из-за искривления траектории фотонов, пролетающих невысоко над сферой горизонта событий. Ее размеры примерно в 2,6 раза больше гравитационного радиуса черной дыры.
- 6) **Обратная сторона** аккреционного диска видна из-за мощного гравитационного линзирования. Некоторые фотоны с противоположной стороны черной дыры огибают сферу горизонта событий, и становятся видны дальние стороны аккреционного диска — верхняя и нижняя.

Чёрная дыра - физическое тело или участок пространства, окружённые горизонтом событий!

Анекдот про «черную дыру». Мужик сидит у канализационного люка и бросает туда куски сыра. Прохожие спрашивают:

- Кто там?

- Да черт его знает ..., но сыр любит!

10. Сверхновые звезды. Например, у звезда $m = 10 m_{\odot}$ ядро радиусом 0,2 полного радиуса звезды, температура в центре $27 \cdot 10^6$ К, плотность в 26 раз больше средней, 90% водорода, 9% гелия, 1% тяжелых элементов по числу частиц. Основной источник энергии углеродно-азотный цикл. Когда водород в центре массивной звезды выгорает (десятки миллионов лет), источником энергии становится тройной α - процесс (идет при 10^8 К): $3He_2^4 \rightarrow C_6^{12}$ (несколько миллионов лет). Реакции с образованием нейтронов идут при 10^9 К: $C_6^{12} + C_6^{12} \rightarrow Mg_{12}^{23} + n_0^1$; $C_6^{13} + He_2^4 \rightarrow O_8^{16} + n_0^1$. Запасы углерода будет исчерпаны через несколько тысяч лет, после чего идет синтез кремния (примерно три недели). Образование



тяжелых элементов в ядре вплоть до железа (слоистое строение звезды). Железное ядро сжимается за полсекунды (коллапс ядра). Ядро как будто бы внезапно застывает, «схватывается», превращаясь в нейтронную звезду. Падающее на ядро вещество отскакивает от него и порождает мощную ударную волну, распространяющуюся наружу и раздувающую оболочку звезды, которая и видна нам как сверхновая (**сверхновая II типа**). Взрыв (вспышка) сверхновой звезды сопровождается выделением гигантского количества энергии. В первые десять секунд после взрыва сверхновая производит больше энергии, чем Солнце за 10 миллиардов лет, и за короткий период времени вырабатывает больше энергии, чем все объекты в галактике вместе взятые. Их абсолютная звездная величина в максимуме от -11^m до -18^m . Яркость таких звезд с легкостью затмевает светимость галактик, в которых они вспыхнули. **Псевдосверхновые звёзды.** Псевдосверхновые звезды действительно вспыхивают, но эти взрывы не уничтожают звезду — спустя недели или месяцы после катаклизма светило выглядит почти как прежде и светит в прежнем режиме.

11. Новые звезды — это пары звезд, состоящие из белого карлика, который ворует материю с близкой звезды-компаньона. Когда сворованная материя (в основном водород) достигает критического состояния, а масса карлика превысит $1,43 m_{\odot}$, то происходит термоядерная реакция, в ходе которой сгорает водород, скопившийся на поверхности белого карлика. Белый карлик превратится в нейтронную звезду (**сверхновые типа Ia**). Абсолютная звездная величина сверхновых типа Ia известна, поэтому легко определить расстояние до звезды!

Дополнительная информация. Бетельгейзе относится именно к пульсирующим переменным звёздам; его внешние слои сжимаются и расширяются с определённой периодичностью. Естественно, при расширении звезды увеличивается поверхность, излучающая свет, поэтому и оптическая яркость звезды возрастает. У Бетельгейзе такой цикл расширения и сжатия составляет около 425 дней. Первым предвестником скорого взрыва звезды будет мощный поток нейтрино. После того, как в результате термоядерных реакций значительная часть гелия превратится в неон, события станут развиваться лавинообразно. Неон начинает гореть, когда температура в ядре достигает $\sim 1,4 \times 10^9$ К. Неон-20 частично начинает разлагаться на кислород-16 и гелий-4, а частично, в процессе захвата альфа-частиц превращается в магний-24 и кремний-28. Горение неоновой ядра в звезде на 15 солнечных масс ($15 M_{\odot}$) длится около года. В результате образуется кислородно-кремниевое ядро. Когда температура в центре звезды достигает $1,6 \times 10^9$ К, начинает схлопываться и гореть кислородно-кремниевое ядро. На это уходит от 9 до 14 месяцев. В результате промежуточных реакций формируется сера, и кремниво-серное ядро схлопывается на протяжении около двух месяцев. На данном этапе начинает формироваться последнее, железное ядро. Температура в ядре к этому моменту достигает $\sim 3 \times 10^9$ К, а кремний преобразуется в железо примерно за 4-5 дней или немного дольше, учитывая, что запасы кремния немного пополняются за счёт последних остатков кислорода. Железное ядро состоит из железа, кобальта и никеля, и на данном этапе термоядерные реакции прекращаются. Формирование железного ядра – эндотермическая реакция. Звезда в течение нескольких часов или суток тускнеет, после чего происходит взрыв. Взрыв сверхновой должен сопровождаться всплеском жёсткого космического излучения, и при подобном событии в относительной близости от Земли последствия могли бы быть катастрофическими, вплоть до массового вымирания. «Убийственная дистанция» при взрыве сверхновой составляет около 25 световых лет.

Дополнительная информация (слияние нейтронных звезд). После слияния нейтронных звезд расширяющееся вещество пронизывается потоком нейтронов и нейтрино. Это создает благоприятные условия для превращения ядер элементов в более тяжелые ядра. Ядра захватывают нейтроны, которые затем внутри ядра могут превращаться в протоны, в результате чего ядро перепрыгивает на одну клеточку в таблице Менделеева. Так можно «допрыгать» не только до свинца, но и до урана и тория. Современные расчеты показывают, что основная часть тяжелых элементов (с массой более 140), например, золото и платина, синтезируются именно в результате **слияния нейтронных звезд**, а не в процессе взрывов

сверхновых. При столкновении двух нейтронных звезд выделяются в тысячи раз больше энергии, чем при взрыве сверхновых звезд. **Звезды первого и второго поколения** (почти все, что нас окружает на Земле, когда-то было веществом взорвавшейся звезды). Звезды можно рассматривать как заводы по производству тяжелых химических элементов!

Звезды устроены проще, чем Земля! Возраст Вселенной 13,7 миллиардов лет. Большинство звезд Вселенной "зажглось" одновременно с рождением звезд в шаровых скоплениях (из двух одна). 98% нынешних звезд сформировались к тому времени, когда Вселенной исполнилось 12,9 миллиарда лет. *Вопросы:* Допустим, что рядом с Солнечной системой, всего-то, например, в восьми световых годах взрывается звезда и рождает сверхновую. Как это отразится на жителях Земли? Почему при близком взрыве сверхновой ни атмосфера, ни магнитосфера не смогут предохранить Землю от жесткого излучения?

Новый класс сверхновых, которые возникают в результате взрыва звезд, масса которой в 200 раз превышала массу Солнца. Светило начинает коллапсировать, однако высвобождающаяся энергия оборачивает этот процесс вспять, и происходит взрыв, который разрушает даже ядро. Звезда полностью уничтожается, не оставляя нейтронную звезду или черную дыру. Максимальная масса звезды - около 100-150 солнечных масс, иначе за этим пределом давление изнутри просто разорвет ее на части.

*Мир пронизан минувшим. Он вечен,
С каждым днем он богаче стократ.
В нем живут наши давние встречи,
И погасшие звезды горят.*

В. Шефнер, «Непрерывность».

Эволюцию мира можно сравнить со зрелищем фейерверка, который вы застали в момент, когда он уже кончается: несколько красных угольков, пепел и дым. Стоя на остывшем пепле, мы видим медленно угасающие солнца и пытаемся воскресить исчезнувшее величие начала миров.

Жорж Лемет

Умрёт ли Вселенная, и если умрет – то как? Проблемы современной космологии:

1. Отсутствие кривизны пространства.
2. Однородность Вселенной.
3. Возраст (Почему $13,7 \cdot 10^9$ лет?).
4. Физический вакуум, его переход в основное состояние и рождение Вселенной.
5. Почему Вселенная прежде всего развивалась в направлении, совпадающем с плоскостью эклиптики?
6. Переход Вселенной в стадию ускоренного расширения 6 – 8 миллиардов лет назад?

Несомненно, что межпланетное и межзвездное пространство не суть пространства пустые, но заняты материальной субстанцией или телом, самым обширным и, надо думать, самым однородным, какое только нам известно.

Джеймс Клерк Максвелл

Дополнительная информация. В астрономии элементы тяжелее гелия принято называть металлами. Относительная концентрация металлов в звезде называется металличностью. Металличность определяют по спектру звезды. Первое поколение звезд, состояло только из водорода и гелия и не содержало металлов. Эти звезды были чрезвычайно массивны. В течение их короткой жизни в них синтезировались элементы тяжелее гелия. Затем эти звезды погибали в результате взрыва сверхновых, и синтезированные элементы распределялись по Вселенной. Второе поколение звезд родилось из материала звезд первого поколения и уже имело металличность, но довольно малую. Звезды третьего поколения возникли из материала разрушившихся звезд второго поколения. Звезды третьего поколения – это самые молодые звезды. Они содержат самое высокое количество металлов. Галактика Млечный Путь состоит из звезд третьего поколения. Рождение малометаллических звезд и даже целых галактик происходит во Вселенной во всё время её жизни. Мы не можем измерить возраст галактик, мы можем только измерить возраст самых старых звезд, туманностей и скоплений

внутри галактики, а затем использовать эту цифру для приблизительного определения возраста галактики. Ключевыми признаками, которые они искали, было отсутствие «слабых красных гигантов» и «присутствие только водорода и гелия с очень небольшим количеством углерода, азота и кислорода». Таким образом, возраст галактик определяется по двум основным факторам: возрасту самых старых звезд в них и содержанию металлов. Молодые галактики состоят из водорода и гелия, а металлов в них практически нет. Металлы — более тяжелые элементы, и образуются они внутри звезд. Чтобы они появились, звезды должны прожить в галактике достаточно долго.

Состав и возраст некоторых типов населения Галактики

Населения Галактики	Содержание тяжелых хим. элементов, %	Предельный возраст, млрд. лет
Шаровые скопления, звезды-субкарлики, короткопериодические цефеиды	0,1 - 0,5	12 - 15
Долгопериодические переменные, звезды с большими скоростями	1	10 - 12
Звезды главной последовательности солнечного типа, красные гиганты, планетарные туманности, новые звезды	2	5 - 7
Звезды спектрального класса А	3 - 4	0,1-5
Звезды классов О и В, сверхгиганты	3 - 4	0,1

IV. Задачи:

1. Две нейтронные звезды обращаются вокруг общего центра масс по круговой орбите с периодом 7 часов. На каком расстоянии они находятся, если их массы больше массы Солнца в 1,4 раз? Масса Солнца $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг. Сравнить это расстояние с размерами Земли.
2. Далекая галактика похожа по свойствам на нашу Галактику, ее красное смещение равно 0,25. В $1'$ от нее виден спутник – карликовая галактика. Оцените период его обращения вокруг большой галактики.
3. Две галактики имеют красное смещение 0,01 и располагаются на небе в 1 градусе друг от друга. Какой диаметр должен иметь объектив телескопа, чтобы из одной галактики визуально наблюдать звезду другой галактики, похожую на Солнце? Межзвездным и межгалактическим поглощением пренебречь. Постоянную Хаббла принять равной $75 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$. $m = 2,1 + 5 \cdot \lg D$, где D – диаметр телескопа в мм.
4. На каком расстоянии от нас должен произойти взрыв сверхновой звезды, чтобы мы видели его таким же ярким, как Солнце? Считать, что в максимуме блеска светимость сверхновой звезды достигает 10^{10} .

Вопросы:

1. Почему говорят, что сверхновая вспыхивает как спичка?
2. Чем цефеиды отличаются от других звезд?
3. Почему изменяется блеск цефеид?
4. Почему цефеиды называют «маяками Вселенной»?
5. Какими бывают переменные звезды-цефеиды? Как они были обнаружены?
6. Почему звезды образуются из холодного, а не горячего газа?

7. Во сколько раз возрастает блеск звезд, вспыхивающих как сверхновые звезды?
8. «все звезды ... похожи на фабричные изделия, сделанные одной и той же машиной». Какую машину имеет в виду Джеймс Джинс?
9. Почему не может быть одновременного «горения» водорода и гелия в ядре звезды?
10. Почему мы не видим, как рождаются звёзды?
11. Самые старые объекты в Галактике образуют сферическую систему. Почему?
12. Может ли Солнце стать сверхновой звездой?
13. Древнейший из известных квазаров имеет красное смещение $z = 7,642$. Каков его возраст?
14. Что такое "пульсары", "квазары", "черные дыры"?
15. Как можно измерить массу черной дыры?
16. Для запуска термоядерной реакции на Земле использовали атомную бомбу, тогда как реакции внутри звезд происходят за счет гравитации. Поясните.
17. Всегда ли термоядерные реакции идут в центре звезды?
18. Почему в различных космических объектах почти одинаковое относительное содержание гелия, но разное содержание более тяжелых элементов?

V. §§ 24. Упр. ст. 181 (1 – 8)

1. Эволюция звёзд в тесных двойных системах (обмен масс между компонентами возможен) зависит от расстояния между компонентами, а также от изначальных их масс. Как по вашему будут эволюционировать две звезды главной последовательности с массами менее 10 масс Солнца, при этом компонент «В» чуть массивнее компонента «А»?
2. Звёзды средних масс при эволюции проходят стадии субгигантов, красных гигантов, горизонтальную ветвь, голубую петлю и асимптотическую ветвь. Как это понимать? Объясните.
3. Пульсар имеет радиус 10 км и массу 1,5 массы Солнца. Определите минимально возможный период обращения пульсара.
4. Дважды ионизированный гелий (гелий, в атомах которого отсутствуют оба электрона) более непрозрачен, чем однократно ионизированный гелий. Чем сильнее нагревается гелий, тем более ионизированным он становится. Основываясь на этих фактах, попытайтесь объяснить, почему периодически изменяется блеск цефеид.

Ты сияешь прекрасно на склоне неба, диск живой, начало жизни. Ты взошел на восточном склоне неба и всю землю наполнил своей красотой. Ты прекрасен, велик, светозарен! Ты высоко над всей Землей! Луча твои объемлют все страны, до пределов того, что создано тобою.

Обращение к Солнцу древних египтян

Урок 22-23.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЛНЦЕ

Каждый из нас, как и китайский император, вправе величать себя сыном Солнца.

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с внутренним строением и процессами, протекающими в недрах Солнца. Выяснить, почему Солнце светит. Дать

представление о солнечной активности и ее земных проявлениях.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Солнце".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Рождение звезд. 2. Эволюция звезд.

Задача:

1. Пользуясь кривой "период - абсолютная величина" для цефеидов, определите расстояние и линейный диаметр спиральной галактики в созвездии Треугольника, если ее угловой диаметр равен 1° , а период наблюдавшейся в ней цефеиды составляет 13 дней при видимой звездной величине $19,6^m$.
2. Лучевая скорость звезды Бетельгейзе + 21 км/с, собственное движение $0",032$ в год, а параллакс $0",012$. Определите полную пространственную скорость звезды относительно Солнца и угол, образованный направлением движения звезды в пространстве с лучом зрения.
3. В спектре новой звезды 1934 г. в Геркулесе темная линия $\lambda = 434,1$ нм сместилась относительно нормального положения к фиолетовому концу на $\Delta\lambda = 1,01$ нм. Какова скорость газа, выброшенного из звезды и вызвавшего своим поглощением появление в спектре темных линий?
4. Сколько звезд солнечного типа может образоваться из облака радиусом 100 пк, давлением 10^{-15} Па и температурой 50 К?
5. Линии спектра далекой галактики оказались сдвинуты на величину, соответствующую скорости удаления от нас в 15 000 км/с. Каково расстояние до нее? Каков ее размер, если она видна как пятнышко $20''$ в диаметре?

Вопросы:

1. Перечислите основные типы переменных звезд.
2. Когда звезда светит: а) за счет энергии гравитационного сжатия? б) за счет энергии термоядерного синтеза? в) за счет энергии радиоактивного распада? г) за счет тепловой энергии? д) за счет соседней звезды?
3. Почему звёзды-сверхгиганты с массой более десяти масс Солнца так редки во Вселенной?
4. Чем отличаются звезды от планет?
5. Как межзвездное вещество связано с процессом звездообразования и как влияет на него?
6. При взрыве сверхновой звезды её ядро уменьшается порядка 10^4 раз. Во сколько раз увеличивается частота её обращения? магнитная индукция?
7. Где в космосе образовались химические элементы, из которых состоит тело

человека?

8. Каким образом рассчитывают возраст звёзд?

По спектрам поглощения звезд можно определить, какой металл потребляется, создается или просто присутствует внутри звезд. Это также помогает нам понять, на какой стадии жизненного цикла находится звезда. Это происходит потому, что по мере старения звезды, когда весь водород расходуется в результате ядерного синтеза, начинается синтез более тяжелых металлов.

9. Каким образом астрономы рассчитывают возраст галактик?

10. Почему у черной дыры нет поверхности?

11. Как возникли тяжелые элементы, из которых состоит наша планета и мы сами?

12. Цвет звезд обусловлен их температурой, химическим составом, возрастом и движением относительно Земли. Объясните.

13. Почему большинство звезд на диаграмме спектр-светимость расположены вдоль ее главной последовательности?

14. Известно, что все звезды конкретного рассеянного или шарового скопления имеют один и тот же возраст. Почему тогда эти звезды попадают в разные места на диаграмме "спектр - светимость"?

III. Солнце - центральное тело Солнечной системы – представляет собой гигантский раскаленный газовый шар. Но если оно на 100 % состоит из горячего газа, что заставляет этот газ удерживаться в одном месте? Почему он не развеивается? Если солнечная гравитация притягивает все газы, то почему она не сожмет их в шар намного меньшего размера? Давление сжатого газа "раздувает" Солнце точно так же как оно заставляет надуваться автомобильные шины. Таким образом, гравитация сжимает, а давление раздувает. Солнце — гигантский термоядерный реактор. Солнце — это ближайшая к Земле звезда, и именно оно дает нам энергию, без которой жизнь была бы невозможна. Практически вся энергия, которую использует человечество, происходит от Солнца. Энергия, получаемая Землей от Солнца за 40 минут равна всей энергии, вырабатываемой на планете за год. **Солнечная постоянная (γ) - количество солнечной энергии, падающей за 1 с на площадку 1 м^2 , расположенную перпендикулярно солнечным лучам за пределами земной атмосферы на среднем расстоянии Земли от Солнца. $\gamma = 1360 \text{ Вт/м}^2$. Мощность Солнца: $P_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ (на Землю падает $1/(2 \cdot 10^9)$ часть).**

Сравнительные размеры Солнца и Земли: $d_{\odot} = 109d_{\oplus} = 1392000 \text{ км}$; $V_{\odot} = 1300000V_{\oplus}$; $M_{\odot} = 333000m_{\oplus}$; $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$; $T_{\text{эф}} = 5780 \text{ К}$, спектральный класс G2V, возраст 5 млрд. лет, период вращения 25,380 суток. Каждый миллиард лет Солнце становится горячее на 10%!



Химический состав Солнца: на 100000 атомов водорода приходится 8500 атомов гелия, 66 атомов кислорода, 33 атома углерода, 9 атомов азота, 8 атомов неона, 4 атома железа, 2 атома серы и т.д. Наше Солнце содержит около 2% таких тяжелых элементов, поскольку это звезда **второго или третьего поколения**. Оно образовалось около 5 млрд. лет назад из облака вращающегося газа, содержащего остатки более ранних сверхновых. **По массе:** 73% водород, 25% гелий, 2% углерод, азот и кислород, остальных элементов менее 0,1%, но именно из этих элементов построена Земля.

Определение возраста Солнца: одинаковый химический состав Солнца во время рождения, а сейчас избыток гелия в ядре $89 \cdot 10^{24}$ тонн; если же учесть, что каждую секунду

образуется $563 \cdot 10^6$ тонн гелия, то $t = 89 \cdot 10^{24} / 563 \cdot 10^6 = 5$ млрд. лет. Продолжительность жизни нашего Солнца оценивается менее чем в 10 миллиардов лет.

В частности, постоянство солнечной энергии можно объяснить тем, что на Солнце идут процессы субатомного превращения...

Э. Резерфорд, Ф. Содди. Радиоактивное превращение

Строение Солнца:

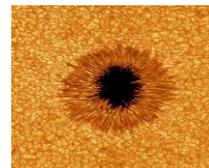
1. Ядро Солнца (радиус примерно 170 тысяч километров ($\approx 0,25 \cdot R_{\odot}$), температура в центре Солнца 15 млн. градусов, плотность 150000 кг/м^3).

В недрах Солнца происходит превращение водорода в гелий. Из 6 частиц - протонов образуется 3 частицы; ядро гелия - 4 и два протона, что приводит к уменьшению концентрации частиц и газового давления. Сжатие ядра. Ядро Солнца вращается в четыре раза быстрее поверхности. Оно проходит оборот вокруг своей оси за 7 дней, тогда как верхние слои - за 30 дней.



2. Зона переноса энергии излучением (от 0,2—0,25 до 0,7 радиуса Солнца от его центра). Световое давление составляет 0,1 от давления солнечного газа, в массивных звездах вносит основной вклад.

3. **Конвективная зона (толщина 200000 км).** В конвективной зоне передача энергии из внутренних областей Солнца наружу осуществляется за счет конвекции - перемешивания. Вся энергия Солнца рождается в его ядре в результате термоядерных реакций, а потом пробивается к поверхности звезды. Переносится энергия одним из двух возможных путей. С одной стороны, ее переносит излучение (радиация) - фотоны, которые рождаются в термоядерных реакциях и просачиваются сквозь полупрозрачную плазму. С другой стороны, вещество Солнца перемешивается, словно вода в чайнике, в результате чего нагретое вещество поднимается к поверхности; этот процесс называют конвекцией. В зависимости от строения вещества, один из процессов преобладает. В центре Солнца, где плазма плохо пропускает фотоны, более выгодной оказывается конвекция, а ближе к поверхности начинает доминировать излучение. Границу, на которой эффективность обоих процессов примерно равна $0,713 R_{\odot}$.



4. Фотосфера - видимая поверхность Солнца (толщина 250 км).

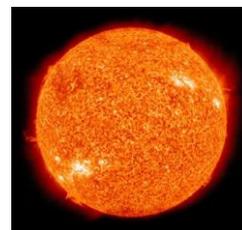
Наблюдать Солнце невооруженным глазом можно дважды в жизни: сперва одним глазом, потом оставшимся. Эта ошибка Галилея повредила ему зрение.

5. Хромосфера (толщина 10000 км).

6. Корона (толщина короны 2-3 солнечных диаметра).

Непосредственно наблюдаемые слои Солнца:

1) **Фотосфера** - гранулы (примерно два миллиона конвективных ячеек среднего размера 1000 км, одна такая гранула живет около восьми минут), пятна и факелы (температура солнечных пятен 4000 К, а окружающих их областей 6000 К). Во сколько раз отличаются интенсивности излучения этих областей!? Почему солнечные пятна кажутся темными? Наблюдая ежедневное движение солнечных пятен по поверхности Солнца, Галилей сделал вывод, что Солнце вращается.



2) **Хромосфера** (спикулы и вспышки). Температура в верхних слоях хромосферы достигает десятков тысяч кельвин.

3) **Корона** (протуберанцы - мощные выбросы газов, возвышающихся на 250000 км над хромосферой, двигаются со скоростью около 300 км/с, их температура около 10000 К). Корона состоит из газа настолько разреженного и наэлектризованного, что ее форму определяет магнитное поле Солнца. Там, где линии магнитного поля вытягиваются и выходят в космическое пространство, слой газа короны очень тонок и едва виден. Он легко

высвобождается и превращается в солнечный ветер (поток заряженных частиц, в основном протонов и электронов, которые постоянно возмущают и пополняют магнитосферу Земли). А там, где линии магнитного поля достигают короны, а затем опускаются на поверхность, они удерживают газ короны. Здесь его слой толще и ярче. Разогрев хромосферы и короны происходит за счет энергии конвективных движений.

Дополнительная информация. Ядро представляет собой термоядерный реактор, радиус которого равен 170 тысячам километров. А это четверть радиуса Солнца. Образовавшиеся в ядре фотоны изначально обладают высокой энергией в диапазоне гамма-излучения. Покидая реактор, фотоны попадают сначала в зону лучистого переноса, а затем в конвективную зону Солнца. Но, чтобы достигнуть поверхности звезды, фотонам приходится сталкиваться с препятствиями. В Солнце громадное количество нуклонов (протонов и нейтронов). Фотон, подобно пуле, ударяясь о нуклоны, мгновенно рикошетит, меняя свое направление, при этом они отдают часть своей энергии частицам, из-за чего волна фотона постепенно удлиняется. Так фотоны со временем переходят в рентгеновское излучение, затем в ультрафиолет, а после, в видимое излучение или свет. В настоящее время компьютером подсчитано, что фотону потребуется 170 000 лет, чтобы проделать путь от недр Солнца до его поверхности. И только после этого, сквозь космическое пространство, он долетает до человеческой сетчатки глаза, через 8 минут 20 секунд.

Солнечная активность - совокупность явлений, периодически возникающих в солнечной атмосфере. Максимумы и минимумы солнечной активности (11-летний цикл).

И вновь, и вновь взошли на Солнце пятна,

И омрачились трезвые умы.

И пал престол, и были неотвратны

Голодный мор и ужасы чумы.

Александр Чижевский

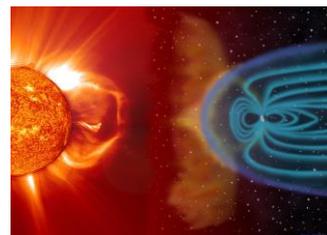
Дополнительная информация. В горячей плазме заряженные частицы движутся с очень большими скоростями. Там, где есть движущиеся заряженные частицы (электрический ток), есть и магнитное поле. Когда активность Солнца на минимуме, оно, подобно Земле, работает как классический магнит с вертикальными круговыми линиями, которые направлены вдоль меридианов и связывают юг с севером. Но поскольку плазма на экваторе звезды вращается примерно на 30 процентов быстрее, чем на полюсах, она, как крючок, тянет магнитные линии вперед и разворачивает их горизонтально вдоль параллелей. С каждым оборотом Солнца вокруг оси линии наматываются и сжимаются все сильнее. В конце концов, они закручиваются, словно клубок ниток, а затем вырываются наверх, пронзая солнечную поверхность. Так появляются пятна. Сильное магнитное поле препятствует подводу тепла из внутренних областей Солнца к поверхности, плазма остывает и наблюдается пятно. Биполярность солнечных пятен и их эволюция. Солнце излучает больше энергии при максимальном числе пятен.

Вспышка – взрыв, вызванный внезапным сжатием плазмы (происходит над пятнами в хромосфере и короне).

Дополнительная информация. Продолжительность вспышки около 1 ч, общая выделившаяся энергия $10^{23} - 10^{25}$ Дж. Мощность энерговыделения 1 г вещества в области вспышки в среднем в 10 раз больше, чем средняя мощность энерговыделения 1 г солнечного вещества. Преобразование энергии магнитного поля в другие виды энергии: излучение (видимый свет, ультрафиолетовые и рентгеновские лучи), тепло, кинетическая энергия движущихся газов (ускорение элементарных частиц иногда до релятивистских скоростей). Вспышки порождают потоки фотонов рентгеновского и УФ-диапазона, которые вызывают возмущения ионосферы, нарушая радиосвязь, и разогревают атмосферу, в результате чего она «вспухает», что приводит к торможению низкоорбитальных спутников. Супервспышки

на Солнце в 7176 и 5259 годах до н. э., в 775 году н. э. При супервспышке отключится радиосвязь, GPS, перестанут работать мобильные телефоны, интернет, остановится транспорт, банковские платежи и многое другое. В конце цикла Солнце успокаивается и опять превращается в классический магнит с двумя полюсами, но при этом юг и север меняются местами. Так происходит каждые 11 лет. Солнечные возмущения и их воздействие на магнитосферу называют космической погодой.

*Если бы я хотел иметь веру, я обоготворил бы Солнце.
Наполеон*



Эволюция Солнца. Сколько лет Солнцу? Через несколько миллиардов лет Солнце превратится в красного гиганта, который затем сбросит газовую оболочку и превратится в белого карлика. Используя аналогию, можно сказать, что Солнце - это гусеница, а когда оно сбросит с себя газовую оболочку, это будет маленькая белая бабочка. **Как это произойдет?**

Дополнительная информация. Нашему Солнцу примерно 4,6 миллиардов лет. Каждую секунду оно излучает энергию, эквивалентно взрыву 2 миллиардов "Царь-бомб" в секунду - самых мощных водородных бомб. Высвобождение такой энергии возможно благодаря тому, что каждую секунду в ядре Солнца 700 миллионов тонн водорода превращаются в 695 миллионов тонн гелия в результате ядерного синтеза. Таким образом, ядро теряет массу, но ещё быстрее оно теряет объём, потому что гелий плотнее водорода. Поэтому, ядро сжимается под действием гравитации, пока давление и температура в нём не ускорят темп ядерного синтеза, чтобы Солнце могло происходить то же число энергии, используя меньше топлива. Однако, объём, на который уменьшилось ядро, занимает материя из следующего слоя Солнца, зоны лучистого переноса, и она становится достаточно горячей, чтобы в ней тоже начался синтез водорода. Эта энергия приводит к нагреванию внешних слоёв Солнца и их расширению. А излучаемой Солнцем энергии становится даже больше. Но каждые 100 миллионов лет, Солнце становится на 1% ярче. Через 3,5 миллиарда лет Солнце будет ярче уже на 40% ярче, чем сейчас. Через 5 миллиардов лет, наступит момент, когда в ядре полностью закончится водород. Постепенного поступления водорода из других слоёв уже будет недостаточно, чтобы поддержать заполненное гелием ядро, которое интенсивно синтезировало последние капли водорода. Ничто не остановит гравитационный коллапс внешних слоёв Солнца в ядро до тех пор, пока в них самих не вспыхнет ядерный синтез водорода в гелий. Это нагреет солнечный газ настолько, что Солнце увеличится в десятки или в сотни раз, по сравнению с текущими размерами, и засияет в тысячи раз интенсивнее, чем сейчас и превратится в красного гиганта. Однако при таком темпе ядерного синтеза, эта стадия жизни Солнца продлится всего 10 миллионов лет. За это время, Солнце потеряет 28% своей массы из-за солнечного ветра, что позволит нашей планете перейти на более отдаленную орбиту. Через какое-то время, температура в ядре Солнца, наконец, достигнет 100 миллионов градусов, необходимых чтобы синтезировать гелий в углерод. Синтез гелия в заполненном гелием ядре приведёт к резкой вспышке. А затем, Солнце достигнет размера, в 10 раз превосходящего современный и будет излучать в 50 раз больше энергии, чем сейчас. Оно станет оранжевым, и этот этап жизни Солнца продлится ещё 100 миллионов лет. Для многих звезд этот процесс повторяется несколько раз: каждый раз, когда истощается очередной элемент, служивший топливом для ядерных реакций, ядро звезды опять сжимается, поднимая температуру и запуская новый набор реакций синтеза. Как уже можно заметить, расширение ядра приводит к сужению внешних слоёв, а сужение ядра приводит к расширению внешних слоёв. Таким образом, когда в ядре Солнца закончится гелий - оно снова станет красным гигантом в связи с тем, что в его внешних слоях на этот раз начнётся синтез уже гелия. Однако, синтез гелия нестабилен и звезда начнет пульсировать, меняя свое состояние от красного гиганта до звезды меньших размеров несколько раз. После каждой пульсации Солнце будет увеличиваться в размере и яркости. Последняя из таких вспышек сделает Солнце в 5000 раз ярче, чем сейчас и увеличит его радиус до размера, равного

текущему расстоянию от Солнца до Земли. В результате всего описанного, Солнце потеряет почти половину своей массы. Вещество, ранее составляющее внешние слои Солнца, покинет его орбиту. Оно превратится в газовое облако и за следующие десять тысяч лет рассеется в космосе. Всё, что останется от Солнца - это его сильно сжатое ядро, размером с Землю, нагретое до 100 000 градусов. Каждый кубический сантиметр этого ядра будет весить тонну. Учёные называют это "белый карлик". И следующие триллионы лет он будет остывать, пока не превратится в "чёрный карлик".

IV. Задачи:

1. Если самое маленькое солнечное пятно, видимое нами в телескоп, имеет диаметр $0,7''$, то каков его линейный диаметр?
2. Какая энергия поступает за 1 мин от Солнца в озеро площадью 1 км^2 в ясную погоду, если высота Солнца над горизонтом 30° , а атмосфера пропускает 80% излучения?
3. Сколько времени нужно пятну на экваторе Солнца для того, чтобы обогнать на один целый поворот другое пятно, находящееся на широте 30° . Периоды вращения Солнца на этих широтах соответственно равны 25,05 и 26,34 суток.

Вопросы:

1. Если Солнце состоит из раскаленного газа, то почему оно "круглое"?
2. Почему Солнце светит?
3. Какие химические элементы получили свое название от имен объектов Солнечной системы?
4. Как изменится светимость Солнца, если при той же температуре размер Солнца увеличится в 2 раза?
5. Какую роль для Солнца играет конвективная зона?
6. Как Солнце автоматически поддерживает скорость ядерных реакций на определенном уровне в течение длительного промежутка времени?
7. Каким образом было обнаружено вращение Солнца вокруг своей оси?
8. Не погаснет ли Солнце из-за черных пятен, которые на нем появляются?
9. Сколько лет будет светить Солнце?
10. Когда произойдет переход Солнца в стадию красного гиганта?
11. Почему диск Солнца имеет резкий край?
12. Почему диаметр Солнца в диапазоне метровых радиоволн заметно превосходит его диаметр в видимых лучах?
13. Может ли цивилизация погибнуть от аномально мощной солнечной вспышки?
14. Почему в оптическом диапазоне наблюдается потемнение диска Солнца к краю, а в рентгеновском, наоборот, - усиление яркости?
15. Каким образом был установлен возраст Солнца?
16. Почему солнечная корона, хотя и будучи значительно горячее поверхности Солнца, светит все же слабее и видна на Земле только во время полных солнечных затмений?

V. § 21. Упр. ст. 108 (1 – 10), ст. 122 (1 – 7)

1. Сделать рисунок, изображающий схематически разрез Солнца от фотосферы до центра с указанием соответствующих глубин, температур и давлений.
2. Солнце сфотографировано с одного и того же места, в один и тот же час, в разные дни в течение года. Попробуйте объяснить фото.
3. Чем вызван дефицит солнечных нейтрино?
4. Какой размер горизонтальной солнечной батареи для круглосуточного потребления одного небольшого дома (мощностью 20 кВт) в тропическом поясе Земли, если КПД солнечной батареи 20%?
5. Какую работу совершили силы тяготения при сжатии Солнца от бесконечно больших размеров до современного значения его радиуса?
6. Оцените плотность потока энергии солнечного ветра при спокойном Солнце на орбите Земли, где концентрация протонов достигает 10 см^{-3} , а их скорость порядка 1000 км/с.
7. Относительное тепловыделение человека составляет 1 Вт/кг. Сравнить с относительным тепловыделением Солнца.
8. Как оценить угловой диаметр Солнца при помощи столба, черного фильтра и секундомера? Сделайте это.



Знания – это дети удивления и любопытства!

Луи де Бройль

Урок 24.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

И все-таки она вертится!

Г. Галилей

Урок 25-26.

ЗЕМЛЯ - ПЛАНЕТА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

Фалес верил, что земля, будучи плоской как доска, плавает по воде.

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о Земле, как планете Солнечной системы, познакомить их с методами определения расстояний до тел Солнечной системы, дать представление об эволюции Земли.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: Теллурий, кинофильм "Земля - планета Солнечной системы", диафильм "Определение расстояний до небесных тел".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос фундаментальный
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Солнце - звезда главной последовательности. 2. Строение Солнца. 3. Солнечная активность и ее земные проявления.

Работа над ошибками, допущенными при выполнении контрольной работы.

Задачи:

1. Как изменится продолжительность года на Земле, если Солнце превратится в белый карлик с массой, равной 0,6 массы Солнца?
2. Какой станет светимость Солнца, если все оно покроется пятнами? Как оно будет выглядеть в небе Земли?
3. При наблюдении спектральной линии 0,59 мкм в направлениях на

противоположные края солнечного диска на его экваторе обнаружили, что длина волн различается на 8,0 пм. Определите период вращения Солнца вокруг собственной оси.

Вопросы:

1. Во сколько раз Солнце больше Земли по диаметру, массе и объему?
2. Почему в пасмурные дни бывает плохое настроение и даже нездоровится?
3. Как происходит передача энергии из недр Солнца к его поверхности?
4. Какие силы поддерживает равновесие Солнца как раскаленного плазменного шара?
5. Почему люди боятся озоновых дыр?
6. Почему солнечное пятно темнее фотосферы?
7. Как по Солнцу узнают о "опасных геофизических днях"?
8. Проведите аналогию между Солнцем и кастрюлей с кипящей водой на плите.

III. Изучая астрономию, вы видим рисунки нашей Солнечной системы - огромное Солнце, вокруг которых по своим орбитам вращаются восемь планет разных масс и объёмов - от крошечного Меркурия до газового гиганта Юпитера. **Земля** - одна из восьми планет Солнечной системы.

Земля - наибольшая из планет земной группы, имеет спутник, обладает атмосферой, часть земной поверхности покрыта слоем воды. Земля отражает часть падающих на нее солнечных лучей (голубая). **Альbedo Земли 28%.**

Движение Земли вокруг Солнца происходит по эллиптической орбите. Перигелий - 3 января (147 млн. км). Афелий - 3 июля (152 млн. км). Среднее расстояние от Земли до Солнца 149,6 млн. км = 1 а.е. Для орбиты **Земли** эксцентриситет равен приблизительно 0,017. Наклон плоскости земного экватора к плоскости эклиптики 23°27'. Смена времен года на Земле (демонстрация с теллурием). 22 июня - самый длинный день в северном полушарии, однако максимальная температура приходится на середину июля (точно также отстают и другие сезоны). Суточное вращение Земли с периодом 23 ч 56 мин 4,1 с. Смена дня и ночи. Четыреста миллионов лет назад год тогда состоял не из 365, а из 400 дней! Ледниковые периоды во многом связаны с орбитой, углом наклона оси и вращением Земли.

Форма Земли. Люди узнали, что Земля — это шар, наблюдая за формой земной тени во время лунных затмений и за изменением звёздного неба при перемещении между северными и южными широтами. Диаметр Земли первым измерил Эратосфен Киренский.

Полярный радиус 6356,755 км, экваториальный – 6378,16 км. Длина экватора 40073 км, масса Земли $5,972 \cdot 10^{24}$ кг, плотность $5,5 \cdot 10^3$ кг/м³, поверхность суши составляет 29,2% всей поверхности Земли. Северное и южное полушария Земли разделены экватором - самой большой параллелью.

Внутреннее строение Земли (аналогия с яблоком, внутри которого помещена гнилая слива: кора, мантия, жидкое внешнее ядро, твердое ядро):

- **Кора.** Толщина земной коры везде разная - в горных местностях она достигает 100 километров, а на дне океанов составляет около 6-7 километров.
- **Мантия** (верхняя мантия - глубина до 600 км, нижняя мантия - до 2900 км). Мантия состоит из минералов, в основном из железа, кремния и кислорода, на нее приходится 83% общего объема Земли и почти 70% его массы.
- **Ядро.** Масса ядра Земли - $1,9354 \cdot 10^{24}$ кг. На ядро приходится 15% объема Земли, но при этом оно дает 30% массы планеты.



Радиус земного ядра примерно 3500 км. Ядро напоминает планету внутри планеты — оно вращается, тоже является неоднородным и отделено «океаном» расплавленного железа. Далее идёт мантия и наконец земная кора.

- **Ядро внешнее** (жидкое, глубина от 2900 км до 5100 км от поверхности Земли). Ядро состоит в основном из железа с некоторым количеством никеля и легких элементов, таких как сера, которые легко растворяются в расплавленном железе и переносятся в ядро.

- **Ядро внутреннее** (твёрдый железо - никелевый шар, диаметр 2450 км). Ядро считается таким же горячим, как поверхность Солнца - его температура по теоретическим подсчётам около 6000⁰С благодаря радиоактивному распаду элементов и влиянию притяжения Луны. Давление на границе внутреннего ядра составляет около 350 ГПа, что в 3 миллиона раз больше атмосферного давления на уровне моря. Столь высокое давление удерживает атомы в структуре кристаллической решетки, делая железо - никелевый сплав твердым. Твёрдое ядро Земли вращается чуть быстрее остальной части нашей планеты.

- **Гидросфера - прерывистый слой воды на породах, образующих кору.**

- **Атмосфера Земли** состоит на 78% из азота, на 21% из кислорода, 1% составляет аргон, очень мало углекислого газа и водяных паров.

Поглощение солнечных лучей атмосферой и изменение ее температуры с высотой (тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, экзосфера). Атмосфера нагревается:

- поглощая солнечную радиацию (около 15 % всего ее количества, приходящего к Земле);
- поглощая собственное излучение земной поверхности;
- получая тепло от земной поверхности путем теплопроводности;
- получая тепло при испарении и последующей конденсации водяного пара.



Среда, в которую погружена Земля: газ, пыль, метеорные тела, электромагнитное излучение, заряженные частицы разных энергий!

- **Магнитное поле Земли и ее магнитосфера.**

Защитное поле магнитной энергии, окружающей Землю, создается за счет конвекции внутри жидкого внешнего ядра, которое простирается на 2260 километров над твердым ядром. Расплавленный металл поднимается над твердым внутренним ядром, остывает по мере приближения к каменистой мантии Земли и опускается. Эта циркуляция порождает полосы электронов, ток которых создает магнитное поле, окутывающее планету.

Возникновение Земли 4,54 млрд. лет назад с возможной погрешностью 1 %.

Древнейшие породы земной коры затвердели 4,4 млрд. лет назад. **Гипотеза Канта-Лапласа.** Солнце возникло из газовой туманности, вероятно, под действием взрывной волны сверхновой звезды, которая сдвинула молекулы газа в туманности, столкнув их с другими и образовав зону повышенной плотности.

Дополнительная информация. Образование Земли и других планет Солнечной системы из первичного газопылевого облака (остаток сверхновой звезды), захваченного Солнцем. Повышенный нагрев ранней Земли шел по нескольким причинам, которые вносили разный вклад на разных этапах в начале существования нашей планеты:

- первоначальная аккреция вещества Земли (включая столкновение с планетой размером с Марс, которое привело к образованию Луны);
- гравитационная дифференциация элементов в недрах, благодаря которой сформировалось железоникелевое ядро (тяжелые металлы опускаются к центру планеты);
- изначально в ядре и мантии была более высокая концентрация радиоактивных изотопов, при распаде которых также выделяется тепло.

Тепла от всех этих процессов было достаточно, чтобы расплавить, по всей видимости, всю силикатную мантию. Планета, когда она формируется, тает!

Катархейский (4,5–4,0 млрд. лет назад) — самый ранний период геологической истории Земли, длившийся еще до появления континентов. В начале катархея Земля представляла

собой сплошной океан магмы, а к его концу уже была похожа на ту планету, на которой мы живем сейчас. Гидросфера и атмосфера Земли возникли в фазу аккреции, почти одновременно с самой Землей. Формирование земной коры, расслоенной мантии и водного океана в катархее происходило одновременно и эти три процесса были взаимосвязаны. Затвердевшая первичная мантия с законсервированной в ней водой непрерывно перемещалась вниз, а навстречу, к поверхности двигался поток водяного пара и других летучих компонентов, просачивающийся сквозь пористую среду частично расплавленной верхней мантии. Другими словами, одновременно протекали взаимосвязанные процессы расслоения мантии и образования водного океана на поверхности Земли. Когда температура поверхности опустилась ниже 1000°C, начала образовываться земная кора. Поверхностный слой верхней мантии застыл в виде океанической коры. Такая Земля походила на яйцо: железный желток, вокруг вязкая мантия и тонкая оболочка камней. **Дальнейшая эволюция Земли.** Образование первичной атмосферы за счет дегазации из недр и падения малых тел, включая кометы, на поверхность Земли. Тогда в окрестности Солнца было, как в Москве в гололед. Планеты сталкивались друг с другом, с астероидами, с кометами. Великая космическая бомбардировка началась 4,1 миллиарда лет назад и продолжалась около 300 миллионов лет. После подобной катастрофы, пережитой Землей, у нее появился спутник – Луна. Кстати, день на Земле тогда длился всего 6 часов — так быстро она вращалась сразу после столкновения с Тейей, планетой, размером с Марс. Состав атмосферы Земли: 60% - углекислый газ, 40% - сероводород, сернистый газ, аммиак, хлористый и фтористый водород. В те далёкие времена (3,8 миллиарда лет назад, архей) на поверхности Земли ещё не было суши. Древние континенты пока не выступили из-под океанических вод — наружу торчали разве что горячие вулканические острова. Извергаемые ими газы помогали создавать молекулы всё большей сложности, и, скорее всего, именно вулканам мы обязаны зарождением жизни. Первые клеточные организмы могли существовать еще до поздней тяжелой бомбардировки — более 4 млрд. лет назад. Накопление азота, а затем и появление кислорода, ознаменовало зарождение четвертой атмосферы – весьма взрывоопасной. Кислород является ядом для многих форм жизни и 2 миллиарда лет назад стал причиной кислородной катастрофы, которая изменил не только «дерево жизни», но и поверхность нашей планеты. Когда его накопилось достаточно много, он начал атаковать парниковые газы типа метана. Это привело к разрушению теплозащитной оболочки планеты и вызвало резкое понижение температуры, в результате чего даже вблизи экватора появились ледники (примерно 720 миллионов лет назад). В истории Земли эта фаза называется «Земля-снежок». Породы, слагающие земную кору (**базальты и граниты**). **Вулканизм.** Тепло в мантии циркулирует согласно циклам конвекции - горячая мантийная порода поднимается из глубины к поверхности, а более холодная и плотная порода опускается вниз. При таком «перемешивании» расплавленная магма тащит за собой кору, заставляя ее двигаться. От этого кора вздымается и трескается, что приводит к извержениям вулканов. **Плюмы** - горячие потоки первичного мантийного вещества, поднимающиеся от границы ядра и мантии к поверхности. Плюмы представляют собой узкие каналы в мантии или всплывающие гигантские «перевернутые капли» - мантийные диапиры. Всплывая к нижней границе литосферы, плюмы приподнимают континентальную плиту в виде свода. Из вещества плюма под образовавшимся сводом формируется огромный очаг магмы. Расплав, поступающий из мантии на поверхность планеты, представляет собой жидкую текучую лаву - базальт. **Тектонические плиты** - это прочные твердые блоки-пазлы холодной породы толщиной до 100 км. До этого горячая мантия была мягкой и неспособной поддерживать большие объемы пород. Литосфера раскололась 600-800 миллионов лет назад. Темные породы плотнее светлых (в среднем 2,9 г/см³ против 2,5–2,7 г/см³) и образуют океанические плиты. При столкновении с менее плотными, «светлыми» континентальными плитами океанские погружаются под них и переплавляются в недрах планеты. Это запустило на поверхности планеты процессы, включая извержение вулканов и смещение материков. Кратоны — тектонически стабильные ядра континентов, придающие им устойчивость.

Геофизические наблюдения показывают, что корни кратонов со сложным и неоднородным строением литосферы уходят глубоко в мантию, на глубину более 150 км, формируя так называемые кили континентов. Обладая положительной плавучестью относительно подстилающей мантии, эти мощные, глубоко укоренившиеся блоки Земли в течение геологической истории то «расплывались» по поверхности планеты, то снова собирались в огромные суперконтиненты. Горячие точки — это отдельный поток мантии Земли,двигающийся от основания мантии к коре в отдельных точках внутренних районов литосферных плит. Из горячих точек вырывается лава и образуется вулкан. При движении плит смещаются горячие точки. Цепочки вулканов показывают направление движения литосферных плит. По возрасту породы определяют время образования вулкана. Расстояние между вулканами показывает перемещение литосферной плиты за данное время. Горы и впадины. Вулканы и гейзеры. Землетрясения. Изменения гор. Образование почвы. Около 635–538,8 миллиона лет назад на поверхности планеты жизни ещё не было, а вот на дне океанов она была ключом. Странные существа паслись на обширных полях, заселённых фотосинтезирующими бактериями. Потом были пермский и триасов период, а в меловом периоде уже появились зелёные леса в Арктике и Антарктике. Сегодня возраст следов, которые ученые расценивают как биологические, достигает 3,8 млрд. лет. В таком случае жизнь примерно на 0,8 млрд. лет моложе самой нашей планеты. Биосфера Земли. **Эволюция жизни. Человек - труженик. Человек - исследователь природы.** Усиление влияния человека на природу. Необходимость охраны природы. **Хрупкость феномена жизни**, чудом прикрепившейся к тонкой застывшей корке раскаленной изнутри планеты, летящей вокруг Солнца в двадцать раз быстрее артиллерийского снаряда.

*Мы живем точно во сне незагаданном
На одной из удобных планет...*

Игорь Северянин



Человек и космос: *«Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околоземное пространство».*

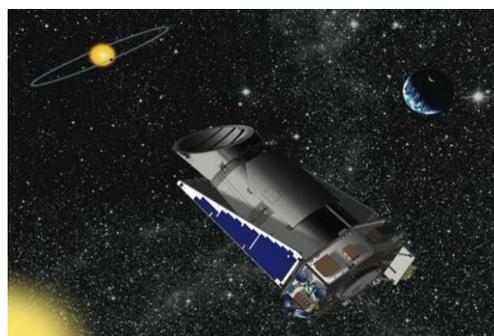
К. Э. Циолковский

Жизнь не может развиваться без планеты, планеты не образуются без звёзд, звёзды должны быть заключены в галактики, а галактики не могли бы существовать без богатой структуры Вселенной, поддерживающей их. История наших истоков написана в небе, а мы только учимся её читать.

Внеземные цивилизации:

*Когда вдали угаснет свет дневной
И в черной мгле, склоняющейся к хатам,
Все небо заиграет надо мной,
Как колоссальный движущийся атом,-
В которой раз томит меня тоска,
Что где-то там, в другом углу Вселенной,
Такой же сад и та же темнота,
И те же звезда в красоте нетленной.*

Н. Заболоцкий



Водяной пар зарегистрирован на рекордном расстоянии от Земли - 11,1 млрд. световых лет.

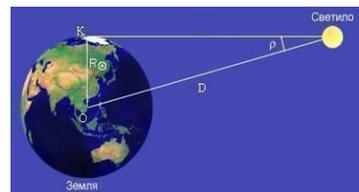
Экзопланеты. Большие планеты-гиганты найдены сегодня вокруг 15% звезд типа Солнце.

*В далеком созвездии тау-кита
Все стало для нас непонятно.
Сигнал посылаем: «Вы что это там?»,
а нас посылают обратно.*

В. Высоцкий. В далеком созвездии Тау-Кита

Определение расстояний до тел Солнечной системы. Горизонтальный

параллакс. Если два наблюдателя, для одного из которых светило находится на горизонте, а для другого - в зените, одновременно наблюдают это светило, то угол между этими направлениями (то есть параллактическое смещение светила) и есть **горизонтальный параллакс** этого светила. Горизонтальный параллакс Луны и Солнца ($57'$ и $8,8''$), определение расстояний.



Весьма замечательно, что астроном, не выходя из своей обсерватории и только сравнивая свои наблюдения с анализом, может с точностью определить величину и сплюснутость Земли и расстояние этой планеты от Солнца и Луны — элементы, познание которых было плодом долгих и трудных путешествий.

Лаплас

Другие методы определения расстояний:

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКАЯ ШКАЛА РАССТОЯНИЙ

Методы исследования	Астрономические объекты	Измеряемое расстояние
Параллакс (земные базы)	Планеты	1 световой час
Параллакс (база – орбита Земли)	Ближайшие звезды	500 св. лет
Закон "период - светимость"	Переменные звезды - цефеиды	10^7 св. лет
Сверхновые	Сверхновые типа Ia	10^9 св. лет
Красное смещение	Квazarы. Далекие галактики.	10^{10} св. лет

И что проще измерить: размер электрона или размер Вселенной?

IV. Задачи:

1. Нептун находится от Солнца на расстоянии 30 а.е. Чему равен его горизонтальный параллакс на среднем расстоянии от Земли? Чему равен годичный параллакс Нептуна?
2. Центральная звезда планетной системы – голубая звезда с температурой $T = 10000$ К, радиусом $R = 10 R_{\odot}$ и массой $M = 6,7 M_{\odot}$. Определите радиус орбиты и период обращения планеты, климат которой такой же, как на Земле.
3. Серебристые облака могут быть видны 21 июня в Ярославле (широта $57,6^{\circ}$) в зените всю ночь. На какой высоте находятся серебристые облака?
4. Радиоимпульс, направленный к Венере в ее нижнем соединении на среднем расстоянии от Солнца $0,7233$ а.е., возвратился к Земле через $4^m 36^s$. Вычислить геоцентрическое расстояние планеты во время радиолокации и средний горизонтальный экваториальный параллакс Солнца.

Вопросы:

1. Что изменилось бы на Земле, если бы ее ось вращения была перпендикулярна к плоскости ее орбиты?
2. Что нужно знать для вычисления радиуса Земли?
3. Что нужно знать, чтобы вычислить расстояние до какого-нибудь объекта Солнечной системы?
4. В каких зонах обитания существует Земля?
5. Пospорили два ученых. Один из них считал, что для того, чтобы у них в городе всегда был день, надо остановить вращение Земли вокруг своей оси, другой же утверждал, что следует уменьшить скорость вращения, но не останавливать ее совсем. Кто прав, и почему?

6. Что массивней – атмосфера или гидросфера Земли?
7. Почему в зимние месяцы сейсмические процессы активизируются (прохождение землей точки перигелия)?
8. Образование магматических очагов под древними суперконтинентами могло быть вызвано тем, что толстая континентальная кора не давала теплу выходить наружу. Возможно ли такое?

V. §§ 15-16. Упр. ст. 52 (1 - 6)

1. Домашнее сочинение: «Я живу на планете - Земля!»
2. Зодиакальный свет – это солнечный свет, отражённый от частиц межпланетной пыли?
3. Как изменились бы времена года, если эксцентриситет земной орбиты увеличился бы до 0,5?
4. Что бы произошло, если бы на месте Солнца оказался белый карлик или красный гигант?
5. Ньютонов вывод о сжатии Земли предполагает заранее, что Земля вращается. Какие доказательства не зависят от этого предположения?
6. Если бы земная поверхность была лишена воды, то, как это бы повлияло на среднюю температуру, на суточный ход температуры в каком-либо месте и на ход ее на всей поверхности Земли?
7. Утверждают, что на поверхности внутреннего ядра нашей планеты вес тел будет почти таким же, как и на Земле. Так ли это?
8. 12 знаков зодиака имеют одинаковую протяженность по эклипике. В каком из них Солнце находится наименьшее время?
9. Может ли высокая солнечная активность быть причиной массового выбрасывания китов на берег?

*Луна, как бледнею пятно,
Сквозь тучи мрачные желтела.*

А.С. Пушкин

Урок 27-28.

ЛУНА - СПУТНИК ЗЕМЛИ

Какова наибольшая и наименьшая высота верхней кульминации Луны в Томске?

ЦЕЛЬ УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся о Луне и ее движении; дать представление об эволюции Луны.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: Диафильм "Видимое движение небесных тел", глобус Луны, кинофильм "Луна".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Земля - планета Солнечной системы. 2. Физические условия на Земле. 3. Эволюция Земли. 4. Определение расстояний до тел Солнечной системы.

Задачи:

1. Чему равен горизонтальный параллакс Марса, когда эта планета находится ближе всего к Земле (0,378 а.е.)? Горизонтальный параллакс Солнца 8,8".
2. Горизонтальный параллакс Солнца 8,8", а его видимый радиус равен 16'1". Во сколько раз

радиус Солнца больше радиуса Земли? Сколько километров составляет диаметр Солнца?

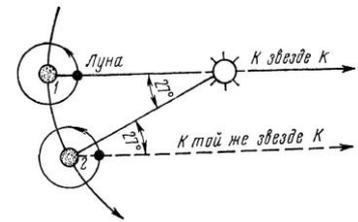
Вопросы:

1. Если бы ось вращения Земли была перпендикулярна к плоскости эклиптики, то, как это повлияло бы на продолжительность дня в разных точках Земли в разное время года?
2. Как изменились бы качественно времена года, если бы эксцентриситет земной орбиты увеличился до 0,5?
3. Как измерили радиус Земли древние греки?
4. При каком наклоне земной оси к плоскости ее орбиты южный полярный круг совпал бы с южным тропиком?
5. Где сегодня на Земле день равен ночи?
6. «Ограничителями» жизни во Вселенной выступают сразу несколько факторов. Что это за факторы?
7. Будь Земля плоской, чтобы было бы с нами?

III. Естественный спутник Земли - Луна. Следует отметить, что среди двух сотен спутников планет можно выделить не менее 16 тел, обладающих внутренними свойствами полноценных планет.

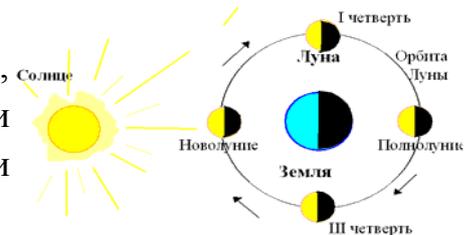
Сидерический месяц - период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд. $T_{\text{сид}} = 27,3$ сут.

Правильнее говорить, что вокруг Солнца движется центр масс системы Земля-Луна, при этом и Земля, и Луна вращаются вокруг их общего центра масс. Период колебаний Земли вокруг этого центра совпадает с периодом вращения Луны вокруг него же и составляет 27,3 дня.



Синодический месяц - период обращения Луны вокруг Земли относительно Солнца. $T_{\text{син}} = 29,5$ сут.

Фазы Луны: новолуние, первая четверть, полнолуние, последняя четверть. Условия наблюдения и видимости Луны. Месяц бывает **Растущий** и **Стареющий** (и первая буква напоминает о направлении месяца).



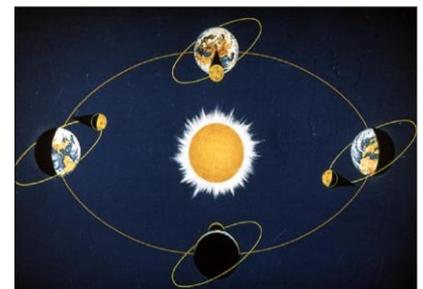
Противоположность фаз Земли и Луны.

Луна всегда обращена к Земле одной и той же стороной.

Эллиптичность орбиты Луны. Перигей и апогей. $R_{\text{п}} = 364000$ км, $R_{\text{а}} = 401000$ км, эксцентриситет лунной орбиты 0,0549. Из-за эллиптичности орбиты Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли угловой диаметр Солнца и Луны не постоянны. Угловой диаметр Солнца изменяется от $31,5'$ до $32,5'$, а угловой диаметр Луны - от $29,4'$ до $33,5'$.



Солнечные и лунные затмения. Дополнительную красоту солнечным затмениям придаёт то обстоятельство, что видимые угловые размеры Солнца и Луны близки. Если бы орбита Луны лежала в плоскости эклиптики (на самом деле угол наклона $5^{\circ}9'$), то каждое новолуние наблюдалось бы солнечное затмение (максимальная продолжительность 7 мин 40 с) и каждое полнолуние - лунное (максимальная продолжительность 1 ч 40 мин). Почему этого не происходит (объяснение по рисунку)? Для Земли в целом за 18 лет случается 43 солнечных затмения. Сарос



- период времени, по истечении которого повторяется цикл лунных и солнечных затмений. Его продолжительность, составляющая 6585,32 суток (около 18 лет). Тень от Луны при затмении движется по поверхности Земли со скоростью до 2000 метров в секунду. В 270 г. до н. э. Аристарх Самосский вычислил расстояние до Луны по продолжительности лунного затмения. Его логика была такой: максимальная длительность лунного затмения составляет 3,5 часа, за это время Луна проходит земную тень, диаметр которой равен диаметру Земли.

Исторические факты. Затмение могло стать причиной начала битвы, победы, поражения или сдачи в плен. День, когда Одиссей вернулся к своей жене, которую все считали вдовой, но которая продолжала его ждать, и когда он расправился с толпами осаждавших ее дом женихов, вполне мог совпадать с днем солнечного затмения 1178 года до н. э.

Геродот, военный историк, писатель-путешественник и автор, как мы сейчас сказали бы, журналистских расследований, живший в V веке до н. э., рассказал о том, какую роль сыграло солнечное затмение, случившееся на шестой год войны между лидийцами и мидянами. Участники битвы, пишет он, были так поражены тем, что «день внезапно превратился в ночь», что обе сражающиеся стороны бросили оружие и начали переговоры. Современные вычисления, основанные на законах небесной механики, дают точную дату этого события: 28 мая 585 года до н. э., примерно в 7:30 вечера.

Влияние Луны на Землю и Земли на Луну. Луна – это не только единственный спутник нашей планеты, но и ее надежный защитник от многочисленных космических угроз.

Приливные явления. В период зарождения жизни на Земле океанские приливы на несколько часов заполняли морской водой огромные территории, обеспечивая эволюционный переход жителей океана на сушу. Замедление вращения Земли вокруг собственной оси (длительность суток возрастает за год на $2 \cdot 10^{-5}$ с). По этой причине Луна постепенно удаляется от Земли примерно на 3.8 метра за столетие. Это приведёт к тому, что примерно через 750 млн. лет наблюдать полные солнечные затмения с поверхности нашей планеты станет невозможно!

Луна отражает лишь 11% световой энергии, получаемой от Солнца. Физические условия на Луне и рельеф. Диаметр Луны равен 1/4 диаметра Земли, масса - 1/81 массы Земли, средняя плотность 3300 кг/м^3 . Отсутствие атмосферы у Луны (причины). Днем температура на поверхности Луны повышается до 117°C , а ночью она падает до -169°C . Чем обусловлены такие перепады температур?

Посадку ЛК следует рассчитывать на достаточно твердый грунт типа пемзы.

С. П. Королёв

Лунный рельеф: "морья", "материки", кратеры, горные хребты. Знакомство с глобусом Луны. Фотографии поверхности Луны. Лунный грунт – реголит. Метеоритная и тепловая эрозия. Химический состав, возраст, физические свойства реголита. Возраст материковых пород 4 миллиарда лет, моря в среднем на миллиард лет моложе.

Внутреннее строение Луны (модель). Луна состоит из нескольких "комков" - масконов, в то время как плотность Земли растёт равномерно с глубиной. Почему?

Происхождение Луны. На раннем этапе формирования Солнечной системы земное вещество находилось в расплавленном состоянии, в результате чего и происходила его дальнейшая дифференциация: тяжелые железо и никель тонули в направлении центра Земли и формировали ее ядро, а более легкие вещества, шлаки и соли всплывали, образуя мантию и прообраз горных пород будущей земной коры. На этой стадии, пока земная кора еще до конца не оформилась, в Землю врезалось небесное тело размером не меньше Марса. В результате этого катаклизма на околоземную орбиту оказалось буквально выплеснуто значительное количество вещества земной мантии и коры, из которых вскоре и сформировалась Луна. Эта теория объясняет и низкую плотность лунного вещества, и близость его химического состава к химическому составу вещества земной коры и мантии, поскольку земное ядро гигантским столкновением затронуто не было и на орбиту не попало.

Решающие доводы в пользу этой гипотезы поступили на Землю вместе с образцами лунного грунта, доставленными американскими астронавтами из лунных экспедиций на борту «Аполлонов». В результате анализа соотношения различных изотопов кислорода в них удалось установить точное совпадение возраста лунных и земных минералов.



Луна имеет свое раскаленное ядро, как и в случае Земли состоящее главным образом из железа. Диаметр этого ядра составляет примерно 330-360 километров. Более того, расплавленное ядро имеет твердое внутреннее ядро из железа диаметром примерно 240 километров. Само же ядро окружено частично расплавленной оболочкой из мантии диаметром примерно 480 километров. Эти данные, по мнению планетологов, могут более полно понять эволюцию Луны, сформировавшейся примерно $(4,46 \pm 0,01)$ миллиарда лет назад через 30 – 50 миллионов лет после рождения Солнечной системы. Поначалу горячая Луна находилась очень близко к нашей планете — на расстоянии около 22 тысяч километров. Для сравнения: сейчас до него 384,4 тысячи километров. Она сияла в небе в десятки раз сильнее, чем сегодняшнее Солнце, и с тех пор удаляется от Земли. Эволюция Луны.

Образование коры. Метеоритная бомбардировка и образование морей. Молодые кратеры. Дальнейшая эволюция Луны. Спутники у других планет. Спутники всех других планет можно сравнить с комарами, тогда как Луна – настоящий альбатрос; размер нашего спутника лишь в четыре раза меньше размера самой планеты.

Дополнительная информация: 20 июля 1969 года модуль космического корабля «Аполлон-11» опустился на поверхность Луны. Первым человеком, ступившим на реголит, стал Нил Армстронг, через 15 минут к нему присоединился Базз Олдрин. В последние годы возобновился интерес к возвращению на Луну. Буквально за последний год на спутник Земли сели аппараты китайских, индийских, американских и японских ученых.

Дополнительная информация: Календарь необходим для фиксации периодических изменений в окружающем мире. «Чувство календаря» связано с переходом человечества от собирательства и охоты, как средств добычи пищи, к земледелию и скотоводству. Необходимые для этого укрупнения племен и переход к оседлой жизни привели к бурному развитию языкового общения. В речи появились названия для обозначения времен года и других периодических явлений в природе. Самым коротким периодом были, конечно, сутки — смена дня и ночи. А самым длинным был год — период полного цикла смены времен года. Оба эти цикла связаны с Солнцем, как источником тепла и света, поэтому оно у всех племен стало богом, без которого жизнь была бы невозможна. Но для промежуточных циклов — самих времен года (по-нашему — кварталов) и их долей (месяцев) природа дала еще один цикл — смену фаз Луны. Сегодня мы их называем новолунием, первой четвертью, полнолунием и последней четвертью. В фазах-четвертях мы видим половину лунного диска, освещенного Солнцем. В неполных фазах Луна нам видится в виде криволинейного кругового сегмента, похожего на серп. У многих народов для периода полной смены лунных фаз появилось слово «месяц», которое заодно означало и название самой Луны. Месяц для календаря стал удобнее, чем квартал (время года). Например, в весне можно выделить время дождей, время сева и время первой прополки, а в летнем периоде — время сенокоса, время жатвы и время созревания фруктов. Месяц удобно разделить на четыре части (совпадающие с лунными фазами), в каждой из которых по 7 суток. Вот где таится счет дней по неделям! Такой стихийный недельно-лунный календарь принято называть просто лунным.

IV. Демонстрация кинофильма «Луна».

Задачи:

1. На краю лунного диска видна гора, выступающая над ним на $0,03'$. На основании того, что линейный диаметр Луны равен 3476 км, а угловой диаметр $30'$, найдите высоту горы в километрах.

2. Чему равна масса Земли, если угловая скорость Луны $13,2^\circ$ в сутки, а среднее расстояние до нее 380 000 км?
3. Вычислите возможную наибольшую высоту Луны над горизонтом в Новокузнецке, зная, что наклон лунной орбиты к эклиптике равен $5^0 09'$.
4. Спутник Луны, двигающийся по круговой орбите радиуса $r = R_{\text{л}}$, после кратковременного торможения стал двигаться по эллиптической орбите, касающейся поверхности Луны. Найдите с помощью третьего закона Кеплера время падения спутника на Луну.

Вопросы:

1. Можно ли о погоде на Земле судить по Луне?
2. Лунное затмение наблюдается на восходе Луны. Какое сейчас время суток?
3. С каким периодом повторяются наилучшие условия для наблюдений Луны с Юпитера?
4. Двигаясь по небесной сфере, Луна закрывает звёзды («покрытие звёзд Луной»). С какой стороны лунного серпа звезда исчезает (с освещённой или тёмной) и с какой появляется вновь?
5. Почему особенно высокие приливы происходят в новолуние и полнолуние?
6. Что происходит на Луне, когда на Земле происходит лунное затмение?
7. Почему мы знаем, что отношение радиусов Солнца и Луны равно отношению расстояний от их центров до центра Земли?
8. Луна находится в фазе первой четверти. В какое время суток ее лучше всего наблюдать?
9. Почему максимальная высота подъема Луны над горизонтом зависит от времени года?
10. Толщина лунного серпа составляет половину радиуса Луны. Оценить угловое расстояние между Луной и Солнцем в этот момент.
11. В какое время года Луна в новолуние дольше всего остается над горизонтом?
12. В какое время года Луна в полнолуние поднимается над горизонтом на максимальную высоту и почему?
13. Вчера было полнолуние. Может ли быть затмение Солнца завтра? через неделю?
14. Луна восходит не менее двух минут, если ее наблюдать на Земле. В течение, какого времени восходит Земля для наблюдателя на Луне?
15. 21 сентября на экваторе Солнце взошло одновременно с заходом Луны. Оцените, насколько будет отличаться время захода Солнца и время восхода Луны там же в этот же день? Что произойдет раньше?
16. Укажите одну из причин того, что свет Луны в первой и в последней четверти составляет менее половины от света в полнолуние.
17. На фото и видео с Луны горизонт кажется ближе к наблюдателю, чем на Земле. Почему?

18. Действие, каких факторов привело к образованию реголита?
19. Почему древние египтяне изображали Солнце в виде диска с крыльями?
20. Что называют лунными «материками»?; «морями»? Каков приблизительно "возраст" лунных материков; лунных морей? Каково происхождение лунных материков; лунных «морей»? Каково внутреннее строение Луны по современным данным?

V. §§ 17. Упр. ст. 60 (1 – 10), ст. 67 (1 – 4)

1. Провести глазомерные наблюдения за изменением фаз Луны, каждый раз зарисовывать форму ее диска и положение относительно звезд отождествленных созвездий.
2. В каком месяце может произойти покрытие звезды θ Весов полной Луной?
3. Во время полного лунного затмения Аристарх определил отношение радиуса Земли к радиусу Луны. Как он это сделал?
4. Почему приливы и отливы наблюдаются на Земле не через 12 ч, а через 12 ч 25 мин?
5. Диаметр тени Луны вблизи Земли не превышает 200 км. Исходя из этого, определите максимальную длительность полного солнечного затмения в данном пункте Земли.
6. Опишите вид солнечного затмения с момента начала и до его окончания.
7. Известно, что время наступления океанских приливов каждый день смещается примерно на 50 минут. Почему?
8. Обратите внимание на то, что летом полная Луна видна на небе меньше времени, чем зимой. Отчего так?
9. Луна находится в фазе первой четверти. В какой сезон года она поднимается выше над горизонтом в северных широтах?
10. Что видит космонавт, находящийся на Луне, во время солнечного затмения?
11. Можно ли одновременно видеть над горизонтом Солнце и полную Луну?
12. Выписать из астрономического календаря-ежегодника основные данные об обстоятельствах, предстоящих в данном году затмений Солнца и Луны, видимых в нашем городе.
13. Объясните, почему Луна восходит каждый день на 50 мин позже, чем накануне (завтра прилив наступит в городе 50 минут позже, чем сегодня).
14. Солнечное затмение произошло в августе. Возможно ли наступление следующего затмения в ноябре этого же года?
15. Лунная пыль считается одной из основных технических проблем для будущих исследований поверхности Луны людьми и роботами. За последние десятилетия было изучено и разработано несколько технологий пылеподавления. Эти методы можно разделить на четыре категории: гидравлические (использование струй жидкости, пены и сжатых газов), механические (использование щеток), электродинамические (использовании электронного луча, заряжающего частицы пыли) и пассивные (уменьшения силы сцепления пыли с данной поверхностью). Что предложите вы?

*На далекой звезде Венере
Солнце пламенной и золотистой,
На Венере, ах, на Венере
У деревьев синие листья.*

Николай Гумилёв

Урок 29.

ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с физическими условиями на планетах Солнечной системы, их сходством и различием. Развить представления учащихся о строении Солнечной системы и ее эволюции.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Планеты земной группы", кинофильм

"Планетная система", модель планетной системы.

III УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Движение Луны.

2. Физические условия на Луне и ее эволюция.

Задачи:

1. Зная радиус Луны, определите дальность видимого горизонта на лунной поверхности с высоты человеческого роста (1,7 м).
2. Галилей первым измерил высоту гор на Луне, наблюдая появление вблизи терминатора горных вершины, освещаемых Солнцем. Сделайте чертеж и получите формулу, по которой можно провести необходимые расчеты. Оцените высоту гор, если угловой диаметр тени от горы $5'$.
3. Расстояние до Луны – 1,3 световой секунды, а ее угловой диаметр при наблюдении с Земли равен $0,5^{\circ}$. Во сколько раз Луна меньше Земли по радиусу?

Вопросы:

1. Венера видна на небе рядом с растущей Луной. Какая у нее элонгация – западная или восточная?
2. Почему самые продолжительные солнечные затмения наблюдаются в тропических странах?
3. Почему у молодой Луны хорошо видна неосвещенная Солнцем поверхность (пепельный свет Луны), а в момент солнечного затмения она не видна?
4. Какие наблюдения доказывают, что на Луне происходит смена дня и ночи?
5. Когда и в какой стороне горизонта лучше наблюдать Луну за неделю до лунного затмения? До солнечного?
6. В каких широтах серп растущей и убывающей Луны ориентирован одинаково относительно горизонта?
7. Когда Луна в полнолуние выше поднимается над горизонтом в Северном полушарии – зимой или летом?
8. Послезавтра будет солнечное затмение. Будет ли сегодня лунная ночь?
9. Бывает ли так, что Луна и Солнце видны на небе одновременно?
10. В какое время суток наблюдается Луна через неделю после новолуния?
11. Чем отличаются физические условия на Луне от земных условий?
12. В какой фазе будет находиться Луна в день осеннего равноденствия, если в это время ее прямое восхождение равняется $18^{\text{h}}20^{\text{m}}$?
13. Почему у Луны нет такого плотного ядра, какое есть у Земли?
14. Для наблюдателя, находящегося на географическом полюсе Земли, Солнце

полгода расположено над горизонтом и полгода - под горизонтом. А Луна?

15. Что видно на полной Луне?
16. Что чаще видно на небе Луны – Солнце или Землю?
17. Правда ли, что Луна всегда обращена не "рогами", а выпуклостью в сторону Солнца?
18. Известно, что расстояние от Земли до Луны в 400 раз меньше, чем расстояние от Луны до Солнца. Во сколько раз орбитальная скорость Земли больше орбитальной скорости Луны?
19. Где сила тяжести больше – в лунном море или на материке?
20. В каком направлении происходит видимое движение Луны относительно звезд?
21. В каком направлении мчится тень от Луны на поверхности Земли во время полного солнечного затмения?

III. Планеты, относительно небольшие небесные тела, движущиеся вокруг Солнца и светящиеся отраженным солнечным светом.

В настоящее время известно 8 планет (повторить их названия). Все планеты Солнечной системы обращаются по почти круговым орбитам, лежащим примерно в одной плоскости, которая наклонена всего на 7° к солнечному экватору. Планеты делятся по характеру их видимого движения на **верхние** и **нижние** планеты. По физическим характеристикам планеты делятся, на **планеты земной группы**: (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и **планеты-гиганты**: (газовые (Юпитер, Сатурн), ледяные (Уран, Нептун)).

Объяснение по кадрам диафильма с одновременным заполнением таблицы:

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Среднее расстояние до Солнца	0,39 а.е.	0,72 а.е.	1 а.е.	1,52 а.е.
Средние солнечные сутки	176 сут	117 сут	24 ч	24 ч 39 мин
Звездный период обращения	88 сут	224,7 сут	365,25 сут	687 сут
Наклон плоскости экватора к плоскости орбиты	3°	$177,4^{\circ}$	$23,45^{\circ}$	$25,2^{\circ}$
Диаметр в единицах диаметра Земли	0,38	0,95	1	0,53
Масса в единицах массы Земли	0,0553	0,815	1	0,108
Средняя плотность	5,43 г/см ³	5,24	5,52	3,94 г/см ³
Температура поверхности	+ 480 -173	+500 +480	+58 - 70	+20 -123
Состав атмосферы	следы	CO ₂ -97%	N ₂ =78% O ₂ =21%	CO ₂ =95,3% N ₂ =2,7%
Количество спутников			1	2

Сходство и различие планет земной группы; условия для возникновения и развития жизни. Выяснилось, что у поверхности Венеры давление не опускается ниже 92 атм (9,3 МПа), а температура составляет 464°C. Не ясно, каково происхождение ее очень плотной и непрозрачной для видимо света атмосферы (почти в 100 раз массивнее земной), почти целиком состоящей из углекислого газа (96,5%) и азота (3,5%) и обеспечивающей мощный

парниковый эффект. Воды на Земле на пять порядков больше, чем на Венере. Чрезвычайное обогащение венерианской воды тяжелым изотопом водорода (1,5% дейтерия против земных 0,016%) указывает на то, что раньше ее было гораздо больше и могло хватить на глобальный океан глубиной до сотен метров. Соединения серы и углекислый газ в атмосферу попали из вулканов. Вулканов много - тысячи, вся поверхность покрыта застывшей лавой. Непонятно, почему Венера так медленно вращается вокруг оси - в 244 раза медленнее Земли, и к тому же в противоположном направлении. Звездные сутки Венеры (усредненный период ее обращения вокруг своей оси) оказались равным $243,0226 \pm 0,0013$ земных суток. Согласно компьютерной модели, Венера и все похожие на неё миры в других звёздных системах, находящиеся на том же расстоянии от родительской звезды, остаются в жидком состоянии на протяжении долгого периода времени. Из-за этого летучие вещества, такие как вода, быстро испаряются с их поверхности, и жизнь на таких планетах оказывается невозможной даже теоретически.

Марс намного меньше Земли и поэтому не смог удержать внутреннее тепло. У него разреженная атмосфера, но все-таки ее парниковый эффект добавляет свои 8°C . А Земле он добавляет почти 40°C . Если бы у нашей планеты не было такой плотной атмосферы, температура Земли была бы на 40° ниже. После формирования первичной коры около 4,5 млрд. лет назад Марс подвергся интенсивной метеоритной бомбардировке. В то время у Марса еще была плотная атмосфера и магнитное поле, а на поверхности присутствовали водоемы. Столкновения с крупными космическими телами приводили, в том числе, и к потере легких летучих веществ — таких как вода. Период сколько-нибудь благоприятных условий на Марсе продолжался нескольких сотен миллионов лет и завершился 3,5 млрд. лет назад. Из-за небольшого размера и особенностей строения к этому времени ядро Марса охладилось настолько, что «динамо-машина», поддерживавшая магнитное поле, остановилась. Исчезновение магнитного поля резко ускорило потерю воды с поверхности и превратило Марс в каменистую пустыню, наблюдаемую сегодня. Совокупного количества воды в полярных шапках на Марсе хватило бы, чтобы покрыть всю его поверхность слоем толщиной 9 м.



Дополнительная информация: Однако гипотеза о возможности существования жизни на Марсе до рубежа 3,5 млрд. лет назад является до сих пор предметом серьезного обсуждения в научных кругах и включается в обоснование для финансирования некоторых марсианских миссий. Возможно, именно многокилометровые метеориты, падавшие каждые сто миллионов лет, могут быть ответственны за то, что на Марсе не возникла жизнь, несмотря на наличие жидкой воды и атмосферы.



Дополнительная информация: Ядро Меркурия составляет 42% его объема и состоит из расплавленного железа с большой добавкой серы. Это снижает температуру плавления смеси. Во внешних слоях ядра Меркурия железо кристаллизуется в виде кубических

снежинок и падает к центру планеты, а навстречу ему из глубин ядра поднимается жидкое железо, обогащенное серой. На Меркурии есть один из самых больших ударных кратеров в Солнечной системе - Равнина Жары (диаметром 1550 км). Это след от удара астероида диаметром не менее 100 км, чуть не расколовшего маленькую планету. Случилось это около 3,8 млрд лет назад, в период так называемой «поздней тяжелой бомбардировки».

IV. Задачи:

1. Рассчитайте наименьшее расстояние от Земли до Марса, если наибольший горизонтальный параллакс Марса составляет $23''$.
2. Какова масса карликовой планеты Плутон, если ее спутник Харон обращается на расстоянии 19,5 тыс. км с периодом 6,39 суток вокруг планеты?
3. Наблюдая Землю, марсианский астроном видит, что Солнцем освещена ровно половина видимого диска. Найдите расстояние от Марса до Земли в момент наблюдения, если известно, что Земля и Марс находятся на расстоянии 150 и 245 миллионов километров от Солнца соответственно.
4. Каков промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями Фобоса, наблюдаемыми на Марсе? Солнечные сутки Марса $24^{\text{h}}39^{\text{m}}$. Звездный период обращения Фобоса равен $7^{\text{h}}39^{\text{m}}$.

V. § 18. Упр. 16 №1-2

1. Готовится автоматическая станция – аэростат для исследования атмосферы Венеры. Какой газ можно предложить для наполнения баллона: водород, гелий, азот, водяной пар, углекислый газ?
2. На Венере настолько густая облачность, что не видно небесных светил. Можно ли, находясь на Венере, убедиться в ее вращении вокруг своей оси и определить направление этого вращения?

Временная пауза в космических исследованиях планет позволит теоретикам разобраться с наблюдениями, а наблюдателям и инженерам подготовиться к последующим этапам исследований. То, что мы знаем сегодня, это лишь начало.

Ф. Уипл

Урок 30.

ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ

При помощи обруча и лысого мальчика учитель астрономии показал детям Сатурн.

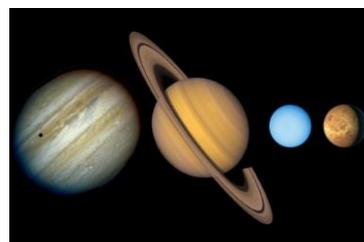
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с физическими особенностями и химическим составом планет-гигантов; системами спутников планет и кольцами планет.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм «Планеты-гиганты», кинофильм «Планетная система».

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Планета Меркурий. 2. Планета Венера. 3. Планета Марс.

Задачи:

1. Планета Корусант обращается вокруг своей звезды по круговой орбите за 368 земных суток. Звезда – жёлтый карлик с массой 0.8 массы Солнца. Определите расстояние от планеты до звезды.

2. Каков синодический период Деймоса, для наблюдателя, находящегося на Марсе?

3. Фобос - внутренний спутник Марса - отстоит от его центра на 2,8 радиуса планеты. Диаметр Марса составляет 2 диаметра Луны. Во сколько раз угловой диаметр Марса, видимый с Фобоса, кажется больше, чем нам кажется диаметр Луны?

Фобос обращается на высоте в 6 тысяч километров над поверхностью Марса, который совершает оборот вокруг своей оси за 24 часа и 40 минут. Поэтому восход Фобоса на Марсе можно наблюдать над западным горизонтом три раза в сутки.

Вопросы:

1. Почему невозможно рассмотреть поверхность Венеры в телескоп?

2. Почему терминатор Венеры при наблюдении его с Земли имеет форму дуги эллипса?

3. К западу или к востоку от Солнца находится Венера, если она наблюдается утром?

4. При каких конфигурациях диск верхней планеты имеет наибольший ущерб?

5. Венера вступила в тесное соединение с Марсом. У какой из этих двух планет видимый диаметр в это время больше?

6. Из-за чего потеряли атмосферу Луна и Меркурий?

7. Какая из планет земной группы больше других по размерам; массе; плотности?

8. В чем сходство и в чем различие атмосфер (поверхностей) планет земной группы?

9. Как делится на климатические пояса поверхность планеты, ось которой образует с плоскостью орбиты угол около 65° .

10. Уильям Гершель в 1783 г. писал: «Сходство между Марсом и Землей, быть может, наибольшее сравнительно со всеми другими членами Солнечной системы». Придерживаются ли такого же взгляда современные астрономы?

V. Планеты - гиганты (объяснение по кадрам диафильма).

Заполнение таблицы. Юпитер и Сатурн – газовые гиганты!

Планета	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Среднее расстояние до Солнца	5,2 а.е.	9,54 а.е.	19,2 а.е.	30,1 а.е.
Период обращения по орбите	11,86 года	29,54 года	84 года	165 лет
Средние солнечные сутки	9 ч 50 мин	10 ч 14 мин	24 ч	22 ч
Диаметр в ед. диаметра Земли	11,21	9,45	4,01	3,88
Масса в единицах массы Земли	318	95,16	14,5	17,2
Средняя плотность	1,33 г/см ³	0,7 г/см ³	1,3 г/см ³	1,76 г/см ³
Количество спутников	69	62	27	8

Сходство и различие планет гигантов.

Юпитер — самая большая планета Солнечной системы. Его радиус в 11 раз превышает земной, а масса — в 2,5 раза превышает массу всех планет Солнечной системы вместе взятых. Атмосферу Юпитера делят на три слоя. Внешний слой состоит из водорода, средний состоит из него на 90% и еще на 10% из гелия. В нижнем слое атмосферы к ним добавляются так же примеси аммиака, гидросульфида аммония и вода. За атмосферой следует слой металлического водорода. Для него характерны колоссальные давления и температуры — 10^6 - 10^7 атм и 6500 - 21000 К. Толщина этого слоя оценивается в 42-47 тысяч км. Мощные электроток, которые в нем возникают, создают на планете сильное магнитное поле. Вокруг полюсов находятся устойчивые полярные сияния. В центре планеты находится большое каменное ядро — его масса и радиус составляют около 10 земных масс и 1,5 земных радиусов. У Юпитера 69 спутников. Приливные силы мяли и растягивали ближайший спутник, поэтому он терял лед, из которого образовались кольца, а твердая порода падала на Юпитер. Лед нарастал на других спутниках и остатки последнего упавшего сверкают в виде колец.



Сатурн — вторая по своим размерам планета Солнечной системы. Больше всего в атмосфере водорода — 96% — так же в ней есть 3% гелия и различные примеси аммиака, метана, фосфина и некоторых других газов. На глубине 30000 км водород становится металлическим, а циркулирующие в нем электрические токи создают магнитное поле, правда намного меньшее, чем магнитное поле Юпитера. В центре планеты находится твердое ядро из льда и тяжелых металлов, за счет которого Сатурн излучает энергию в 2,5 раза большую, чем энергия, получаемая им от Солнца. У Сатурна 62 спутника. Самый крупный спутник Сатурна — Титан.

Титан был открыт 25 марта 1655 года голландским физиком, математиком и астрономом Христианом Гюйгенсом. При сопоставимых размерах с Меркурием и Ганимедом, Титан обладает обширной атмосферой, толщиной более 400 км. По современным оценкам атмосфера Титана состоит на 95 % из азота и 4 % метана, атмосферное давление у поверхности в 1,5 раза больше чем у Земли.

На еще одном спутнике, Энцеладе, наблюдается геологическая активность — из-под толстого слоя льда на поверхности бьют мощные ледяные гейзеры. Из-за огромного океана внутри спутника он считается наиболее пригодным для жизни местом за пределами Земли внутри солнечной системы. Энцелад отражает 81% видимого света, чистый снег на Земле и то хуже отражает свет. Какой же снег лежит на поверхности маленького Энцелада?

Уран является одной из самых холодных планет в Солнечной системе (температура поверхности опускается до -224 градусов Цельсия), внимание она привлекает еще и своим набором из двух темных колец, а также наличием 27 спутников, названных в честь шекспировских героев. Уран и Нептун - ледяные гиганты! С экваториальным радиусом в 24 764 километра (меньше всех других газовых гигантов в Солнечной системе), Нептун массивнее Урана на 18%. Почему? Крупнейший спутник Нептуна Тритон движется вокруг планеты по ретроградной орбите. Это значит, что его орбита вокруг планеты лежит задом наперед по сравнению с другими лунами. У Нептуна пять колец, и каждое названо в честь астрономов, которые сделали важные открытия о Нептуне: Галле, Леверье, Ласселл, Араго и Адамс. **Эволюция планет-гигантов.**

Наступит и то время, когда космический корабль с людьми покинет Землю и направится в путешествие. Надежный мост с Земли в космос уже перекинут запуском советских искусственных спутников, и дорога к звездам открыта!

С. П. Королёв

IV. Демонстрация кинофильма "Планетная система", ч. 2

Задачи:

1. Принимая во внимание, что ось вращения Урана располагается в плоскости его орбиты, опишите смену дня и ночи и смену времен года на этой планете, если период ее вращения вокруг оси равен $10,8^h$, а период обращения вокруг Солнца составляет 84 земных года.
2. Первый спутник планеты Юпитер - Ио обращается вокруг нее за 42^h28^m на среднем расстоянии 421800 км. С какими периодами обращаются вокруг Юпитера его спутники Европа и Ганимед, большие полуоси орбит которых равны 671,1 тыс. км и 1070 тыс. км?

Вопросы:

1. Почему Сатурн при меньшей скорости вращения вокруг оси более сжат у полюсов, чем Юпитер?
2. Чем отличаются планеты земной группы от планет-гигантов?
3. У какой планеты Солнечной системы плотность вещества меньше плотности воды?
4. Какими способами можно обнаружить планеты у других звезд?
5. Какая планета вращается вокруг своей оси быстрее всех других планет?
6. Что стало бы с Солнечной системой, если бы масса Солнца мгновенно уменьшилась вдвое?
7. У какой из планет Солнечной системы самая маленькая орбитальная скорость?
8. Какая планета имеет среднюю плотность меньшую, чем плотность воды?

V. § 19

1. Подходящее ли место для космической колонии Титан, спутник Сатурна?

2. Какие из спутников Юпитера и Сатурна можно было бы со временем колонизировать? Почему?
3. Почему Деймос приближается к Марсу, а Фобос отдаляется?

Пути, которыми люди проникают в суть небесных явлений, представляются мне почти столь же удивительными, как и сами эти явления.

Иоганн Кеплер

Урок 31.

МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЕЁ ПРОИСХОЖДЕНИИ.

ЦЕЛЬ УРОКА: Обобщить и развить представления учащихся о строении и эволюции Солнечной системы, физической природе астероидов и комет.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Малые тела Солнечной системы", кинофрагмент "Движение кометы вокруг Солнца".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. Опрос фундаментальный: 1. Планета Юпитер. 2. Планета Сатурн. 3. Планеты Уран и Нептун.

Задачи:

1. Каков диаметр большого Красного пятна на Юпитере и диаметр радиационного пояса планеты, если пятно видно с Земли под углом около $10''$, а радиоизлучение планеты наблюдается из окружающего ее пространства вплоть до расстояния в $13,7'$ от центра ее диска. Горизонтальный параллакс Юпитера принять равным $2,09''$.
2. Предположим, что Земли и Нептун находятся приблизительно на одной прямой между Солнцем и ближайшей звездой. На сколько ярче казалась бы звезда с Нептуна, чем с Земли?

Вопросы:

1. Что такое "парад планет"?
2. Что общего у всех планет?
3. В чем сходство и в чем отличие планет земной группы от планет-гигантов?
4. Какой вид имеет спектр быстро вращающейся планеты, если щель спектрографа направлена вдоль ее экватора?
5. Почему на дисках планет-гигантов не видно постоянных деталей?

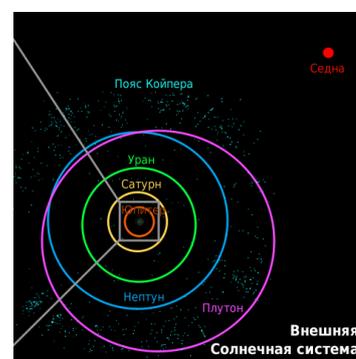
III. "Правильное" возрастание расстояний планет от Солнца и пробел между орбитами Марса и Юпитера. Поиски новой планеты (итальянский монах Джузеппе Пьяцци 1 января 1801 года обнаружил первый **астероид**). По трем положениям планеты, перемещающейся на фоне звезд, Гауссу удалось

рассчитать параметры ее орбиты, по которым она вновь была обнаружена через год (Церера - богиня-покровительница острова Сицилия). Вереница открытий (Паллада - 1802 год, 1804 – Юнона, 1807 – Веста). Предположение Ольберса о существовании **пояса астероидов** - осколков планеты - Фэтона.

В настоящее время открыто около 3000 астероидов - **карликовых планет**. В нашей солнечной системе есть пять признанных карликовых планет. Это Церера, Плутон, Эрида, Макемаке и Хаумеа. Всего в Солнечной системе около 780290 астероидов, но не все они сделаны из одного и того же материала. Ученые разделили их на три разные группы в зависимости от состава - они могут быть металлическими, каменистыми или состоять из пород, которые больше похожи на глину или содержат кремний. Некоторые из них проще сравнить с несущимися в пространстве грудками гравия и песка.

Суммарная масса астероидов оценивается в 0,1 массы Земли, а размеры их от 1000 км в поперечнике у Цереры до нескольких километров. Вытянутость орбит некоторых астероидов и возможность их столкновения с Землей (Икар). На сегодняшний день потенциально опасными считаются небесные тела размером более ста метров, приближающиеся к Земле на расстояние шести миллионов километров. Таких кандидатов на столкновение насчитывается более тысячи. Гипотезы о происхождении астероидов. Многие астероиды являются осколками некогда существовавших планетезималей, которые так и не смогли собраться в ещё одну большую планету из-за дестабилизирующего гравитационного влияния соседа-гиганта Юпитера. Астрономы обнаружили астероиды и у Марса в XIX веке. Назвали их Фобос и Деймос. Фобос так быстро вращается вокруг красной планеты, что за одни местные сутки можно дважды наблюдать заход и восход этого интересного астероида.

Пояс Койпера окружает Солнечную систему концентрическим кольцом на расстоянии 30 – 50? а.е. от Солнца. Он образовался ещё в эпоху молодого Солнца и большинство его объектов старше Земли. Число объектов, обнаруженных в этом поясе, перевалило за 1300. Обнаруженные объекты имеют размеры от 100 до 1000 километров в диаметре. Среди них Плутон (в зависимости от положения Плутона на



орбите солнечный свет идет до него от 4 до 7 часов), Эрида, Кваовар (диаметр около 1200 км), Макемаке и Хауме (диаметр больше 1200 км), Иксион (обнаруженный в 2001 году) и Варуна (диаметр около 500 км). Почти у трети астероидов есть спутники. Плутон и его пять спутников напоминают миниатюрную солнечную систему. Из этой области к нам прибывает большее

количество короткопериодических комет, чей орбитальный период составляет меньше 200 лет.

Кентавры – ледяные небесные тела, чьи орбиты беспорядочно заполняют пространство между Нептуном и Юпитером. Помимо этого, как полагают ученые, на краю Солнечной системы на расстоянии 50 а.е. до 100 тыс. а. е. от Солнца находится множество небесных тел из **облака Оорта** (возможный приют для



долгопериодических комет). До сих пор на таком большом расстоянии удалось обнаружить лишь одну карликовую планету, названную Седна. Седна даже в перигелии (76 а.е.) не входит в пояс Койпера, а в афелии удаляется от Солнца на 978 а.е. и таким образом делает полный оборот вокруг Солнца за 12000 лет. Пока считают, что солнечная гравитация простирается на 125 000 а.е. и это можно считать пределами Солнечной системы. Вояджер доберется к облаку Оорта не раньше, чем через 300 лет.

Метеоры, болиды и метеориты. Метеоры - это небольшие частички, буквально пыль, которая сгорает на высоте от 80 до 100 километров под действием трения среды в чрезвычайно разреженной стратосфере. Скорость метеора в момент разрушения может достигать трёхсот тысяч километров в час. Если метеор смог прорваться до нижних слоёв атмосферы, то вокруг



объекта образуется светящийся шар, за которым тянется шлейф из пыли и ионизованных газов. Это явление называется **болидом**. Если тело, образовавшее болид достаточно крепкое, тогда по мере спуска свечение шара ослабевает и на поверхность падает тёплый оплавленный **метеорит**.

Три типа метеоритов: каменные, железные, железокаменные. Большинство метеоритов — это каменные породы, называемые хондритами. Хондриты отличаются от обычных камней тем, что содержат круглые зёрна, называемые хондрулами, которые образовались в виде расплавленных капель в космосе при зарождении Солнечной системы 4,5 млрд. лет назад. Железные метеориты отличаются тёмной коркой, образовавшейся в результате плавления поверхности при прохождении через атмосферу, и внутренним узором из длинных металлических кристаллов. Химический состав метеоритов. Метеориты входили в состав Солнечной системы. Гипотезы о происхождении. Метеориты вполне могли входить в состав разрушившейся планеты.

Метеоритные кратеры на Земле (Аризонский - диаметр 1200 м и глубина 200 м).

Члены Парижской академии наук в конце XVIII века издали указ: гнать в шею всех проходимцев, которые будут приносить оплавленные камни, утверждая, что они упали с неба. Камни не могут падать с неба!

Кометы. В нашей Солнечной системе известных комет намного меньше, чем астероидов - 3526.

*Восемь толкований возможны для кометы,
Когда она появляется на небе;
Ветер, подорожание, чума, война,
Засуха, землетрясение, конец света,
Смерть владыки.*

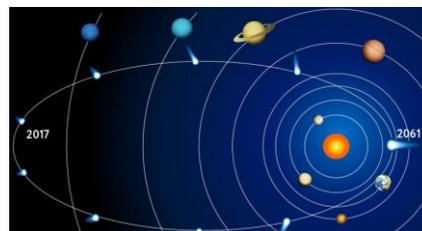
Шекспир

Многие долгопериодические кометы имеют периоды, измеряемые десятками и сотнями тысяч лет, и в афелии уходят от Солнца на десятки и сотни тысяч астрономических единиц.

Первые успехи теории Ньютона обнаружались при изучении комет.

Галлей и комета Галлея (период обращения 75 - 76 лет, имеет эксцентриситет орбиты 0,967). Комета снова пройдёт мимо Земли 26 июля 2061 года.

Физическая природа комет и их эволюция: ядро (у кометы Галлея 15×10 км), **голова и хвост кометы**. Вдали от Солнца кометы – безжизненные, ледяные тела, которые представляют собой нечто вроде грязного комка снега диаметром десятки километров или всего пару километров. Центральное тело кометы чаще неправильной формы, состоит из смеси газовых льдов, твёрдых частиц разных размеров и совсем уж мелкой пыли, имеет кору темного цвета (очень похоже на шарик ванильного мороженого, политый шоколадом). Но стоит только Солнцу немного нагреть поверхность ядра при его приближении, как из него в окружающее пространство начинают вырываться струи газа и пыли. Газ и пыль образуют вокруг ядра что-то вроде туманного светящегося облака, которое называется кома. Под воздействием солнечного ветра пылевые частицы отбрасываются в направлении, противоположном Солнцу, формируя пылевой хвост кометы. Когда комета приближается к Солнцу, ее хвост (или хвосты) развеваются за ней, но когда комета удаляется от Солнца, ее хвосты следуют впереди нее. Таким образом, комета ведет себя по отношению к Солнцу, как придворный — по отношению к императору: никогда не поворачивается к своему господину спиной. Химический состав комет (лед, углерод, кислород, аммиак, метан, железо, натрий). Пыли много больше, чем льда. Во время путешествия вокруг Солнца комета непрерывно высвобождает газ и пыль, которые формируют вокруг нее своеобразный ореол. Это явление объясняется сублимацией льдов, которые содержатся в комете: они переходят напрямую из твердого состояния в газообразное состояние. Анализируя орбиты долгопериодических комет, учёные поняли, что на расстояниях тысяч и десятков тысяч астрономических единиц от Солнца должен существовать резервуар из триллионов кометных ядер (облако Оорта $5000-100000$ а.е.).



Каким образом были определены границы этого облака? Кометы, которые приходят к нам напрямую из облака Оорта (динамически новые кометы, которые впервые посещают внутреннюю часть Солнечной системы) распределены на небе абсолютно случайно. То есть они не преобладают в плоскости эклиптики, как астероиды или короткопериодические кометы.

Особенности структуры кометного ядра указали на то, что «строительные блоки» планет (планетезимали) формировались в процессе постепенного слияния под действием гравитации множества зерен пылевой «гальки» размером от миллиметров до нескольких сантиметров.

Метеоры и метеорные потоки, сателлиты кометы.

Гипотезы о происхождении Солнечной системы:

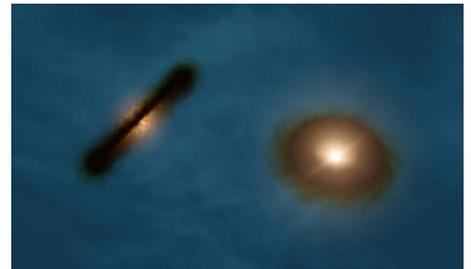
- **Гипотеза И. Канта** (возникновение Солнечной системы из облака холодных пылинок, окружающих Солнце). Кант считал, что солнечная система возникла из некой первичной материи, до того свободно рассеянной в космосе. Частицы этой материи перемещались в различных направлениях и, сталкиваясь друг с другом, теряли скорость. Наиболее тяжелые и плотные из них под действием силы притяжения соединялись друг с другом, образуя центральный сгусток - Солнце, которое, в свою очередь, притягивало более удаленные, мелкие и легкие частицы.
- **Гипотеза Лапласа.** В 1796 году французский математик и астроном Пьер-Симон Лаплас выдвинул теорию, несколько отличную от предыдущей теории. Лаплас полагал, что Солнце существовало первоначально в виде огромной раскаленной газообразной туманности (небулы) с незначительной плотностью, но зато колоссальных размеров. Эта туманность, согласно Лапласу, первоначально медленно вращалась в пространстве. Под влиянием сил гравитации туманность постепенно сжималась, причем скорость ее вращения увеличивалась. Возрастающая в результате центробежная сила придавала туманности уплощенную, а затем и линзовидную форму. В экваториальной плоскости туманности соотношение между притяжением и центробежной силой изменялось в пользу этой последней. В конечном счете, масса вещества, скопившегося в экваториальной зоне туманности, отделилась от остального тела и образовала кольцо. От продолжавшей вращаться туманности последовательно отделялись все новые кольца, которые, конденсируясь в определенных точках, постепенно превращались в планеты и другие тела солнечной системы.

То, что мы знаем, так ничтожно по сравнению с тем, что мы не знаем.

Лаплас

- **Гипотеза О.Ю. Шмидта** (возникновение Солнечной системы из вещества холодного газопылевого облака, частицы которого обращались по самым различным орбитам вокруг Солнца). Согласно О. Ю. Шмидту наша планетная система образовалась из вещества, захваченного из газовой-пылевой туманности, через которую некогда проходило Солнце, уже тогда имевшее почти "современный" вид.
- **Гипотеза Хойла** (отделение газопылевого облака от Солнца в то время, когда его диаметр в сорок раз превышал нынешний).
- **Современные модели.** Как первичное облако газа развивается под действием собственной гравитации в планетную систему, как такие кольца образуются и эволюционируют, порождая планеты? На заре своего существования в Солнечной системе насчитывалось несколько сотен планетарных эмбрионов. В ходе последующих столкновений их размер постепенно увеличивался, а количество уменьшалось. В итоге уцелела лишь горстка объектов, давших начало нынешним планетам Солнечной системы.

Три основных гипотезы образования Луны.



- 1) Столкновение Земли с другой планетой. Луна образовалась из-за того, что некий небесный объект врезался в молодую Землю. Чуть позже гипотетический объект, который столкнулся с Землей, назвали Тейей.
- 2) Одновременное образование Луны и Земли. Эту гипотезу в 1785 году ее выдвинул немецкий философ Иммануил Кант. Он предположил, что Луна и Земля образовались из газообразного материала (пылевой туманности), они — планеты-«сестры», сформировавшиеся примерно в одно время.
- 3) Гипотеза Г. Ольберса. Эта гипотеза допускает, что между орбитами Марса и Юпитера существовала планета Фазтон, которая разрушилась после столкновения с крупной кометой. К тому моменту у Фазтона уже было сформировано начальное железное ядро, а также нечто подобное мантии и прообразу коры планеты. Во время мощного удара планета раскололась на части. Из осколков, которые были ближе к поверхности, возникли силикатные сгустки, а из других, изначально находившихся около центра планеты, образовались железные и металлические астероиды. Кроме небольших астероидов, от Фазтона могли отколоться и более крупные части, одной из которых стала Луна. Некоторые из них, к примеру, Паллада, остались на орбите главного пояса астероидов, а другие были захвачены гравитационными полями соседних планет.

Дополнительная информация. В соответствии с теорией, термоядерное горение в ядре массивной звезды заканчивается синтезом ядер никеля-56. Это радиоактивный изотоп, который в течение нескольких дней за два акта распада становится железом-56. Через несколько часов после того, как пошел синтез никеля, звезда взрывается и возникающие чудовищные потоки нейтронов, попадая в ядра железа и более легких элементов, нагоревших в звезде, создают все более тяжелые элементы. Межзвездные ветра разносят получившийся газ по галактике, и где-то в местах их завихрений формируются облака. Сжимаясь, они порождают новые звезды уже с повышенным содержанием тяжелых металлов, а также металлосодержащие планеты вроде Земли: собственно, весь земной уран - это пепел взорвавшейся материнской звезды. Примером является звезда HD 101065, расположенная в созвездии Центавра на расстоянии 355 световых лет от Земли, которая имеет совершенно фантастический состав - в ней есть уран, торий, а также совершенно экзотические актиноиды вроде эйнштейния, америция или кюрия. Для их получения на земле требуются мощные ускорители и технологии. Причем не считанные атомы, а миллионы или даже миллиарды тонн — иначе мы бы их спектральные линии не разглядели.

Солнце – звезда третьего поколения. Сверхновая звезда в окрестностях Солнца. Набор массы Солнцем и формирование протопланетного диска происходили одновременно. Газ и пыль протозвезды имели значительный момент вращения: он появился из-за орбитального движения. Поэтому было некоторое направление, в котором частиц двигалось больше, чем в любом другом. Общий момент импульса, представляет собой векторную сумму всех моментов импульсов отдельных частиц, и задает направление и скорость вращения замкнутой системы вокруг ее центра масс. При движении «вверх» и «вниз» относительно общего направления вращения системы частицы пыли и газа сталкиваются: импульсы частиц движущихся во всех направлениях кроме основного со временем нивелируются и остаются только частицы, движущиеся в том самом основном направлении. То есть общее движение частиц в «вертикальной» плоскости компенсируется и стремится к нулю. При этом устанавливается такое распределение частиц в пространстве и по скоростям, при котором вероятность столкновений наименьшая. Такое состояние соответствует движению в плоскости по круговым орбитам. **Распределение вещества в Солнечной системе.** Нагреваемый молодой звездой протопланетный диск в центре значительно горячее, чем по краям, куда солнечным лучам приходится добираться дольше. Вблизи от Солнца, внутри орбиты Меркурия, температура превышает 2000°C. Под ее воздействием все твердые тела испаряются, в результате чего образуется пространство без пыли. По мере удаления от звезды температура падает до 1500°C, что создает условия для формирования первых частичек пыли из металлов, включая железо, никель и алюминий. На орбите Земли, то есть

на расстоянии 1 а. е., к ним присоединяются силикаты, а когда температура опускается ниже точки замерзания, появляются льды. Первый лед, который образуется в процессе затвердевания, — лед из чистой воды, состоящей из водорода и кислорода. Дальнейшее понижение температуры приводит к образованию других льдов на основе водорода, включая твердый метан и аммиак. После того как из окружающих Солнце газа и пыли сформировалось несколько миллиардов планетезималей, все эти объекты принялись сталкиваться друг с другом, соединяться и создавать более крупные объекты, чтобы в конце концов образовать собой четыре внутренние планеты Солнечной системы и ядра ее четырех внешних планет-гигантов. Этот процесс занял несколько миллионов лет. Масса Солнца составляет 99.2 % массы всей солнечной системы.

Планетные системы у других звезд. Можно представить звезду и большую планету как партнеров, кружащихся в танце, держась за вытянутые руки. По «раскачиванию» звезды можно оценить массу планеты. Предлагаются и другие, более передовые методы обнаружения еще большего количества планет. Один из них — это поиски планеты в тот момент, когда она затмевает свою материнскую звезду, что ведет к некоторому снижению ее яркости. Телескоп «Кеплер» специализируется на поиске планет и наблюдает за сотнями тысяч звезд одновременно, фиксируя падение их яркости. Греческий философ Демокрит, который выдвинул гипотезу существования атомов, писал: *«Есть миры, бесконечные в своем количестве и разнообразные по размерам. В некоторых из них нет ни солнца, ни луны. В других больше одного солнца и луны. Расстояния между мирами неодинаковы, в некоторых направлениях их больше... Их разрушение происходит из-за столкновений между собой. Некоторые миры лишены животной и растительной жизни и всякой влаги»*. С нынешними скоростями до ближайшей экзопланеты пришлось бы лететь 75 тысяч лет. Экзопланетами сложно не восхищаться вслед. Есть планеты с такими вытянутыми траекториями, что смена времен года на них похожа на прыжок из печки в холодильник. Есть планеты, над которыми никогда не заходит солнце. Есть планеты с такой высокой температурой, что от жары там испаряются горные породы. Базальты и граниты клубятся каменными облаками и, остывая, проливаются дождем, где вместо капель — булыжники. Есть планеты, на одной половине которых есть атмосфера, а на другой — нет. Есть планета, которая вначале была звездой. Размер и масса планеты могут влиять на то, насколько хорошо она может поддерживать жизнь. Планета, которая на 10% шире Земли, будет иметь более пригодную для жизни землю. Можно ожидать, что планета, масса которой примерно в 1,5 раза больше массы Земли, дольше сохранит внутреннее тепло, что, в свою очередь, поможет сохранить его ядро в расплавленном состоянии и активные защитные магнитные поля. Более тяжелая планета также будет иметь более сильную гравитацию, что поможет сохранить атмосферу в течение более длительного периода времени.

То, что однажды произошло на Земле, должно повторяться во Вселенной миллионы раз: для научного мира это предмет веры.

Артур Кларк

Жизнепригодность — пригодность небесного тела для возникновения и поддержания жизни. Сейчас жизнь известна только на Земле и ни одно небесное тело нельзя уверенно признать пригодным для жизни, — можно только оценивать степень этой пригодности на основе степени сходства условий на нём с земными условиями. Таким образом, особый интерес для поиска жизни, подобной земной, представляют планеты и спутники планет с условиями, подобными земным. Условия на небесных телах определяются факторами, некоторые из которых для многих тел известны, — физическими характеристиками (в частности массой и строением), химическим составом, и орбитальными характеристиками, а также параметрами звезды, вокруг которой это тело обращается. Исследованиями в этой области занимается относительно молодая наука — астробиология.

*...кто там в эфире,
Бывает ли любовь и ненависть у них,
И есть ли там, в мирах чужих,
И низ, и верх, как в этом мире!*
«Фауст» И. В. Гёте

Потенциально жизнепригодные планеты.

- **Жизнепригодная планета.** В таком мире мы могли бы выйти из звездолёта без скафандра и объявить, что планета готова для заселения. Колонизация такой планеты должна быть сопоставима по сложности с освоением Австралии для британцев в XVIII веке.
- **Биосовместимая планета.** Для такой планеты характерны благоприятные физические и химические показатели: тектоническая стабильность, жидкая вода на поверхности, кларки химических элементов, близкие к земным. Если засеять такую планету биоматериалом, то на ней могла бы сформироваться сложная жизнь, подобная земной.
- **Удобная для терраформирования планета.** Это планета, которую можно сравнительно ограниченными ресурсами перевести в категорию биосовместимых. Предполагается, что доставить эти ресурсы на неё мог бы наш звездолёт или подготовительная роботизированная экспедиция.

IV. Демонстрация кинофрагмента "Движение кометы вокруг Солнца".

Задачи:

1. Какова большая ось орбиты кометы Галлея, если период ее обращения 76 лет?
2. Болид, замеченный на расстоянии 0,5 км от наблюдателя, имел видимый диск вдвое меньше лунного. Каков был его действительный диаметр?
3. С помощью третьего закона Кеплера вычислите период кометы, афелий которой находится на расстоянии 140000 а.е., что составляет около половины расстояния до известной ближайшей звезды.
4. Астероид Икар в перигелии оказывается внутри орбиты Меркурия и каждые 19 лет сближается с Землей. Его большая полуось составляет 1,8 а.е. Определите звездный период его обращения.
5. Иногда комета Галлея подходит близко к Земле. При этом один оборот вокруг Солнца она делает за 75 лет. На какое максимальное расстояние она может удалиться от Солнца?
6. Комета вращается по эллиптической орбите, на которой максимальное расстояние до Солнца в 9 раз больше минимального, а минимальная скорость кометы равна 6 км/с. Чему равна максимальная скорость кометы на этой орбите?
7. У кометы, проходившей недалеко от Земли, горизонтальный параллакс был 14,1", угловой диаметр головы 15' и видимая длина хвоста 8°. Вычислить линейные размеры головы и нижний предел длины хвоста кометы.
8. Комета движется по эллипсу, имеющему эксцентриситет $e = 0,5$. Во сколько раз ее скорость в перигелии больше, чем в афелии?
9. Экспедиция на астероид Пациенция увенчалась успехом, и на его

поверхность спущен «астероидоход». Диаметр астероида 225 км, его масса $1,2 \cdot 10^{19}$ кг. Оцените максимально допустимую скорость аппарата на поверхности Пациенции и время его «кругосветного путешествия». Для оценки астероид можно считать однородным и сферическим.

10. Метеорный поток Леониды резко усиливается раз в 33 года. Найдите афелийное расстояние кометы, прародительницы потока.
11. Экзопланета втрое массивнее Юпитера и обращается на расстоянии 1 а. е. вокруг звезды с массой Солнца. Каковы амплитуда и период колебаний лучевой скорости звезды для наблюдателя, расположенного в плоскости орбиты экзопланеты?
12. Доказать, что комета, движущаяся по параболе с минимальным расстоянием от Солнца, должна употребить $k \cdot q^{3/2}$ времени, чтобы описать 90° после перигелия? Выразите это время в сутках.

Период обращения кометы не зависит от длины малой полуоси ее орбиты!

13. Прохождение планеты по диску звезды солнечного типа длится 6 часов, падение блеска $0,001^m$. Найдите диаметр планеты и расстояние от звезды до планеты.
14. Определите скорости искусственных спутников Луны, Марса и Земли, обращающихся на круговых орбитах вокруг них на высоте 250 км. 1,57 км/с; 3,43 км/с; 7,74 км/с.
15. В далёком будущем исследователи космоса высаживаются на поверхность планеты Gliese 581c, обращающейся вокруг звезды Gliese 581 на расстоянии 0.07 а. е. Радиус звезды составляет 0.3 радиуса Солнца. Каким будет видимый угловой диаметр звезды при наблюдении с планеты? $2,3^\circ$

Вопросы:

1. Как определили, что некоторые астероиды имеют неправильную, угловатую форму?
2. Объясните, почему Титан – спутник Сатурна, смог сохранить свою атмосферу, а Меркурий – нет?
3. После захода Солнца на западе находится комета. Как относительно горизонта направлен ее хвост?
4. Как можно доказать, что действительно звезды с неба не падают?
5. Какие наблюдения доказывают, что кометы не находятся в земной атмосфере, как это полагали в древности?
6. Предложите обоснованный проект защиты Земли от астероидов и других, опасных для жителей Земли небесных тел.
7. Может ли комета, периодически возвращаясь к Солнцу, вечно сохранять свой вид неизменным?
8. Почему у каменистого космического тела диаметром меньше 1 км

недостаточно массы, чтобы обеспечить силу, необходимую для удержания составляющих его частей?

9. Почему тип космической пыли, из которой формируется планета, зависит от расстояния до Солнца?
10. Что общего и в чем различия между планетой и кометой?
11. В кинофильме «Конец света» есть кадр, в котором над полной Луной протянулась комета, выгнувшись от головы до кончика хвоста, как бровь над глазом. Оцените эту режиссерскую находку с точки зрения астрономии.
12. В какой точке орбиты кометы ее кинетическая энергия максимальна, а в какой минимальна? А потенциальная?
13. Чем отличается метеор от метеорита?
14. Может ли Земля столкнуться с кометой; с астероидом; с планетой?
15. Как определяют возраст земной коры, лунных пород, метеоритов?
16. Почему полные солнечные затмения очень интересны для наблюдателей комет?
17. Где граница Солнечной системы?
18. Могут ли такие "небольшие камни", как астероиды, иметь свои спутники?
19. Как образовалась Земля и другие планеты (гипотезы)?

V. §§ 20, ст. 101, 1-8.

1. Облако Оорта – гипотетическая сферическая область Солнечной системы, в которой большую часть времени «обитают» долгопериодические кометы. Внешняя часть облака Оорта представляет собой сферический слой, центр внутренней и внешней границ которого совпадают с Солнцем, их радиусы равны 20 тыс. и 120 тыс. а. е. В этой области насчитывается около 10^{13} кометных ядер, характерный поперечный размер которых составляет 1,3 км. Вычислите характерный объем кометного ядра в км^3 . Определите полную массу кометного вещества облака, если полагать, что средняя массовая плотность этих ядер равна 500 кг/м^3 .
2. Сколько времени нужно для того, что бы добраться до любой планеты Вселенной?
3. Возможно ли существование тел Солнечной системы с периодом обращения в 1 миллион лет?
4. Провести визуальное наблюдение метеорного потока Лирид (18 - 25 апреля, максимум 21 апреля) или Акварид (21 апреля - 9 мая, максимум 4 мая).
5. Нарисуйте в пропорции, как Вы представляете себе Солнечную систему. Из каких объектов она состоит?
6. В атмосферу Земли влетает метеороид массой 100 т со скоростью 40 км/с и полностью испаряется. Какая при этом выделится энергия?
7. Как найти минимальное расстояние от Солнца до Нептуна при его движении по орбите?
8. Если все масштабы уменьшить так, что Земля станет размером с глобус диаметром 30 см, то как далеко в этом масштабе окажется Луна; Солнце; Марс; ближайшая к Солнцу звезда; Туманность Андромеды?

Где мысль сильна – там дело полно силы.

Шекспир

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Урок 32.

Вам хочется познакомиться с зеленоглазыми инопланетными красотками с Бетельгейзе?

Чтобы познать суть, меру и связь явлений, надо погасить в себе суетность.

Пифагор

Дополнительные задачи и вопросы:

1. Предположим, что во Вселенной есть только две одинаковые галактики с массой 10^{12} масс Солнца, изначально не двигающиеся друг относительно друга. На каком расстоянии их ускорение обратится в нуль? Плотность темной энергии составляет 0,70 от современной критической плотности Вселенной.
2. Каким образом конвективное движение расплавленного никеля и железа в ядре и вращение планеты объединяются для создания земного поля?
3. В далекой галактике с красным смещением 0.1 вспыхнула сверхновая звезда. Телескоп с каким диаметром объектива понадобится для ее визуальных наблюдений? Межзвездным поглощением света, атмосферными помехами и абберациями оптики пренебречь.
4. Абсолютная звездная величина двойной звезды равна 0,8, ее период обращения 200 лет. Масса звезды в 3,6 раз больше массы Солнца. Компоненты звезды отстоят от общего центра масс на расстояниях, относящихся как 3 к 5. Данная звезда ярче звезды 2,9 звездной величины в 11 раз и в 37 раз больше Солнца. Пространственная скорость звезды равна 41 км/с. В спектре звезды линия, соответствующая длине волны 480 нм, смещена к красному концу спектра на $2,8 \cdot 10^{-8}$ мм. Определить: видимую звездную величину звезды ($0,3^m$), расстояние до звезды в парсеках (6,9 пк) и световых годах (22,5), параллакс ($0,18''$), лучевую (16,9 км/с) и тангенциальную (37,4 км/с) скорость, собственное движение звезды ($1,4''$), светимость (39,8), температуру (2390 К), большую полуось орбиты в астрономических единицах (51,3), большую полуось видимой орбиты в секундах дуги ($7,4''$), массы компонентов двойной звезды в отдельности ($m_1 \approx 2,4 m_\odot$; $m_2 \approx 1,4 m_\odot$).

Выберите верные утверждения.

1. Скорость движения Земли по орбите больше, чем скорость Меркурия.
2. Кольца есть только у двух планет Солнечной системы.
3. Глядя на Солнце глазом, мы видим его фотосферу.
4. Серебристые облака являются самыми высокими облаками в земной атмосфере.
5. Кассиопея – экваториальное созвездие.
6. Луна – самый крупный спутник в Солнечной системе.
7. Юпитер – самая большая планета Солнечной системы.
8. Сириус ярче Полярной звезды.
9. Самой горячей частью атмосферы Солнца является солнечная корона.

Надо наблюдать, чтобы понять, и стараться понять, чтобы действовать.

Ромен Роллан

Урок 33-34.

**ИТОГОВЫЙ ЗАЧЕТ ПО АСТРОНОМИИ ИЛИ ЭКЗАМЕН.
ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ**

Экзаменатор - специалист по оценке знаний.

*Вселенная не только необычнее, чем мы воображаем,
она необычнее, чем мы можем вообразить.*

закон Хелдейна

ТЕМА № 1: ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ.

1. Что изучает астрономия?
2. Какие небесные объекты (тела) изучает астрономия?
3. Каковы особенности астрономических наблюдений?
4. Для каких целей предназначены телескопы? Каково назначение телескопа – астрографа?
5. Что называют спектральным анализом и каковы его применения в астрономии?
6. Почему телескоп имени Хаббла с зеркалом диаметром 2 метра иногда обеспечивает лучшее разрешение, чем наземные телескопы с диаметром зеркала 6 – 8 метров?
7. Что мы понимаем под созвездием? Назовите некоторые из известных вам созвездий.

8. Как вы думаете, почему на протяжении нескольких тысячелетий вид созвездий практически не меняется?
9. Что называют небесной сферой?
10. Что называют блеском звезды? С помощью, каких приборов он измеряется?
11. Запишите формулу, позволяющую определить отношение блеска двух звезд по их известным звездным величинам. Во сколько раз различается блеск двух звёзд, звездные величины которых отличаются на единицу?
12. Чему равна разность видимых звездных величин двух звезд, если блеск одной звезды больше блеска другой в тысячу раз?
13. Что называют полюсом мира; осью мира; плоскостью горизонта; точкой севера; плоскостью небесного экватора; линией горизонта; полуденной линией; точкой зенита; небесным меридианом; широтой места наблюдения?
14. Каким образом можно определить широту местности, в которой вы находитесь?
15. Аристотель заметил, что в Египте и на Кипре видны звезды, которых не видно в северных областях. Почему?
16. Каков характер видимого суточного движения звёзд для наблюдателя, находящегося на северном полюсе; на экваторе; в средних широтах?
17. Как располагаются суточные пути звезд относительно небесного экватора?
18. Кульминируют ли светила на Северном полюсе Земли?
19. Где на земле не видно никаких звезд южного полушария?
20. Какие созвездия можно целиком наблюдать на Северном полюсе 31 декабря?
21. Как располагается ось мира относительно земной оси; относительно плоскости горизонта?
22. Докажите, что высота полюса мира равна географической широте.
23. Чем обусловлено годовое изменение высоты кульминации Солнца над горизонтом?
24. Что называют эклиптической; точками равноденствия; точками солнцестояний?
25. Какая часть окружности эклиптики постоянно находится над горизонтом?
26. Какие созвездия называют зодиакальными?
27. Что вы можете сказать о продолжительности дня и ночи для наблюдателя в северном полушарии 6 апреля; 24 ноября; 19 июня; 22 декабря?
28. Каково склонение Солнца в день летнего солнцестояния?
29. С какого и по какое время года Солнце находится в северном полушарии; в южном полушарии?
30. Яркий звездообразный объект был виден 1 апреля около 7 часов вечера как раз в точке востока. Была это звезда или планета? Ответ обоснуйте?
31. Какой промежуток времени называют тропическим годом?
32. Что называют истинным полднем и истинной полночью?
33. Что вы знаете о горизонтальной системе координат?
34. Каким образом можно определить широту места наблюдения, зная высоту Солнца в верхней кульминации?
35. Чему равна географическая широта места наблюдения, на которой в день летнего солнцестояния Солнце кульминирует в зените?
36. Приведите примеры небесных циклов, которые дают нам естественную меру времени в единицах, значимых для нашей жизни.
37. Почему нельзя раз и навсегда создать абсолютно точный календарь?
38. Вы проснулись на неизвестном вам необитаемом острове и заметили, что в течение суток максимальная высота Солнца над горизонтом составляет 40 градусов. Как без связи, современных вычислительных устройств и часов, за время, не превышающее 1 месяц, при наличии ясной погоды определить...
 - 1) Полушарие, в котором вы находитесь;
 - 2) Примерное время года;
 - 3) Примерную широту.

*Небесный свод, горящий славою звездной,
Таинственно глядит из глубины –
И мы летим, пылающею бездной
Со всех сторон окружены.*

Ф. Тютчев

ТЕМА № 2: СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ.

1. Что называют звездами? Чем они отличаются от планет?
2. Если мы заметим, где видна в небе определённая звезда в конкретную дату, а потом повторим наблюдение через полгода, то положение немного изменится. Почему?
3. Что называют годичным параллаксом звезды?
4. Как можно определить расстояние до звезды?
5. Запишите формулу, с помощью которой рассчитывается расстояние до звезды в километрах; в астрономических единицах длины; в парсеках.
6. Во сколько раз световой год больше астрономической единицы?
7. Годичный параллакс Веги равен $0,12''$. Вычислите расстояние до Веги в километрах; в астрономических единицах длины; в парсеках.
8. Какова эффективная температура голубых звезд; белых звезд, желтых звезд; красных гигантов, коричневых карликов?
9. Каким образом можно получить спектр звезды?
10. Каким образом по спектру звезды можно определить химический состав ее атмосферы?
11. Какие химические элементы являются основными в атмосферах звезд?
12. Как зависит вид спектра звезды от ее эффективной температуры?
13. На какие классы разделены спектры звезд?
14. Что называют абсолютной звездной величиной? Каким образом, зная расстояние до звезды и ее видимую звездную величину, можно определить абсолютную звездную величину светила? Запишите формулу.
15. Чему равна абсолютная звездная величина Сириуса, если расстояние до него $2,7$ пс, а видимая звездная величина – $1,58^m$.
16. Что называют светимостью звезды? Каким образом, зная абсолютную звездную величину светила, можно определить его светимость?
17. Назовите главные элементы строения Галактики.
18. Каким образом, зная светимость звезды и ее эффективную температуру, можно определить радиус звезды?
19. Какие звёзды называют физически-двойными? Приведите примеры физически-двойных звезд. Каким образом установили двойственность этих звезд?
20. Каким образом определяют массы компонентов двойной звезды? Запишите формулы.
21. Какие звезды называют спектрально-двойными? Приведите примеры спектрально-двойных звезд. Какие характеристики спектрально-двойных звезд могут быть определены по их спектрам?
22. Какие звезды называют затменно-двойными? Приведите примеры. Какие характеристики звезд можно определить по кривой зависимости блеска двойной системы от времени?
23. Какому звездному объекту принадлежат звезды Млечного Пути?
24. Какой представляется Галактика из далекого космоса?
25. Почему диски галактик плоские? Существуют ли неплоские галактики?
26. Каков диаметр диска Галактики? Какое примерно количество звезд входит в состав Галактики? Какие звездные скопления входят в состав Галактики?
27. Как распределены звездные скопления в нашей галактике? Каков приблизительно "возраст" шаровых скоплений; рассеянных скоплений?
28. Что представляют собой темные туманности; светлые пылевые туманности; светлые газовые диффузные туманности; скопления нейтрального водорода?

29. Существуют ли другие звёздные системы-галактики? Каким образом удалось определить расстояние до ближайших галактик?
30. Какие галактики называют спиральными; неправильными; эллиптическими; линзовидными; карликовыми; радиогалактиками?
31. Дайте наиболее полную характеристику различным типам галактик.
32. Как распределены галактики во Вселенной?
33. Какие более крупные структурные образования, чем галактики, вам известны? Каковы их основные особенности и основные характеристики?
34. Каков приблизительно "возраст" Вселенной?
35. Приведите доказательства Большого Взрыва.
36. Как возникла Вселенная?
37. Какова продолжительность адронной эры? Каковы ее отличительные особенности?
38. Какова продолжительность лептонной эры? Каковы ее отличительные особенности?
39. Дайте краткую характеристику фотонной эры.
40. Какой этап в развитии Вселенной называют звездной эрой?
41. Как возникли галактики?
42. Массивные галактики существовали уже спустя несколько сотен миллионов лет после Большого взрыва. Как такое могло произойти?
43. Дайте подробную характеристику звездам – сверхгигантам; красным гигантам; белым карликам; красным карликам; звездам типа Солнца.
44. Каким группам относятся звезды, имеющие наибольшие размеры; наименьшую плотность; наибольшую среднюю плотность вещества; наименьшие размеры; наименьшую светимость; наиболее высокую температуру?
45. Какие выводы об эволюции звезд позволяет сделать диаграмма Герцшпрунга-Рессела? Приведите примеры.
46. В какую группу звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рессела входит наше Солнце? Какая общая схема эволюции этих звезд?
47. Существуют ли звезды спектрального класса А с абсолютной звездной величиной $+4^m$.
48. Какие звезды самые горячие?
49. Может ли светимость звезды спектрального класса В, превышать светимость Солнца в 10000 раз?
50. Существуют ли звезды, светимость которых в 100 раз меньше солнечной, а температура на поверхности 30000 К?
51. В каких пределах заключены массы звезд?
52. Существуют ли звезды спектрального класса В, абсолютная звездная величина которых равна нулю?
53. Существуют ли красные сверхгиганты?
54. Какая звезда горячее: белый или красный карлик?
55. Оцените светимость Денеба (спектральный класс А2).
56. Какие по размеру звезды больше: спектрального класса G2 или B2?
57. Могут ли светимость красных карликов превышать светимость Солнца?
58. Существуют ли звезды в $10 \cdot M_{\odot}$ при $M = 10^m$?
59. До какой звезды дальше расстояние: 2 пс или 2 св. года?
60. У каких звезд плотность больше, белых карликов или белых гигантов?
61. В каких пределах заключены светимости звезд?
62. Оцените по диаграмме абсолютную звездную величину Денеба.
63. Какие звезды самые холодные?
64. Благодаря чему звезды светят?
65. Каких спектральных классов звезды наиболее массивны?
66. Какие звезды называются гигантами?
67. К какому спектральному классу звезд относится Солнце?
68. Какова абсолютная звездная величина Бетельгейзе (M2)

69. Какова светимость Солнца в ваттах?
70. Какие звезды называются карликами?
71. Чему равна абсолютная звездная величина Солнца?
72. Почему светимости звезд обычно определяют в светимостях Солнца?
73. Почему большинство звезд на диаграмму спектр-светимость находится на главной последовательности?
74. Где расположена область белых карликов на диаграмме Герцшпрунга–Рассела?
75. Куда перемещается на диаграмме Герцшпрунга–Рассела звезда после исчерпания запасов водорода?
76. Между какими параметрами звезд представляет зависимость диаграмма спектр-светимость?
77. Что означает термин «новая звезда»?
78. Почему изменяется блеск новой звезды? Какие изменения происходят с новой звездой после ее вспышки?
79. У новых звезд яркость обычно возрастает при примерно постоянной температуре вследствие вздутия фотосферы. Если изменение яркости новой звезды составляет 10 звездных величин, то во сколько раз изменился радиус звезды?
80. Какие звезды называют сверхновыми? Почему происходит изменение блеска сверхновой звезды?
81. Энергия деления урана происходит от давно умерших солнц. Как это понимать?
82. Каковы возможные схемы эволюции сверхновых звезд?
83. Что называют нейтронной звездой? Каковы её основные физические свойства и характеристики?
84. По спектрометрии можно определить скорость галактики, в которой произошло слияние нейтронных звезд, а гравитационные волны с высокой точностью позволяют определить расстояние до галактики. Вот так все просто?
85. Что называют черной дырой?
86. Идет ли процесс образования звёзд в настоящее время? Приведите примеры.
87. Что является источником энергии звезд?
88. Оппенгеймер установил предел массы для всех нейтронных звёзд, которые существовали или могли бы существовать, но оказались слишком массивными, чтобы сколлапсировать, достигнув сингулярности. Как это понимать?
89. Какие химические элементы образуются в недрах звезд при термоядерном синтезе?
90. Объясните происхождение во Вселенной химических элементов с атомной массой, большей атомной массы элементов группы железа.
91. Круг замкнулся, как говорили в древнем Китае: «Человек восходит корнями к предкам, но корни всего сущего находятся на небе». Как это понимать?
92. Во сколько раз Солнце больше Земли по массе; по диаметру; по объему?
93. Что называют солнечной постоянной?
94. Каков химический состав Солнца? С помощью какого метода получены эти данные?
95. Какова температура в центре Солнца; на его поверхности? В каком состоянии находится солнечное вещество?
96. За счет чего светит и греет Солнце?
97. Какие термоядерные реакции происходят в недрах Солнца? Что такое протон-протонный цикл? Запишите в цепочку ядерных реакций, приводящих к образованию изотопа ${}^4_2\text{He}$ из протонов.
98. В чем коренное отличие Солнца от планет?
99. Каково внутреннее строение Солнца? На какие четыре области его можно условно разделить?
100. Приблизительно, на какое расстояние от центра Солнца простирается его ядро?
101. На какие слои условно можно разделить солнечную атмосферу? Какова толщина фотосферы; хромосферы; солнечной короны, гелиосферы?

102. Одной из особенностей межзвездного пространства является обилие космических лучей — частиц, ускоренных взрывающимися звездами. Гелиосфера уменьшает их количество примерно на 70 процентов. Почему?
103. Какова природа хромосферных вспышек; протуберанцев?
104. Какие объекты видны на фотографиях фотосферы? Следствием каких факторов является грануляция?
105. Что называют солнечными пятнами? Какова их природа? Почему солнечные пятна окружены факелами?
106. Что понимают под солнечной активностью? Какова продолжительность цикла солнечной активности?
107. Как вычислить излучаемую Солнцем энергию, дефект массы?
108. Каким образом можно использовать солнечную энергию?
109. Какие виды солнечного излучения вы знаете?
110. В чем проявляется воздействие Солнца на Землю?
111. Какие явления наблюдаются в фотосфере (хромосфере и короне)?
112. Перечислите земные проявления солнечной активности.
113. Выскажите свою точку зрения о происхождении и эволюции Солнца.

*Я все в тебе люблю, ты нам даришь цветы,
Гвоздики алые, и губы роз и маки,
Из безразличья темноты выводил мир,
Томящийся во мраке.
Без Солнца облака - тяжелые, густые,
Недвижно-мрачные, как тягостный утес,
Но только ты взойдешь, - воздушно-золотое,
Они воздушней детских грез...
Тебя мы чувствуем во всем, в чем блеск алмазный,
В чем свет коралловый, жемчужный, иль иной,
Без Солнца наша жизнь была б однообразной.*

К. Бальмонт

ТЕМА № 3: СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА.

1. Какие представления сложились о Земле и Вселенной в глубокой древности?
2. Кто из ученых разработал геоцентрическую систему мира? В чем ее суть? Каков характер движения планет с точки зрения системы мира, разработанной Птолемеем? Как Птолемей объяснил видимое петлеобразное движение планет?
3. Кто из ученых разработал гелиоцентрическую систему мира? В чем ее суть? Каков характер движения планет с точки зрения системы мира, разработанной Коперником?
4. Каким образом теория Коперника объяснила наблюдаемое петлеобразное движение планет; видимое движение звезд; смену дня и ночи на Земле; смену времен года на Земле?
5. Какой вклад в развитие астрономии внес Галилей? Какие телескопические открытия были сделаны Галилеем? Подтвердили ли эти открытия теорию Коперника?
6. Какие тела входят в состав солнечной системы?
7. Назовите восемь больших планет, входящих в состав солнечной системы. По каким орбитам движутся планеты вокруг Солнца?
8. Почему синодические периоды соседних с Землей планет наибольшие?
9. Как зависят периоды обращения планет от их расстояния до Солнца?
10. По каким орбитам движутся астероиды; кометы; спутники планет; метеорные тела; искусственные спутники?
11. Какой промежуток времени называют звездным (сидерическим) периодом обращения планеты вокруг Солнца? Чему равен сидерический период обращения планеты Меркурий; Венера; Земля; Юпитер?
12. Какой вклад в развитие астрономии внес Иоганн Кеплер?

13. Сформулируйте первый закон Кеплера.
14. Сформулируйте второй закон Кеплера.
15. Как называется ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты; самая удаленная от него точка орбиты планеты?
16. Какой формулой связано минимальное (максимальное) расстояние планеты от Солнца с большой полуосью и эксцентриситетом ее орбиты?
17. Минимальное расстояние от Земли до Луны равно 363000 км, а максимальное – 405000 км. Какова большая полуось и эксцентриситет лунной орбиты?
18. Как изменяется скорость движения планеты вокруг Солнца в зависимости от ее расстояния до него?
19. Сформулируйте третий закон Кеплера. Запишите формулу, выражающую третий закон Кеплера.
20. Какие планеты называют внутренними; внешними? Что называют конфигурацией планеты?
21. Сформулируйте закон всемирного тяготения. Какие явления были объяснены на основе этого закона?
22. Назовите известные вам способы определения расстояния до тел солнечной системы.
23. Что называют параллактическим смещением? Как изменяется параллактическое смещение при неизменном базисе, если расстояние до предмета увеличивается; уменьшается?
24. Какой угол называют горизонтальным параллаксом? Запишите формулу, связывающую расстояние до светила с его горизонтальным параллаксом.
25. Зная параллаксы Солнца и Луны ($8''8'$, $57'$), определите расстояние до них в радиусах Земли.
26. На какие две группы можно разделить планеты солнечной системы? Почему такое деление можно провести?
27. Перечислите планеты, относящиеся к планетам земной группы; к группе планет-гигантов. Чем отличаются планеты земной группы от планет-гигантов?
28. Какая из планет земной группы имеет самые большие размеры и массу; самые малые размеры; самую плотную атмосферу; наибольшее число естественных спутников; магнитное поле?
29. Каков состав атмосферы Земли? Какую роль играет атмосфера в тепловом балансе Земли? Почему мантийная конвекция является основным механизмом потери тепла.
30. В знаменитой «Одиссее» Гомер определяет Большую Медведицу как «созвездие, которое никогда не погружает своих звезд в волны моря». Современные греки утверждают, что это заходящее созвездие. Кто прав?
31. Почему по мере подъема звезды над горизонтом она выглядит ярче?
32. Как определить что Земля круглая?
33. Что вы можете рассказать об атмосферах других планет солнечной системы?
34. Почему планеты-гиганты имеют значительное сжатие; малые средние плотности; очень низкие температуры?
35. Сколько естественных спутников имеет планета Юпитер; Марс; Земля?
36. Каково среднее расстояние от Земли до Луны? Во сколько раз Земля больше Луны по массе; по диаметру?
37. Гравитация Солнца, действующая на Землю, примерно в 180 раз больше, чем гравитация Луны. А при этом солнечные приливы в 2,2 раза слабее, чем лунные. Почему?
38. Во сколько раз Солнце освещает поверхность Плутона сильнее, чем полная Луна освещает Землю?
39. Чему равен период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд; относительно Солнца?
40. В какое время суток, и в какой стороне горизонта наблюдается "молодая" Луна; "старая" Луна; полная Луна; первая четверть?

41. Как отличить "молодую" Луну от "старой" Луны?
42. Чему равны диаметры Солнца и Луны в угловой мере?
43. В каком случае происходит солнечное затмение; лунное затмение?
44. С какой скоростью перемещается тень от Земли на Луне во время лунного затмения? А на звезде α - Центавра? Может ли тень двигаться быстрее света?
45. Есть ли у Луны атмосфера? Какие можно привести доказательства в пользу того, что у Луны нет атмосферы?
46. Можно ли, находясь на поверхности Луны, наблюдать восход Земли?
47. Каковы физические условия на Луне?
48. Как называют лунный грунт? Какова толщина реголита? Действие, каких факторов привело к образованию реголита?
49. Что называют лунными "материками"; "морями"?
50. Каков приблизительно "возраст" лунных материков; лунных морей?
51. Каково происхождение лунных материков; лунных «морей»?
52. Каково внутреннее строение Луны по современным данным?
53. Какие гипотезы о происхождении Луны вам известны? Какая из них вам кажется наиболее предпочтительной?
54. Что называют метеорным телом; метеором; болидом; метеоритом?
55. Какие небесные тела называют астероидами? Какие гипотезы о происхождении астероидов вам известны?
56. Что вы можете сказать о массах астероидов; их размерах и орбитах? В чем выражается основное различие между астероидами и метеорными телами?
57. Какое небесное тело называют кометой? Каковы особенности наблюдения комет в зависимости от их расстояния до Солнца?
58. Какова физическая природа комет?
59. Из каких основных частей состоит наблюдаемая комета? Что из себя представляет ядро кометы; кома; хвост?
60. Какие гипотезы о происхождении комет вам известны?
61. Каково происхождение метеорных потоков?
62. Какие объекты Солнечной системы могут (хотя бы иногда) наблюдаться в созвездии Большая Медведица?
63. Какие гипотезы о происхождении Солнечной системы вам известны?
64. Почему планеты вращаются в том же направлении, что и их солнца?
65. Расставьте явления по длительности в порядке от самого быстрого к самому длительному.
 - 1) Время жизни белого карлика
 - 2) Время жизни красного сверхгиганта
 - 3) Время полета луча света к Земле от ближайшей к Солнцу звезды
 - 4) Вспышка сверхновой
 - 5) Год на Меркурии
 - 6) Инфляционная стадия образования Вселенной
 - 7) Колебание пульсара
 - 8) Оборот Солнца вокруг центра галактики
 - 9) Период обращения кометы Галлея вокруг Солнца
 - 10) Полное Солнечное затмение
 - 11) Сутки на Венере
 - 12) Текущий возраст Вселенной

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ	ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ
1. Современная физическая картина мира.	1. Новая информация о планетах Солнечной системы.
2. Физика космического пространства.	2. Поиски жизни в Солнечной системе и во Вселенной.
3. Древние обсерватории.	
4. Физика комет.	

5. Космические исследования на службе народного хозяйства.	3. Планета Земля в опасности.
6. Роль и методы космических исследований в познании Вселенной.	4. Космические взрывы.
7. Фотографические наблюдения Луны.	5. Загадки Вселенной.
8. Методика фотографирования Солнца.	6. Ориентировка по Солнцу.
9. Проект школьной астрономической обсерватории.	7. Современный телескоп.
10. Что общего между физикой и астрономией?	8. Есть ли у оптических телескопов будущее?
11. Эволюция Вселенной.	9. Пояс астероидов.
12. История Земли.	10. Ультрафиолетовая астрономия.
13. Наблюдение солнечных пятен.	11. Метод параллаксов и его применение в астрономии.
14. Система Сатурна.	12. Белые карлики.
15. Эволюция звезд (компьютерное моделирование).	13. Солнечные вспышки.
16. Структура Вселенной.	14. Кометы в Солнечной системе.
17. С.П. Королев и развитие космонавтики.	15. Квазары.
18. Солнечная активность в данном году.	16. Столкновения галактик.
19. Черные дыры.	17. Темная материя.
20. Проблема Тунгусского метеорита.	18. Темная энергия.
21. Пульсары.	19. Солнечные пятна.
22. Рождение звезд.	20. Солнце и его влияние на Землю.
23. Существуют ли невидимые нами миры?	21. Химический состав звезд.
24. Главная проблема будущих колонизаторов Луны – пыль. Почему?	22. Современная модель эволюции Вселенной.
25. Механизмы взрыва сверхновых.	23. Природа темного вещества.
26. Поиски обитаемых планет.	24. Физика недр нейтронных звезд.
27. Материя и антиматерия во Вселенной.	25. Ранняя Вселенная и реликтовое излучение.
28. Эволюция Вселенной.	26. Чёрные дыры.
29. Физика после бозона Хиггса.	27. Бозон Хиггса.
	28. Когда аннигилировали протоны и антипротоны?

Темы проектов

1. Первые звездные каталоги Древнего мира.
2. Крупнейшие обсерватории Востока.
3. Наблюдательная астрономия Тихо Браге.
4. Создание первых государственных обсерваторий в Европе.
5. Устройство, принцип действия и применение теодолитов.
6. Угломерные инструменты древних вавилонян — секстанты и октанты.
7. Современные космические обсерватории.
8. Современные наземные обсерватории.
9. Подготовьте презентацию об истории возникновения названий созвездий и звезд.
10. История происхождения названий ярчайших объектов неба.
11. Звездные каталоги: от древности до наших дней.
12. Прецессия земной оси и изменение координат светил с течением времени.
13. Системы координат в астрономии и границы их применимости.
14. О чем может рассказать цвет лунного диска.
15. Описания солнечных и лунных затмений в литературных и музыкальных произведениях.
16. Обсерватория Улугбека.
17. Система мира Аристотеля.
18. Античные представления философов о строении мира.
19. Наблюдение прохождения планет по диску Солнца и их научное значение.
20. Современные методы геодезических измерений.

21. Изучение формы Земли. История открытия Плутона.
22. История открытия Нептуна.
23. Явление прецессии и его объяснение на основе закона всемирного тяготения.
24. К. Э. Циолковский.
25. Первые пилотируемые полеты — животные в космосе.
26. С. П. Королев.
27. Достижения СССР в освоении космоса.
28. Загрязнение космического пространства.
29. Динамика космического полета.
30. Проекты будущих межпланетных перелетов.
31. Конструктивные особенности советских и американских космических аппаратов.
32. Современные космические спутники связи и спутниковые системы.
33. Полеты АМС к планетам Солнечной системы.
34. Сфера Хилла.
35. Теория происхождения Солнечной системы Канта—Лапласа.
36. «Звездная история» АМС «Венера».
37. «Звездная история» АМС «Вояджер».
38. Реголит: химическая и физическая характеристика.
39. Лунные пилотируемые экспедиции.
40. Исследования Луны советскими автоматическими станциями «Луна».
41. Проекты строительства долговременных научно-исследовательских станций на Луне.
42. Проекты по добыче полезных ископаемых на Луне.
43. Органическая жизнь на планетах земной группы в произведениях писателей-фантастов.
44. Атмосферное давление на планетах земной группы.
45. Современные исследования планет земной группы АМС.
46. Современные исследования планет-гигантов АМС.
47. Исследования Титана зондом «Гюйгенс».
48. Современные исследования спутников планет-гигантов АМС.
49. Как на холодной ледяной планете вроде Нептуна, где в верхних слоях облаков температура опускаться до $-221,45$ градуса по Цельсию, облака могут двигаться со скоростью до 2100 км/ч?
50. Современные способы космической защиты от метеоритов.
51. Космические способы обнаружения объектов и предотвращение их столкновений с Землей.
52. История открытия Цереры.
53. Открытие Плутона К. Томбо.
54. Характеристики карликовых планет (Церера, Плутон, Хаумея, Макемаке, Эрида).
55. Гипотеза Оорта об источнике образования комет.
56. Загадка Тунгусского метеорита.
57. Особенности образования метеоритных кратеров.
58. Следы метеоритной бомбардировки на поверхностях планет и их спутников в Солнечной системе.
59. Исследования А. Л. Чижевского.
60. История изучения солнечно-земных связей.
61. Виды полярных сияний.
62. История изучения полярных сияний.
63. Современные научные центры по изучению земного магнетизма.
64. Космический эксперимент «Генезис».
65. Методы обнаружения экзопланет.
66. Характеристики обнаруженных экзопланет.
67. Изучение затменно-переменных звезд.
68. История открытия и изучения цефеид.

69. Каким образом астрономы определяют температуру звёзд?
70. Механизм вспышки новой звезды.
71. Механизм взрыва сверхновой.
72. Правда и вымысел: белые и серые дыры.
73. История открытия и изучения черных дыр.
74. История исследования Галактики.
75. Почему диски из пыли и газа являются источником света вокруг массивной черной дыры?
76. Легенды народов мира, характеризующие видимый на небе Млечный Путь.
77. Открытие «островной» структуры Вселенной В. Я. Струве.
78. Модель Галактики В. Гершеля.
79. Загадка скрытой массы.
80. Исследования квазаров.
81. Исследование радиогалактик.
82. Открытие сейфертовских галактик.
83. А. А. Фридман и его работы в области космологии.
84. Значение работ Э. Хаббла для современной астрономии.
85. Каталог Мессье: история создания и особенности содержания.
86. Научная деятельность Г. А. Гамова.
87. Вселенная до горячей стадии.
88. Почему без темной материи невозможны очаги гравитационной конденсации?
89. Была ли инфляционная эра единственной?

За вечность, должно быть, было перепорчено огромное количество вселенных, до того, как оформилась эта система; было потрачено впустую много сил, сделано много бесплодных попыток, а процесс медленного, но непрерывного совершенствования в искусстве мироздания продолжался на протяжении бесконечных эпох.

Дэвид Юм

Сколько раз физики могли пасть духом от множества испытываемых неудач, если бы в них не поддерживал веры блестящий пример успеха астрономов! Этот успех показывал им, что природа подчинена законам... Мало того. Астрономия не только открывала нам существование законов; она научила нас, что эти законы непреложны, что идти против них невозможно. Сколько времени понадобилось бы нам для усвоения этой мысли, если бы мы знали только земной мир?

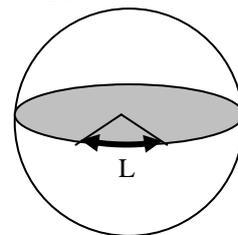
Анри Пуанкаре

В сравнении со сложностью космоса - наш мир подобен мозгам дождевого червя. Харуки Мураками. Слушай песню ветра

Модель расширения Вселенной. Представим себе шар из резины, на поверхности которого находятся неподвижные шарики. Будем надувать шар, чтобы его радиус рос по закону $R = R(t)$. Наблюдатель, находящийся в любой точке на поверхности шара, обнаружит, что все точки удаляются от него по закону $L(t) = L_0 \frac{R(t)}{R_0}$. Тогда

$$\frac{dL}{dt} = \frac{L_0}{R_0} \frac{dR}{dt} = \frac{L}{R} \frac{dR}{dt} = HL = v, \text{ где } H = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}. \text{ Решая уравнение } \frac{dL}{dt} = HL,$$

получим $L = L_0 e^{Ht}$, а ускорение $a = L_0 H^2 e^{Ht}$.



Дополнительная информация. "Стандартные свечи" - объекты в космосе, абсолютная звездная величина которых известна. Для астрономов космическая лампочка - сверхновая типа Ia. Представьте, что сейчас ночь, и вы стоите на длинной дороге с фонарными столбами. На всех этих столбах одинаковые лампочки, но лампочки, расположенные дальше, слабее, чем ближние. Это потому, что свет тускнеет пропорционально квадрату расстояния. Если мы знаем мощность лампочки и можем

измерить, насколько яркой она кажется (интенсивность ее света $I = P/(4\pi r^2)$), то мы сможем рассчитать расстояние до фонарного столба.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Л.Я. Зорина. Дидактические основы формирования системности знаний старшеклассников. – М.: Педагогика, 1978.
2. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
3. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия: Учеб. для 11 кл. сред. шк. – 19-е изд. – М.: Просвещение, 1991. – 159 с.
4. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач по астрономии: Пособие для учителя. - М.: Просвещение, 1980. – 56 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б. А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. «Наука», Москва, 1977.
6. Левитан Е.П. Астрономия. — М.: Просвещение, 1994. — 207 с.: ил. — ISBN 5-09-004913-0.
7. Угольников О.С. Астрономия. 10-11 классы. Задачник. — М.: Издательство «Просвещение», 2018.
8. Гусев Е.Б. Сборник вопросов и качественных задач по астрономии. — М.: Просвещение, 2002. — 173 с.
9. Дагаев М. М. Сборник задач по астрономии. — М.: Просвещение, 1980.
10. А. М. Романов. Занимательные вопросы по астрономии и не только. — М.: МЦНМО, 2005. — 415 с.: ил. — ISBN 5-94057-177-8.
11. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
12. Интернет ресурсы: <http://www.astronet.ru/db/msg/1180040>
13. Кунаш, М. А. Астрономия. 11 класс. Методическое пособие к учебнику Б. А. Воронцова-Вельяминова, Е. К. Страута. «Астрономия. Базовый уровень. 11 класс» — М.: Дрофа, 2018.
14. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. <https://naidin.ru>

Когда я гляжу на небосклон, кишащий звездами, у меня из головы вылетают даже те скудные сведения по астрономии, которые были.

Станислав Ежи Лец

Космос — это все, что есть, что когда-либо было и когда-нибудь будет. Одно созерцание Космоса потрясает: дрожь бежит по спине, перехватывает горло, и появляется чувство, слабое, как смутное воспоминание, будто падаешь с высоты. Мы сознаем, что прикасаемся к величайшей из тайн.

Карл Саган

Корни всякого открытия лежат далеко в глубине, и, как волны бьются с разбега о берег, много раз плещется человеческая мысль около подготовляемого открытия, пока придет девятый вал.

В. И. Вернадский

НЕ РЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ!!!

Вселенная лишена глобального вращения, однородна и изотропна!

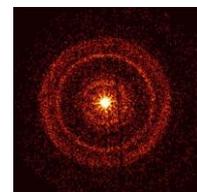
1. **Закон планетарных расстояний**, установленный ещё Иоганном Кеплером – старейшая, до сих пор не решенная проблема физики.
2. **Планетная система.** Отсутствует законченная теория, объясняющая происхождение планетарных систем и экзопланет в целом. Одна из гипотез утверждает, что каждая звезда, в том числе и наше Солнце, не только сама рождает планеты, но и продолжает этот процесс на протяжении всей своей многомиллиардной жизни. И сгустки возле светила, замеченные в 2012 году – не что иное как «дети Солнца», новые планеты,



которые постепенно отдаляются от своего родителя, остывают и становятся самостоятельными. Именно так и осуществляется процесс образования планет, а потому любые планетарные системы, в том числе и Солнечная система, обновляются и само восстанавливаются. По мере рождения новых планет, старые, надо полагать, отдаляются от Солнца, в определенный момент на них зарождается биологическая жизнь, как на Земле, потом, по мере отдаления и остывания планеты, эта жизнь умирает или переходит в какую-то новую стадию, уступая свое место более новой планете.

3. Солнечная цикличность. Какова природа циклов солнечной активности; каков механизм обращений магнитного поля Солнца, Земли?

4. Проблема нагрева солнечной короны. Почему солнечная корона намного горячее, чем поверхность Солнца?



5. Скорость вращения Сатурна. Почему магнитосфера Сатурна проявляет (медленно меняющуюся) периодичность, близкую к той, на которой вращаются облака планеты? Какова истинная скорость вращения глубоких внутренних слоёв Сатурна?

6. Струи аккреционных дисков. Почему некоторые астрономические объекты, окружённые аккреционным диском, такие как активные ядра галактик, испускают релятивистские струи, излучаемые вдоль полярной оси? Почему у многих аккреционных дисков существуют квазипериодические колебания? Почему период этих колебаний имеет масштаб, обратно пропорциональный массе центрального объекта? Почему иногда существуют обертоны, и почему у разных объектов обертоны имеют различные соотношения частоты?

7. Гамма - всплески. Каково происхождение этих краткосрочных всплесков высокой интенсивности?

8. Что стало со звездой, попавшей в черную дыру?

Событие приливного разрушения ученые впервые наблюдать непосредственно через телескоп. Ученые заметили, что большая часть вещества звезды была унесена звездным ветром со скоростью 10000 километров в секунду. Вокруг звезды образовались сферические облака и возникли высокоэнергетические всплески излучения. Тем не менее, этот слой газа блокировал большую часть излучения, создаваемого диском черной дыры. Рентгеновские лучи, производимые материалом, оторванным от звезды и втянутым в аккреционный диск, поглощаются убегающим газом, буквально сдуваемым мощными ветрами вокруг черной дыры, и возвращаются обратно к дыре.

9. Сценарии образования тяжелых элементов во Вселенной.

Возможен такой сценарий нуклеосинтеза. Красный сверхгигант расширяется и поглощает нейтронную звезду, которая закручивается по спирали внутри оболочки красного сверхгиганта, а затем внутри его ядра. После попадания в ядро нейтронная звезда аккрецирует массу через аккреционный диск с очень высокой скоростью, а энергичные и плотные струи, которые при этом образуются, могут обеспечить надлежащие условия для нуклеосинтеза.

10. Короткие радиовсплески (типичное время — от долей до нескольких миллисекунд) чрезвычайно мощные (по оценкам, выделяемая энергия эквивалентна тому, что Солнце вырабатывает за тысячи лет) импульсы в радиодиапазоне. Какова их природа?

11. Наблюдаемые аномалии. Проблема вращения галактик: Является ли темная материя ответственной за различия в наблюдаемых и теоретических скоростях вращения звёзд вокруг центра галактик, или же причина в чём-то ином?

12. Сверхновые. Каков точный механизм, посредством которого имплозии умирающих звёзд становятся взрывом?

13. Какова природа нейтронных звёзд и плотной ядерной материи? Каково происхождение элементов в космосе? Что такое ядерные реакции, которые движут звёзды и приводят к их взрывам?

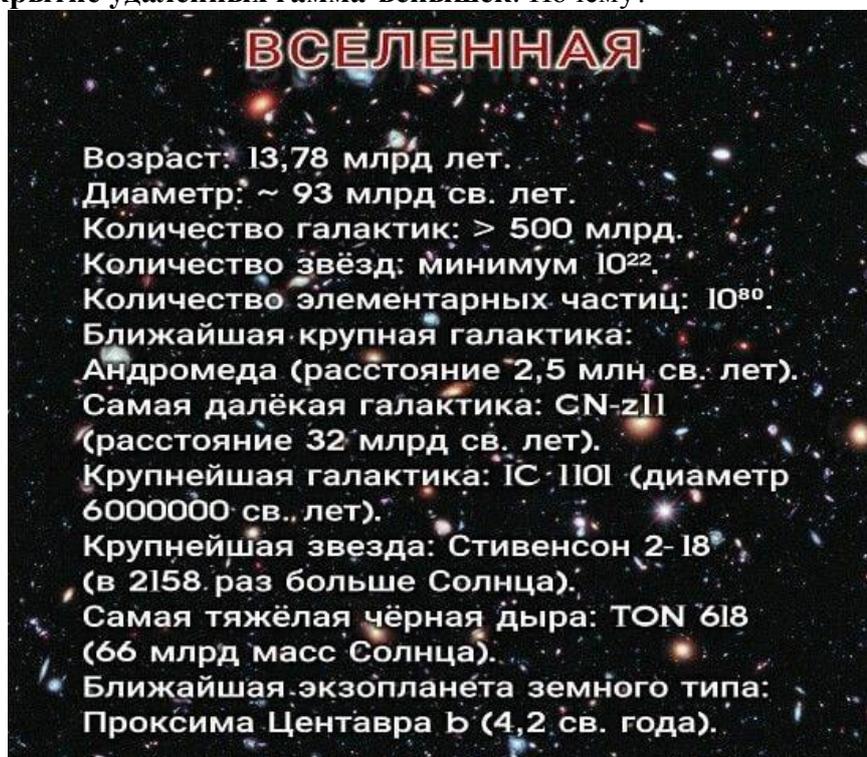
- 14. Космические лучи сверхвысоких энергий.** Почему некоторые космические лучи обладают невероятно высокой энергией (так называемые *частицы OMG*), учитывая, что вблизи Земли нет источников космических лучей с такой энергией? Почему некоторые космические лучи, испускаемые далёкими источниками, имеют очень большую энергию?
- 15. Замедление времени квазара.** Почему кривые блеска квазаров в отличие от кривых блеска сверхновых не демонстрируют эффекта замедления времени на больших космологических расстояниях?
- 16. Производят ли чёрные дыры тепловое излучение?** Содержит ли это излучение информацию об их внутренней структуре?
- 17.** Почему Вселенная сбалансирована таким образом, что жизнь может существовать? По какой причине все эти предположительно случайные константы имеют ровно те значения, которые обеспечивают существование материи, образование звёзд и галактик, формирование планет и, наконец, появление разумной жизни? Почему Вселенная так тонко «настроена» на нас?
- 18.** Существуют ли физические причины существования других вселенных, которые принципиально не наблюдаемы?
- 19. Что такое тёмная материя?**
Звездное скопление Омега Центавр с массой в 4 миллиона солнечных имеет радиус около 90 световых. 10 июля 2024 года в журнале Nature была опубликована сенсационная статья об открытии в этом скоплении черной дыры с массой в 8200 раз больше массы Солнца. Шаровые скопления являются самыми древними коллективными структурами Вселенной, возникшими раньше галактик. Взаимодействуя со сверхмассивными дырами, скопления активно участвуют в росте спиральных и эллиптических галактик. Черные дыры звездных масс практически невидимы, составляют темную материю - основную часть массы Вселенной. Если в скоплении находится черная дыра промежуточной массы, то газ, захваченный этой дырой, превращает темное скопление в шаровое звездное скопление. Массы газа, захваченные сверхмассивными черными дырами, образуют более масштабные звездные структуры - галактики.
- 20.** Астрофизики задались вопросом о причинах, по которым произведение постоянной Хаббла на возраст Вселенной в настоящее время примерно равно единице.
- 21.** В науке определены будут неизвестности, которые мы не сможем раскрыть, принимая существующие законы природы. Примеры принципиально непознаваемого можно обозначить вопросами о происхождении Вселенной, жизни и разума. Можем ли мы полностью понять то, частью чего являемся?
- 22.** Если у всех во Вселенной складывается впечатление, что все остальные от нас разлетаются, разве можно утверждать, будто кто-то вообще двигается?
- 23.** Фильм кажется непрерывным и плавным, пока не заметишь, что он разбит на 24 кадра в секунду, - а вдруг Вселенная тоже разбита на кадры, как кинофильм?
- 24.** Существовало ли время до Большого Взрыва?
- 25.** Почему у разных участков Вселенной наблюдаются одинаковые температуры?
- 26.** Будет ли Вселенная расширяться вечно?
- 27.** Будет ли еще один Большой взрыв?
- 28.** Является ли Вселенная конечной или бесконечной?
- 29.** Существуют ли другие вселенные?
- 30.** Найдены квазары с очень большим красным смещением, содержащие черные дыры массой свыше миллиарда солнечных масс. Мы наблюдаем их из молодой Вселенной, когда ее возраст составлял сотни миллионов лет. Как эти черные дыры успели к тому времени поглотить миллиарды солнечных масс вещества? Как образовались зародыши сверхмассивных черных дыр? Насколько массивными



изначально были эти зародыши?

- Зародыши массой $10^5 M_{\odot}$ могли образоваться вместе с Вселенной, в ее первые мгновения, а потом выросли до наблюдаемых величин;
- Происходило иерархическое слияние звезд и черных дыр в плотном скоплении;
- Существовал механизм прямого коллапса (минуя стадию звезд) массивных газовых облаков массой порядка $10^6 M_{\odot}$ в черную дыру.

Пять поворотных точек в истории астрономии: изобретение телескопа, рождение астрономии космических лучей, радиоастрономии, рентгеновской астрономии и, наконец, открытие удаленных гамма-вспышек. Почему?



ЭТЮДЫ О ЗВЕЗДАХ

*Когда долго всматриваешься в бездну, бездна
начинает всматриваться в тебя?*

Фридрих Ницше

СИРИУС

Сириус — самая яркая звезда ночного неба. Она помогала древним египтянам предсказывать несущий жизнь разлив Нила, с её помощью они определяли длину года. Мореплаватели использовали ярчайшую звезду для навигации, а поэтам она служила источником вдохновения. Сириус оказался в числе первых звёзд, до которых астрономы пытались определить расстояние и чьё собственное движение они обнаружили. Это первая звезда, у которой удалось сфотографировать спектр и по методу Доплера оценить скорость. Предсказание, а потом обнаружение невидимого спутника Сириуса явилось не только триумфом теории гравитации Ньютона, но и привело к одному из важнейших открытий в астрофизике и физике в целом — обнаружению белых карликов, что стало важной вехой в понимании эволюции звёзд.