Семинар по школьной олимпиадной астрономии

7-11 класс

Организатор: Анатолий Найдин

г. Томск, ТФТЛ

2024

Занятие 1. Что изучает астрономия?

I. 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 звёздный 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). **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 (высота Полярной звезды над горизонтом, положение созвездий в данной области неба в данное время, положение планет и Луны).

Астрономические объекты: планетные тела, планетные системы (солнечная система), звезды, системы звезд. Шаровые и рассеянные скопления, Галактика, галактики, квазары, системы галактик, Вселенная. **Астрономия, наука ученых-мечтателей, хранит в себе вечную тайну возникновения Вселенной!**

Вселенная - космическая лаборатория: вещество белых карликов и нейтронных звезд, гравитация, черные дыры, излучение квазаров. Астрономия бросает вызов законам природы и задает "планку" человеческому мышлению!

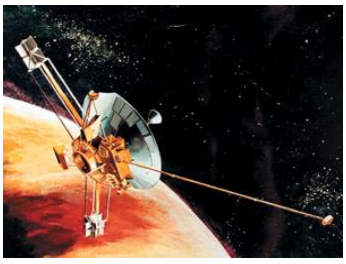
Процессы во Вселенной и их влияние на процессы, происходящие на Земле (космическое излучение, солнечный ветер, приливы, метеориты, астероиды).

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, зависимость от места и времени, выполнение углевых измерений.**

Радиотелескопы. Открытие пульсаров и квазаров. Рентгеновская астрономия. **Спектральный анализ**. С помощью спектрального анализа мы можем узнавать химический состав далеких галактик, измерять температуру и скорость вращения звезд.

Искусственные спутники Земли и внеатмосферная астрономия. 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.

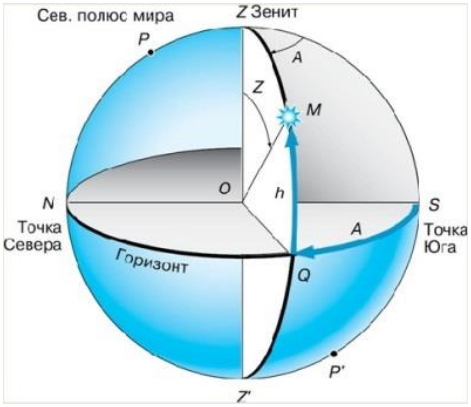


Прежде всего, нам надо научиться ориентироваться по звездам!

Плоскость касательная к поверхности Земли в точке

наблюдения называется плоскостью горизонта.

Горизонтальные координаты светил: высота (h) и азимут (A). Их изменение.



Телескоп – увеличивает угол зрения и собирает больше света. Рефрактор - используется преломление света в линзе (преломляющий), первый в 1609 г Г. Галилей. **Рефлектор -** используется вогнутое зеркало (отражающий), фокусирующее лучи, первый в 1668 г изобрел И. Ньютон. **Угловое увеличение телескопа: Г = $F_{об}/F_{ок}$.** 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°).

II. *Задачи:*

1. Определите угловое расстояние (с точностью до нескольких угловых минут) между между Вегой и Луной, если известны их координаты: Вега (азимут $A_1 = 90^0$, $h_1 = 52^0$), Луна (азимут $A_2 = 270^0$, высота $h_2 = 18^0$). 110^0
2. Диаметр сферического аэростата равен 13 м. На каком расстоянии находится аэростат, если его угловой диаметр 30′? 1490 км
3. 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 60^0 **.** 26,5 св. лет
4. Угловое расстояние между компонентами двойной звезды равно 2″. Телескоп с каким диаметром объектива и увеличением нужно использовать, чтобы увидеть компоненты по отдельности? 7 см, 60
5. Найдите угловое разрешение системы из наземного радиотелескопа и космического аппарата «Радиоастрон» в режиме радиоинтерферометра, если он удален от Земли на 330000 км, а наблюдение проводятся на длине волны 18 см. 0,0001″.
6. Неизвестная цивилизация похитила Луну с целью добычи полезных ископаемых и, чтобы не лишать землян естественного спутника, поместила на околоземную орбиту Меркурий. Определите радиус геоцентрической орбиты Меркурия, если известно, что видимый угловой размер спутника на небе не изменился. 540000 км.

Олимпиада.

1. Можно ли со станции на орбите Юпитера разглядеть невооружённым глазом земную Луну? Если нет, то какое увеличение телескопа для этого нужно? Считать разрешающую способность человеческого глаза равной 1 угловой минуте. Нет. 100
2. Капелла — тесная двойная звезда, состоящая из почти одинаковых компонент. Впервые уверенно разрешить её компоненты без использования интерферометра удалось только при наблюдениях на телескопе Хаббла в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны 3000˚А. Оцените угловое расстояние между компонентами. Диаметр зеркала телескопа Хаббла равен 2.4 метра. 0″,03
3. Астрограф с полем зрения 11´x11´ ищет астероид в области, ограниченной α = 13 ч 10 м и α = 13 ч 20 м по прямому восхождению и δ = 30° и δ = 33° по склонению. Оцените, количество кадров, которые нужны, чтобы полностью покрыть исследуемый участок неба. Перекрытие кадров или их выход за границы участка игнорируйте. 53010

4. Лунтик живёт на высокой иве, стоящей посреди большого луга. Он любит наблюдать за Солнцем, а также за листиками, что растут на иве. Однажды он заметил, что один из листиков ивы закрывает ровно диск Солнца своей поперечной частью, а другой такой же листик помещается продольно на диск Солнца и касается своими концами противоположных краёв диска. Помогите Лунтику понять, какой листик к нему ближе и во сколько раз, если продольный размер листика равен 12 см, а поперечный — 2 см. Ночью с того же места он заметил метеор, который прочертил на небе линию в 8 раз длиннее, чем поперечник Луны. Смог бы закрыть эту линию тот листик, который закрывал Солнце поперечной частью? Поперечный, 6.
5. Космический телескоп «Ферми» фиксирует от пульсара Геминга поток 200 эВ · см$^{-2}$ · с$^{-1}$, переносимый фотонами с энергией 1 ГэВ. Сколько таких фотонов может получить «Ферми» за сутки непрерывных наблюдений, если телескоп имеет размер 1.8 × 1.8 м? Ответ округлите до целого. 560
6. Расставьте типы объектов в порядке их появления во Вселенной. 5,3,2,1,4,6
   1) Белый карлик
   2) Красный гигант
   3) Молекулярное облако
   4) Планета
   5) Реликтовое излучение
   6) Спутник
7. Расставьте в порядке уменьшения промежутков времени. 6,7,3,8,1,2,5,4

1) длительность цикла солнечной активности
2) период обращения Земли вокруг Солнца
3) период обращения Нептуна вокруг Солнца
4) осевой период вращения Юпитера
5) период обращения Венеры вокруг Солнца
6) возраст Солнца
7) возраст системы Земля-Луна
8) средняя продолжительность жизни человека

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?

Олимпиада.

1. В какой стороне неба находится светило, имеющее горизонтальные координаты: h = 28°; A = 180°. Каково его зенитное расстояние?
2. Двойная звезда ε Лиры состоит из двух близких звезд близкой яркости, разделенных промежутком 2,3 угловой секунды. Оцените, при каком минимальном увеличении при наблюдении в телескоп компоненты двойной системы будут видны раздельно.

Занятие 2. Суточное движение звездного неба

I. *Вопросы (блиц):*

1. В чём преимущество телескопа перед глазом?
2. В какой стороне неба находится звезда, если ее горизонтальные координаты: h = 53^0; A = 270^0. Каково ее зенитное расстояние? На востоке, 37^0.
3. Почему яркость звезд, видимых невооруженным глазом, при рассматривании их в телескоп заметно увеличивается?
4. Для монарха, мореплавателя, адмирала и генерала плохая картография представляла угрозу. Почему?
5. Телескоп имеет объектив с диаметром 40 см и фокусным расстоянием 4 м. Какой нужен окуляр для достичения увеличения в 50 раз? 8 см
6. Почему современную астрономию называют всеволновой?

II. *Задачи (блиц):*

1. Расстояние до Луны – 1,3 световой секунды, а ее угловой диаметр при наблюдении с Земли равен $0{,}5^0$. Во сколько раз Луна меньше Земли по радиусу? 3,7
2. Масса галактики M87 равна $3\cdot10^{12}$ масс Солнца, угловой диаметр 7′, расстояние до нее 55 миллионов световых лет. Найдите среднюю плотность галактики. $9\cdot10^{-21}$ кг/м^3

III. 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.** 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.

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

I_1 – блеск звезды первой величины.

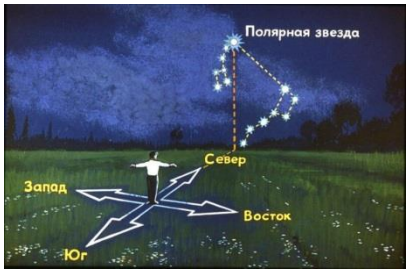
$I_2 = I_1 /2{,}512$ – блеск звезды второй звездной величины.

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

Примеры: Альдебаран (m = 1^m,06), Полярная (m = 2^m,3), Сириус (m = - 1^m,58), Солнце (m = - 26^m,8). Предельная звездная величина светил, доступных для наблюдения телескопом, выражается через его диаметр *D* (в мм) формулой **m = 2,10 + 5lgD**.

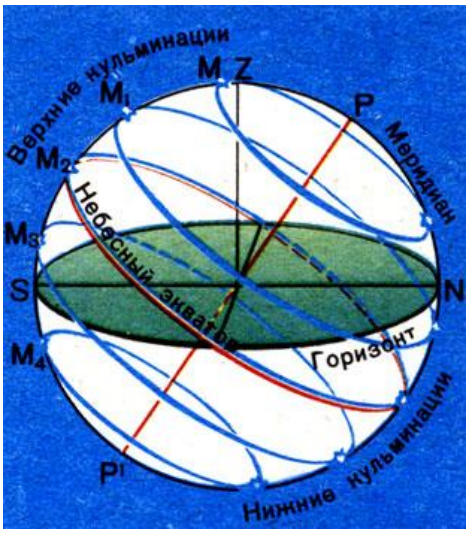
Суточное наблюдение за звездным небом (по кадрам диафильма). Полярная звезда и северный полюс мира. **Полюс мира** (демонстрация на модели).

Небесная сфера - сфера видимого расположения звезд.

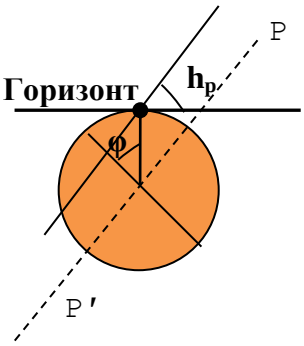


Плоскость горизонта и линия горизонта. Плоскость горизонта делит небесную сферу на две равные части - видимую и невидимую. **Точки севера и юга** (ориентировка ночью по сторонам света). **Полуденная линия** (ориентировка днем по сторонам света). Зенит и надир.

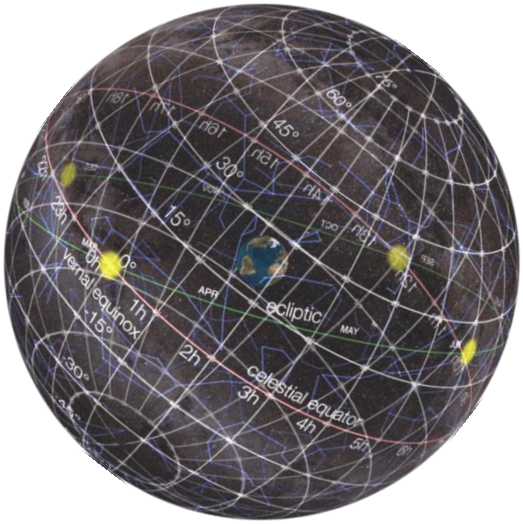
Небесный экватор. Небесный экватор делит небесную сферу на две равные части - северную и южную.



Небесный меридиан делит небесную сферу на две равные части - западную и восточную. **Кульминация светила.** Верхняя и нижняя кульминация светила. Восход и заход светила. Каждая звезда восходит и заходит в одних и тех же точках горизонта. **Угловая высота северного полюса мира h_p и широта места наблюдения φ: φ = h_p. 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.**

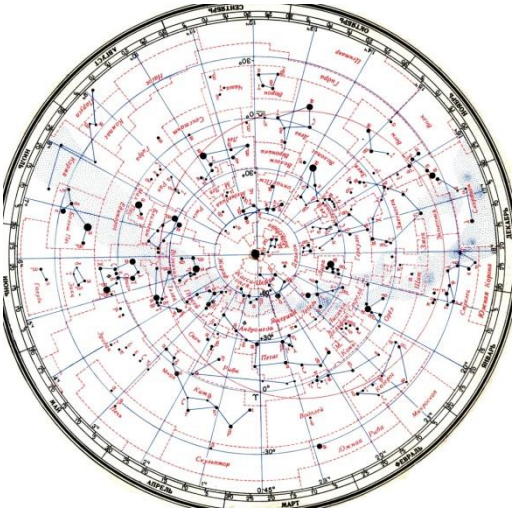


Как из модели небесной сферы "можно изготовить" карту звездного неба? **Подвижная карта звездного неба.** Практическая работа с картой звездного неба: **определение экваториальных координат светил и нахождение светил по их экваториальным координатам.** Нахождение положения светил на небе с помощью модели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



IV. *Задачи:*

1. Во сколько раз блеск Сириуса – $1{,}58^m$ больше блеска α-Центавра – $0{,}27^m$? 3,34
2. Сколько надо звезд шестой звездной величины, чтобы их суммарное излучение сравнялось с видимым излучением Сириуса? 1077
3. 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 $\alpha_1 = 15^h20^m$, склонение $\delta_1 = 71^o46'$), Мирфак (прямое восхождение $\alpha_2 = 3^h24^m$, $\delta_2 = 49^o51'$). $121^o37'$



4. Звезда β Рыб имеет координаты $\alpha = 0^h50^m$, $\delta = 7^o35'$. Звезда φ Водолея находится на 1^h36^m западнее и на $13^o34'$ южнее. Определите координаты φ Водолея. 23^h14^m, $-5^o99'$

Олимпиада:

1. Оцените угловое расстояние между Полярной и Спикой (склонение –11°, прямое восхождение 13^h25^m в градусах. 101^0
2. Любитель ночных пейзажей решил сфотографировать небольшой остров в море на фоне звёздного неба. Он обнаружил, что при съёмке из точки *A*, ближайшей к острову точки прямого берега, Полярная звезда наблюдается в 45◦ к западу от острова. Следующей ночью наблюдатель решил сфотографировать остров с крайней точки пирса, расположенного в 300 метрах от точки *A*. Полярная звезда при этом оказалась прямо над островом. Определите расстояние от берега до острова, если известно, что пирс перпендикулярен береговой линии и имеет длину 50 метров. 350 м
3. На астрографе за 10 с накопления света регистрируются звезды до 15^m. Сколько секунд надо копить свет, чтобы зарегистрировать звезды 18^m? Фоном неба пренебречь. Ответ округлите до целых. Ответ: 158
4. Небольшое рассеянное скопление состоит из 40 одинаковых звезд и имеет общий блеск 8^m. Какой должен быть диаметр объектива телескопа, чтобы в него можно было увидеть отдельные звезды скопления? D~10 см.
5. Как известно, ближайшая к нам звёздная система α Центавра состоит из трёх звёзд – тесной пары α Центавра A ($-0{,}01^m$) и α Центавра B ($+1{,}34^m$) и красного карлика Проксима Центавра ($+11{,}05^m$). Из-за малого расстояния между двумя основными компонентами системы (около 23,4 а.е.) невооружённым глазом они видны как одна звезда. Определите видимый блеск этой «суммарной» звезды. $-0{,}27^m$

Вопросы (блиц):

1. Чему равен азимут и высота зенита?
2. Почему не используют горизонтальные координаты светил для создания карты звездного неба?
3. Могут ли звезды одного созвездия за несколько часов изменить свое положение относительно горизонта? А одна относительно другой?
4. В каких точках небесный экватор пересекается с линией горизонта?
5. В каких точках небесный меридиан пересекается с горизонтом?

6. Есть ли различие между северным полюсом мира и точкой Севера?
7. Определите по звездной карте созвездие, в котором находится галактика М31, если ее координаты $\alpha = 0^h40^m$, $\delta = +41°16'$.
8. Выразите 13 ч 20 мин в градусной мере.
9. В каком созвездии находится Луна, если ее координаты $\alpha = 20^h30^m$, $\delta = -20°$?

Олимпиада:

1. Звезда имела в зените видимый блеск 0^m, а на высоте 30 градусов стала светить вдвое слабее. Какую звездную величину она будет иметь на высоте 20 градусов над горизонтом? Атмосферные условия считать постоянными и однородными.1,4
2. В некотором пункте на поверхности Земли звезды Бетельгейзе и Ригель в созвездии Ориона взошли одновременно. Экваториальные координаты Бетельгейзе $\alpha = 05^ч55.2^м$, $\delta = +7°24'$; координаты Ригеля $\alpha = 05^ч14.5^м$, $\delta = -8°12'$. Найдите широту места наблюдения. Атмосферной рефракцией пренебречь. 33^0
3. Астроном-любитель навел телескоп на туманность и увидел ее в виде едва заметно светящегося маленького пятнышка. Для того чтобы разглядеть его лучше, он вставил перед окуляром линзу Барлоу, которая в 3 раза увеличила эффективное фокусное расстояние его телескопа. Смог ли астроном-любитель лучше разглядеть туманность?
4. При движении наблюдателя вдоль меридиана от города Краснодар (широта +45°) до широты +55° высота Полярной звезды над горизонтом увеличивается. В рамках модели плоской Земли объясните это явление и вычислите радиус сферы неподвижных звезд, считая, что Краснодар находится точно в ее центре. Принять, что положение Полярной звезды совпадает с Северным полюсом мира.

Занятие 3. Годичное движение звездного неба

I. *Вопросы (блиц):*

1. Каковы особенности изменения вида звездного неба в течение суток?
2. На какой широте Земли можно увидеть: а) звезды только одной полусферы (северной или южной); б) все звезды небесной сферы? На полюсах, на экваторе
3. Какие точки небесной сферы не изменяют своего положения относительно земного горизонта? Полюса мира, точки севера и юга, зенит и надир
4. Какой из небесных кругов все светила пересекают дважды в сутки?
5. Координаты звезд равны: $\alpha_1 = 2^h$, $\delta_1 = 0^0$, $\alpha_2 = 8^h$ и $\delta_2 = 0^0$. Каково угловое расстояние между ними на небе? 90^0
6. Под каким углом пересекаются плоскости небесного экватора и математического горизонта? $90^0 - \varphi$
7. Одна двойная звезда состоит из двух звезд 2^m, а другая – из одной звезды 1^m и одной звезды 3^m. Какая из этих пар ярче? вторая
8. На Северном полюсе Земли некая звезда наблюдается на высоте 59°48′. На какой максимальной угловой высоте может наблюдаться эта звезда на Южном полюсе Земли и на экваторе? -59°48′. $30^0 12'$
9. В некоторй точке Земли звезды Дубге и Мерак (α и β Большой Медведицы) одновременно появились над горизонтом. Чему примерно равна широта точки

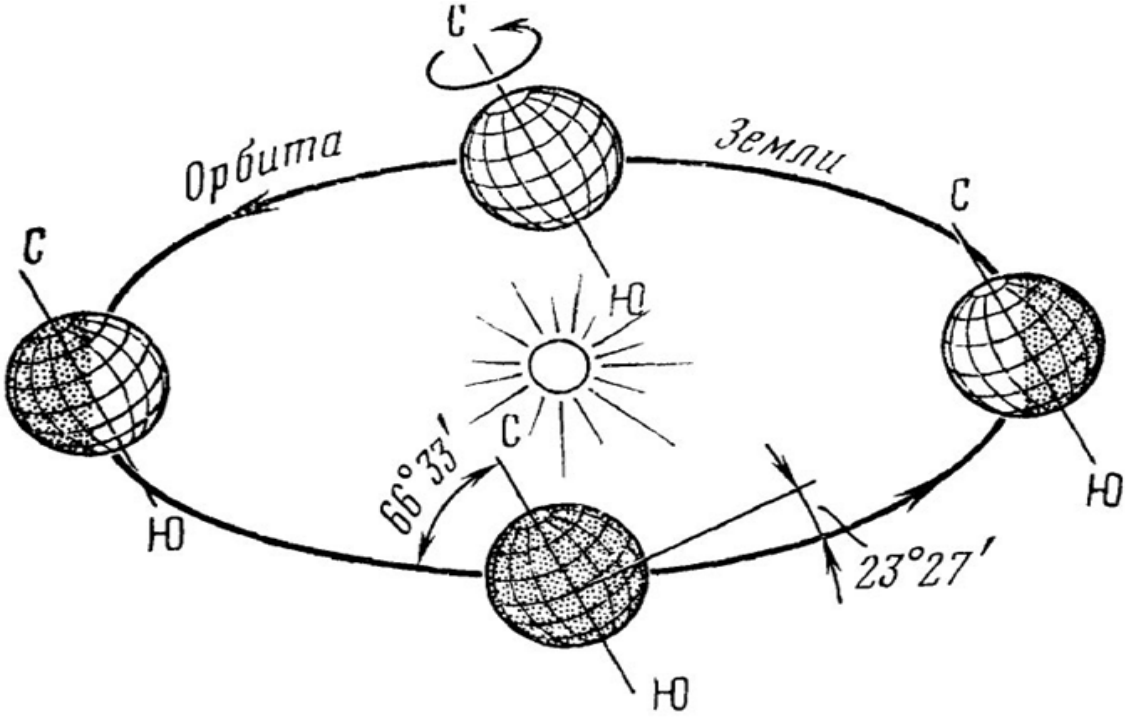
наблюдения? Полярная звозда тоже над горизонтом, широта 0^0.

10. Светило видно в точке неба с азимутом A = 90^0 и высотой h = 0^0. Каково склонение светила? 0^0

II. *Задачи:*

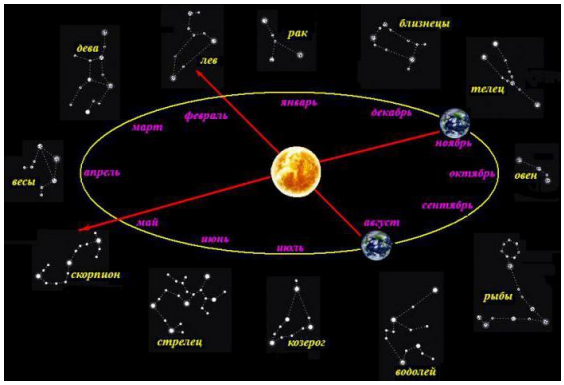
1. В звездном скоплении 250 одинаковых звезд, видимая звездная величина каждой из которых 10^m. Какова видимая звездная величина скопления? 4
2. Рассчитайте разность предельных звездных величин, доступных телескопам с диаметрами объективов 20 см и 5 см. 3
3. Во сколько раз Солнце – $26{,}8^m$ освещает поверхность Земли сильнее, чем полная Луна $-12{,}8^m$? 398000
4. Крупным телескопам доступны звезды, в миллиард раз более слабые, чем звезды, доступные невооруженному глазу. Какова их звездная величина? $28{,}5^m$

III. Годичное изменение вида звездного неба.

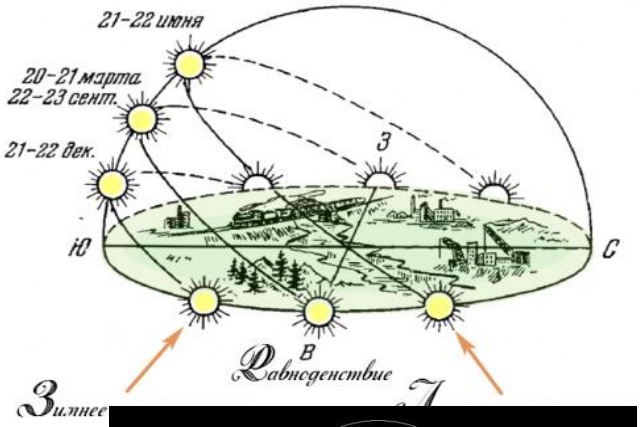


Видимое перемещение Солнца по неясной сфере. Зодиакальные созвездия. Земля вращается вокруг своей оси в том же направлении, что и вокруг Солнца! **Эклиптика - линия видимого движения Солнца по небесной сфере.** Плоскость эклиптики составляет с плоскостью небесного экватора угол $23^0 27'$. Почему?

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 амилярной сферой). Смена времен года на Земле. Точки весеннего и осеннего равноденствия (21 марта и 23 сентября); точки солнцестояния (22 июня и 22 декабря).

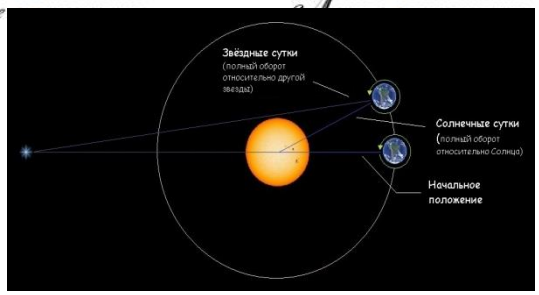


Солнце восходит и заходит вместе с теми звёздами, на фоне которых оно находится и которых из-за него не видно. **Склонение Солнца на небесной сфере меняется в пределах от (примерно) $+23^0 27'$ до $-23^0 27'$.** Эти границы (параллели с широтой $23^0 27'$ в северном и южном полушариях) называются тропиками. Северный тропик называют также тропиком **Рака,** а южный - тропиком **Козерога.** На полюсе видна ровно половина эклиптики.

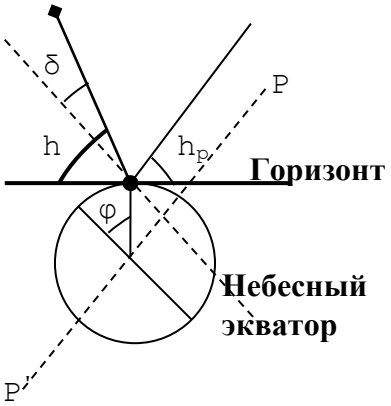


С 30 ноября в Норильске наступает полярная ночь.
Она продлится до 13 января 2022 года.

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



Истинный полдень и истинная полночь. Солнечные истинные сутки. Почему солнечные сутки длиннее звездных суток на $3^m 57^s$? 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:**

$$h = 90^0 - \varphi + \delta.$$

Каким образом можно **определить широту места наблюдения (2-ой способ)**? А если известна высота Солнца в верхней кульминации? Высота светила в нижней кульминации выражается формулой: $h = \varphi + \delta - 90^0$.

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).

IV. *Задачи:*

1. На какой высоте кульминирует Солнце 22 июня в Томске? $\approx 57^0$
2. 23 сентября тень отвесно стоящего столба в полдень составила 0,731 от его высоты. Определите географическую широту местности. $\approx 36{,}2^0$
3. Звезда отстоит от Северного полюса мира на 15^0. Всегда ли она находится над горизонтом в Санкт-Петербурге ($\varphi = 59^0 15'$)? Не всегда
4. 1 июня 2030 года в Томске, около истинного полудня, будет наблюдаться кольцеобразное солнечное затмение. Найдите высоту над горизонтом, на которой будет наблюдаться явление. Склонение Солнца на середину затмения

δ=+22°04´, широта Томска φ=56°28´. Изменение склонения Солнца в течение затмения и рефракцию не учитывать.

5. На каких широтах на Земле верхняя кульминация видимого центра Солнца может происходить на зенитном расстоянии 30°? Атмосферную рефракцию не учитывать. $53^0 30' > \varphi > \mathbf{6}^0 30'$
6. Южный полярный круг – это граница области, куда в любое время суток не попадает солнечный свет в день летнего солнцестояния. Сделайте рисунок и по нему определите южную широту параллели, на которой расположен Южный полярный круг. $\varphi = -66^0 33' 46''$.
7. Приведите в соответствие координаты звезд в экваториальной системе координат, время и место, откуда они видны. Координаты Солнца в это время равны: $\alpha = 12^h 00^m$, $\delta = 0^0 0'$ (точка осеннего равноденствия). Ответ обоснуйте.

Координаты звезд	Время и место, откуда звезды видны
1. $\alpha = 23^h 39^m$, $\delta = +77^0 38'$. 2. $\alpha = 10^h 35^m$, $\delta = -78^0 36'$. 3. $\alpha = 00^h 02^m$, $\delta = +08^0 29'$. 4. $\alpha = 10^h 08^m$, $\delta = +11^0 58'$. 5. $\alpha = 13^h 25^m$, $\delta = -11^0 10'$.	А. Находится наиболее высоко над горизонтом около полуночи. Б. Видна в обоих полушариях на рассвете. В. Видна в обоих полушариях на закате. Г. Видна ночью в северном полушарии. Д. Видна ночью в южном полушарии перед восходом.

1	2	3	4	5
А	Д	Г	Б	В

Олимпиада.

1. К югу от наблюдательной площадки юного астронома Васи на расстоянии 200 м располагается густой лес. Вычислите, при какой максимальной высоте деревьев, они не будут мешать наблюдениям Солнца зимой. Вася живет на широте φ=56°13´, а его телескоп расположен на высоте 1 м над землей. Угловой диаметр Солнца зимой α=32´. Рефракцию не учитывать. 38 м
2. Самолёт на высоте h = 10 км пролетает над Сингапуром (широта $\phi \approx 0^0$) в день весеннего равноденствия. Пассажиры видят восход Солнца. Определите минимальное расстояние до точки на поверхности Земли, где в этот момент видно восход Солнца. На сколько градусов долгота этой точки отличается от долготы Сингапура? Атмосферной рефракцией пренебречь. Земля (точка под самолетом) должна повернуться на угол $3{,}2^0$. 360 км
3. Представим, что Вас выбросило на необитаемый остров. Вечером Вы не увидели Полярную звезду, однако заметили, что Солнце и звёзды садятся перпендикулярно горизонту. Где Вы, вероятно, находитесь, исходя из этих наблюдений? 3

   Варианты ответов:

   1) в лесу
   2) на высоких широтах, за полярным кругом
   3) вблизи экватора
   4) в субтропиках
   5) в пустыне
4. В какой из указанных дней Солнце поднимается выше всего над горизонтом в Сингапуре (широта 1°27′ с.ш.)?

1) 4 января; 2) 10 марта; 3) 8 мая; 4) 20 июня; 5) ⊙ 19 сентября; 6) 4 ноября.

5. В поле стоит одинокий типовой пятиэтажный дом. Торцы здания ориентированы строго на юг и север. С какой стороны раньше растает снег весной — с восточной стороны или с западной? Почему? С западной
6. Начинающий астроном Вася изучает карту звёздного неба. Какие из его выводов ошибочны? Варианты ответов:
   1) Дева входит в число созвездий, по которым проходит Солнце.
   2) Небесный экватор проходит по созвездию Орион.
   3) Скопление Ясли расположено в созвездии Рак.
   4) Самая яркая после Солнца видимая с Земли звезда находится в созвездии Малая Медведица.
7. Как известно, Солнце в течение года движется по небу по эклиптике. Выберите, какие круги и линии оно может пересекать в ходе этого движения для наблюдателя в средних широтах.
   1) небесный экватор
   2) небесный меридиан
   3) математический горизонт
   4) галактический экватор

Вопросы (блиц):

1. Каковы экваториальные координаты Солнца 21 марта, 22 июня, 23 сентября, 22 декабря?
2. На сколько градусов смещается Солнце по эклиптике каждый день?
3. Чем интересны дни равноденствий и солнцестояний?
4. В каких точках горизонта восходит Солнце в дни весеннего равноденствия, летнего солнцестояния, осеннего равноденствия, зимнего солнцестояния?
5. Определите географическую широту, на которой Солнце в день летнего солнцестояния кульминирует в зените.
6. Определите географическую широту, на которой в день зимнего солнцестояния кульминация Солнца происходит в точке юга.
7. Сколько раз в году Солнце на экваторе бывает в зените?

Олимпиада.

Занятие 4. Подвижная карта звездного неба.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Экваториальные координаты некоторой точки неба равны $\alpha = 0^h$ и $\delta = 0^0$. Что это за точка? Точка весеннего равноденствия
2. Широта Москвы $\varphi = 55^0 45'$. Определите угловое расстояние от точки зенита в Москве до полюса мира. $34^0 15'$
3. В какие дни года Солнце достигает зенита для наблюдателя на земном экваторе? В дни равноденствий.
4. Какие звёзды восходят в точности на востоке и заходят в точности на западе?
5. Каковы минимальная и максимальная полуденная высота Солнца в Томске ($\varphi = 56°29'19''$)? Какие звёзды можно увидеть у нас в зените? 57^0, 10^0
6. Каково суточное движение звезд (Солнца) для наблюдателя на экваторе и на полюсе Земли?

7. Восходит ли в Архангельске ($\varphi = 64^0 35'$) звезда Фомальгаут, склонение которого равно $-30^0 5'$? Нет
8. Некто уверял, что его знакомый, живя в Саратове ($\varphi = 51^0 31'$), видел днем звезду Капеллу ($\delta = 45^0 54'$) из очень глубокого колодца. Могло ли это быть?

II. *Задачи (блиц):*

1. На какой широте в День России, 12 июня, высота Полярной звезды наибольшая? 1) 90° с. ш. 2) 60° с. ш. 3) 45° с. ш. 4) 10° с. ш. 5) 23,5° ю. ш. 6) 87° ю. ш.
2. На Северном полюсе Земли некая звезда наблюдается на высоте 59°48′ над горизонтом. На какой максимальной угловой высоте может наблюдаться эта звезда в следующих пунктах Земли (влиянием атмосферы пренебречь)? Ответ приведите в градусах, округлив до десятых. Рассмотреть по рисунку.
   1) Южный полюс Земли. −59,8
   2) Северный полюс Земли. 59,8
   3) экватор. 30,2
3. Выберите из списка все созвездия, которые нельзя наблюдать (хотя бы частично) в средней полосе России. Варианты ответов: Рыбы, Южная Рыба, Кит, Дельфин, Золотая Рыба, Летучая Рыба, Рак, Водолей.
4. Полярное расстояние звезды равно 20°15′. Каково ее зенитное расстояние в нижней кульминации в Вологде ($\varphi = 59^0 13'$)? будет равно 51°02'

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.

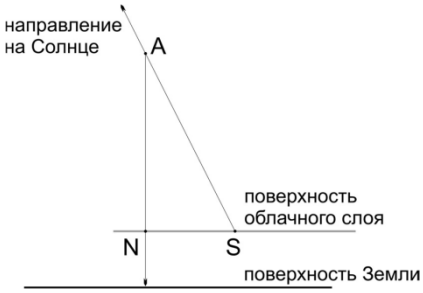
Вопросы:

1. Выберите из списка названия тех звёзд, которые будут видны сегодня в 9 часов вечера в Томске при условии хорошей погоды.
2. Склонение светила $+30^0$, прямое восхождение 7^h. В каком созвездии оно находится?
3. Определите моменты восхода и захода звезды α Большого Пса 22 декабря.
4. Определить дату верхней кульминации звезды Регул в 21 час по местному времени.
5. Звезда Вега оказалась в верхней кульминации в 00^h00^m 1 июля. В какой день она окажется в верхней кульминации в 20^h00^m?
6. Прямое восхождение первой звезды равно 5^h29^m, второй 10^h31^m. Определите, через какое время кульминирует вторая звезда после первой?
7. Сириус кульминировала в 4 часа по местному времени. Какой сейчас сезон года (с точностью до месяца)?
8. Когда восходит звезда, если месяц назад она восходила в 10 часов вечера?
9. Как определить приблизительное положение Солнца для выбранной даты.
10. Как определить время восхода Солнца для выбранной даты?

11. Между какими точками горизонта восходит и заходит Солнце в дни летнего и зимнего солнцестояний?
12. Когда начинается и когда заканчивается полярный день на северном полюсе?
13. Сегодня Сириус взошёл в 23 часа. Во сколько он взойдёт завтра (в той же местности)?

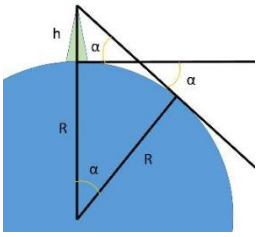
Задачи (блиц):

1. В Москве ($\varphi = 55^0 45'$) в полдень высота Солнца оказалась равной 57°17′. Пользуясь астрономическим календарем (картой звездного неба) определите, в какой день года было сделано это измерение? 11 июня или 3 июля
2. Известно, что орбита Луны наклонена к плоскости эклиптики на угол, примерно равный 5^0. В каком диапазоне высот во время дня осеннего равноденствия может наблюдаться полная Луна в верхней кульминации в Москве (в точке с координатами $\varphi = 56^0$, $\lambda = 37^0$)? Приведите решение.
3. Созвездие Южной Короны имеет приблизительные координаты: $\alpha_1 = 18^ч$, $\delta_1 = -40^0$; созвездие Ориона: $\alpha_2 = 6^ч$, $\delta_2 = 0^0$. Каковы условия видимости этих созвездий в Москве? $h_1 = -6^0$ (не восходящее созвездие); $h_2 = 34^0$. Как изменятся их координаты и условия их видимости через 13000 лет? $h_1 = 41^0$, $\alpha_1 = 6^ч$, $\delta_1 = +7^0$; $h_2 = -13^0$, $\alpha_2 = 18^ч$, $\delta_2 = -47^0$.



IV. Олимпиада:

1. Самолёт летит на высоте 10400 м. В местный полдень 21 июня самолёт пересёк параллель +50°. В это время под ним оказался плотный ровный слой облаков с высотой 2800 м и ниже. На каком расстоянии (линейном) от проекции надира на облаках будет видна тень самолета? В каком направлении (север, юг, запад, восток) относительно точки надира на облаках она будет находиться? Какова была угловая высота Солнца в этот момент? Ответ: 1) примерно 3800 м; 2) к северу; 3) 63.4°.
2. В романе «Таинственный остров» путешественники, чтобы удостовериться, что они на острове, взобрались на одиночную высокую гору. Находясь на самой вершине, инженер Сайрус Смит заметил, что на закате, когда диск Солнца коснулся горизонта, подножие горы как раз скрылось в тени. Найдите из этих данных высоту горы. Рефракцию не учитывать. Решение сопроводите чертежом. $\alpha = 32''$ $h = 276$м.



3. Выберите утверждения, верные для любой точки на территории России. Варианты ответов:
   1) Солнце восходит и заходит каждый день
   2) Луна восходит и заходит каждый день
   3) В любую ясную тёмную ночь можно наблюдать Полярную звезду
   4) Солнце никогда не бывает в зените
   5) Зимой можно наблюдать созвездие Ориона
   6) Можно увидеть полное лунное затмение
   7) Можно увидеть Луну в созвездии Большой Медведицы
   8) Можно увидеть Марс в созвездии Близнецов
   9) Солнце всегда восходит в точке востока, а заходит в точке запада

10) Самый короткий день в году имеет продолжительность не менее 2 часов

4. В некотором пункте на экваторе Земли далекая звезда 1 с прямым восхождением $02^ч00^м$ взошла над горизонтом в $01^ч00^м$ по местному времени. В какое местное время в этом пункте в этот день зайдет за горизонт далекая звезда 2 с прямым восхождением $08^ч00^м$? Атмосферной рефракцией пренебречь. 18 часов 57 минут по местному времени в этот день.
5. Звезда Вега ($\alpha = 18.5^ч$, $h = +39^0$) в некотором пункте в некоторый момент времени проходит кульминацию, при этом она оказывается на 10^0 выше, чем звезда Канопус ($\alpha = 6.5^ч$, $h = -53^0$), обе звезды расположены над горизонтом. Определите широту точки наблюдения. Рефракцию света не учитывать. Вега в верхней кульминации на высоте $+12^0$, Канопус в нижней кульминации на высоте $+2^0$.

Занятие 5. Время и календарь.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Чему равны азимуты точек севера, юга, востока и запада?
2. Азимут светила 45^0, высота 60^0. В какой стороне неба надо искать это светило?
3. Перечислите созвездия, через которые проходят: а) небесный экватор; б) Млечный Путь.
4. В какое время взойдет над горизонтом 12 апреля звезда α-Лиры?
5. В какой день кульминирует в полночь самая яркая звезда неба – Сириус?
6. Как определить в течение дня, в каком полушарии Земли вы находитесь — северном или южном?

II. *Задачи:*

1. Около 1100 лет до нашей эры китайские астрономы установили, что в день летнего солнцестояния высота Солнца в полдень равнялась $79^0 07'$ (к югу от зенита), а в день зимнего солнцестояния $31^0 19'$. Вычислите географическую широту пункта наблюдения и угол бывшего тогда наклона эклиптики к экватору.
2. В устье Беломоро - Балтийского канала высота полюса мира составляет $64^0 33'$. На какой высоте бывает там Солнце в полдень 22 декабря?

III. Время данного географического меридиана (местное время) можно определить так: $T_м = T_o + \lambda$, где T_0 - время на Гринвиче, а λ – долгота. Долготу измеряют в градусах или часах (360^0 = 24 ч) от меридиана обсерватории в Гринвиче. Какое у нас сейчас местное время? **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 Тд (время, которое показывают наши часы (декретное время)). Например, для Москвы $T_д$ = To + 3 (UTC+3), 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 $13^{ч}20^{м}$, по Гринвичу в $6^{ч}20^{м}$, тогда долгота Томска $12^h - 6^h20^m = 5^h40^m$. **Томск: широта $\varphi = 56^0 29' 51''$, долгота $\lambda = 84^0 58' 27'' = 5^h 39^m 46^s$.**

Например, Чукотка находится на меридиане, противоположном Гринвичу (так что там сходятся 180^0 восточной и 180^0 западной долготы).

Задача: Определите географическую долготу пункта наблюдения, если верхняя кульминация Солнца на его меридиане наблюдалась 23 ноября в 17^h56^m по московскому декретному времени.

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

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; и так далее. Високосный год всегда делится на 4 без остатка.

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 $66^0 34'$. Хронометр, идущий по всемирному времени, показал в момент наблюдения 11^h54^m. Показать на земном глобусе (карте) место, где находился корабль.
3. В Омске (n=5) 20 мая $7^h\ 25^m$ вечера. Какое в этот момент декретное и местное время в Новосибирске ($\lambda = 5^h\ 31^m$, n = 6). А в Томске?

Олимпиада.

1. Выберите все года, которые были или будут високосными по григорианскому календарю.

   Варианты ответов: 1) 1700; 2) 1908; 3) 2000; 4) 2200.
2. 26 августа 79 года мощным извержением Везувия были уничтожены Помпеи, Геркуланум и Стабии. Разумеется, эта дата дана по юлианскому календарю. Какая это была бы дата, если бы мы использовали современный григорианский календарь? Запишите число месяца, соответствующее этой дате. Сейчас григорианский календарь опережает юлианский на 13 дней. Каждые 400 лет календари расходятся на 3 дня. Ответ: 24
3. Самолёт на высоте h = 10 км пролетает над Сингапуром (широта $\phi \approx 0^0$) в день весеннего равноденствия. Пассажиры видят восход Солнца. Определите минимальное расстояние до точки на поверхности Земли, где в этот момент видно восход Солнца. На сколько градусов долгота этой точки отличается от долготы Сингапура? Атмосферной рефракцией пренебречь. 12^m48^c

Вопросы (блиц):

1. Долгота Екатеринбурга – около 60 градусов к востоку от гринвичского меридиана. Выразите эту величину в часах.
2. Самолет вылетел 10 ноября из Екатеринбурга (n = 4) в 11^h20^m и прибыл точно по расписанию в Иркутск (n = 7) в 17^h45^m. Сколько времени он летел?
3. Поезд выехал 3 марта из Новокузнецка (n = 6) в 10^h 55^m вечера и прибыл в Омск (n = 5) в 15^h 45^m следующего дня. Сколько времени он ехал?
4. Как определить момент истинного полдня с помощью солнечных часов (тень от предмета самая короткая)?
5. Как определить географическую долготу пункта наблюдения по показанию местных часов в момент подачи сигналов точного времени из пункта с известной долготой.
6. Найдутся ли натуральные числа X, Y и Z, удовлетворяющие условию 28X+30Y+31Z=365?
7. Как определить момент истинного полдня с помощью солнечных часов (тень от предмета самая короткая)?
8. 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?
9. Поезд выехал 15 августа из Омска (UTC+6) в 3 ч 34 мин дня. Во сколько он прибудет в Москву (UTC+3), если всего он ехал 3,5 суток?
10. В каком веке «старый Новый год» будут встречать в ночь на 1 февраля?

Разное

1. В романе Жюля Верна «Таинственный остров» герои оказываются на неизвестном острове и называют его островом Линкольна. В ходе действий книги они узнают, что координаты острова Линкольна – 34°57′ ю. ш., 150°30′ з. д. Позже они нашли карты и узнали, что такого острова на них нет, но поблизости есть риф Марии-Терезы (он же остров Табор, координаты 37°11′ ю. ш., 151°15′ з. д.). Герои произведения путешествовали к нему и обратно на самодельном небольшом корабле. Какое расстояние они прошли (туда и обратно вместе), если считать, что двигались они по самому короткому пути?
2. В таблице приведено расписание двух рейсов авиакомпании «Аэрофлот» между аэропортами Шереметьево (SVO) в Москве и Елизово (PKC) вблизи Петропавловска-Камчатского.

Рейс	Вылет	Прилёт	
SU 1730	SVO 17:10	PKC 10:45+1	Ответ: 8 ч 35 мин
SU 6286	PKC 16:30	SVO 16:30	Ответ: 9 ч 00 мин

   Время указано местное, отметка «+1» обозначает прибытие на следующий календарный день после вылета. Определите продолжительность обоих полётов, если известно, что полёт в восточном направлении занимает на 25 минут меньше времени, чем в западном.

Занятие 6. Конфигурации планет.

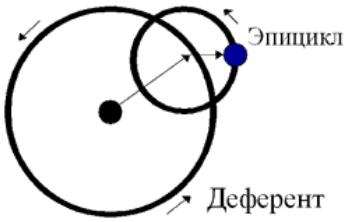
I. Обобщающее повторение по рисуночным обобщающим таблицам:

- **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.

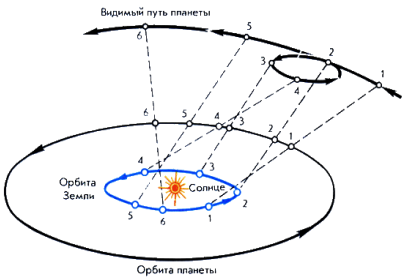
Развитие представлений о строении солнечной системы.

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



Гелиоцентрическая система. Согласно этой системе:

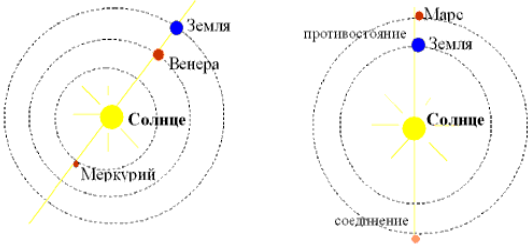
- Земля имеет форму шара.
- Земля вращается вокруг неподвижного Солнца по круговой орбите, делая оборот (возвращаясь на прежнее место) примерно за год.
- Земля также вращается вокруг своей оси, делая оборот примерно за сутки. Концы этой оси (точки, где она пересекает Землю) называются северным и южным 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.

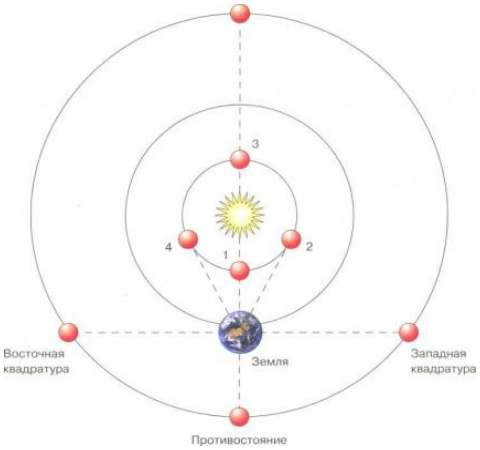
Галилео Галилей: *"Оставив дела земные, я обратился к делам небесным"*. Открытия Галилея: фазы Венеры, горы на Луне, спутники Юпитера.

Состав и масштабы Солнечной системы (демонстрация с использованием модели планетной системы). **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 360^0 (2π) при их движении вокруг Солнца.

Для внешних планет:

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

Для внутренних планет:

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

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

II. *Задачи:*

1. Известно, что максимальное угловое расстояние между Венерой и Солнцем равно 48^0. Найдите радиус орбиты Венеры. 0,74 а.е.
2. Сатурн находится в противостоянии с Землей 10 мая. Когда произойдет соединение этих планет? 0,52 года
3. Чему равнялся бы синодический период обращения планеты, звездный период обращения которой составлял бы 687 сут? 783 сут.
4. Орбита астероида 594913 Aylochaxnim лежит целиком внутри орбиты Венеры. Его сидерический период равен 151,2 дней, орбитальное движение прямое. Считая орбиту астероида круговой, определите промежуток времени, который проходит между западной элонгацией и нижним соединением. 64,5 сут

Вопросы:

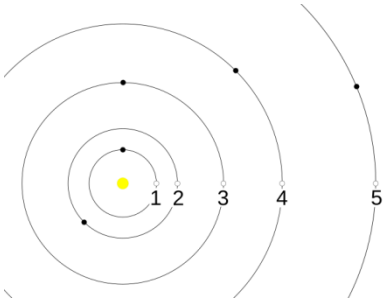
1. Какие планеты могут пройти на фоне диска Солнца, а какие не могут?
2. Планета видна на угловом расстоянии 60^0 от Солнца. Внешняя это планета или внутренняя? внешняя
3. Меркурий находится в наибольшей западной элонгации. В какой стороне его

можно увидеть невооруженным глазом и в какое время суток? Утром на востоке

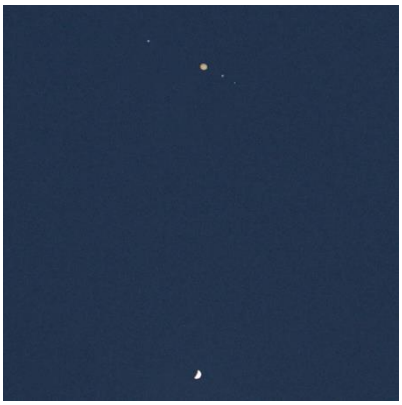
4. Во время каких конфигураций хорошо видны внутренние и, во время каких - внешние планеты?
5. Через какой промежуток времени повторяются моменты максимальной удаленности Венеры от Земли, если ее звездный период равен 224,70 сут?585
6. Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации в декабре. В каком созвездии она при этом была видна?

Олимпиада.

1. Какие небесные тела могут наблюдаться с Земли на угловом расстоянии 90° от Солнца (при условии, что Солнце уже село и наблюдениям не мешает)?
   1) Луна
   2) Меркурий
   3) Венера
   4) Юпитер
   5) Альдебаран
2. При наблюдении прохождения Венеры по диску Солнца в июне 2012 года освещенность, создаваемая Солнцем на Земле, упала на 1/1000 от своего значения. Во сколько раз больше или меньше относительное падение освещенности от Солнца во время прохождения Венеры для наблюдателя на Марсе? Орбиты планет считать круговыми. 1/4000
3. Вокруг далёкой звезды по круговым орбитам движутся пять планет с периодами 1, 2, 5, 10 и 20 лет. На третьей от звезды планете живёт разумная цивилизация, которая основала свои базы на оставшихся четырёх планетах. Все планеты оснащены такими средствами связи, что могут общаться друг с другом недолго только в моменты максимального сближения. В некоторый момент времени все планеты выстроились в одну линию по одну сторону от звезды, но сразу после окончания сеансов связи на главной планете произошло Очень Важное Событие. Определите, в каком порядке новость будет облетать планеты и за какое время об этом Событии смогут узнать на всех планетах? 1,1. 3,3. 2. 1,25.



4. На фотографии показано тесное соединение двух планет, сфотографированное с помощью небольшого (8 см) телескопа. Фотография прямая, не перевёрнутая, сделана в северном полушарии Земли.



1) Соединение каких планет показано на фотографии?
⊙ Венеры и Юпитера
2) Когда сделана эта фотография?⊙ Вскоре после заката
5. На поверхность некой очень похожей на Землю планеты из протопланетного диска ежесекундно выпадает примерно 1020 пылевых частиц. Каждая пылинка представляет шарик радиусом 1 микрометр, состоящий из вещества плотностью 3000 кг/м^3. За сколько лет на планету выпадет вещество суммарной массой в 1 массу Луны? Ответ дайте в миллионах лет. Для справки: масса Земли равна $6 \cdot 10^{24}$ кг, а масса Луны в 81 раз меньше.

Занятие 7. Законы Кеплера.

I. *Вопросы (блиц):*

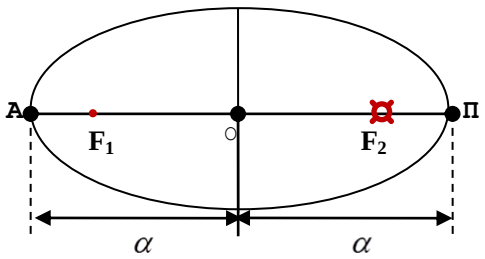
1. Можно ли наблюдать Венеру утром на западе, а вечером на востоке?
2. Почему положение планет не изображено на картах звездного неба?
3. В какой конфигурации внутренней планеты возможно наблюдение её прохождения по диску Солнца?
4. Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации в декабре. В каком созвездии она при этом видна? Козерог
5. Могут ли наблюдаться в марсианскую полночь с поверхности Марса внутренние планеты?
6. Почему соединения не считают удобными конфигурациями для наблюдения внутренних и внешних планет?

II. *Задачи (блиц):*

1. Определите звездный период обращения Марса, зная, что его синодический период равен 780 сут. 687 сут
2. 30 октября 2021 года планета Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации в небе Земли, а сама Земля – в наибольшей западной элонгации в небе Сатурна. Определите угловое расстояние между Венерой и Сатурном при наблюдении с Земли в этот день. Орбиты всех планет считать круговыми и лежащими в одной плоскости. 44°.

III. 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).

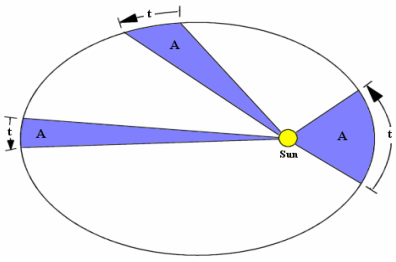
Законы Кеплера: 1. Планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце.



Эллипс. Фокусы эллипса. **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. Наименьшее и наибольшее расстояние планеты от Солнца: $F_2П = \alpha(1-e)$. $F_2A = \alpha(1+e)$. **Среднее расстояние планеты от Солнца равно длине большей полуоси ее орбиты.** $\alpha_з$ = 149597870691 м ≈ $149{,}6 \cdot 10^6$ км = 1 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: $\upsilon_1 \cdot r_1 = \upsilon_2 \cdot r_2$.

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

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{\alpha_1^3}{\alpha_2^3}.$$

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.

IV. *Задачи:*

5. 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. 2,67 а.е.. 3,57 а.е.. 5,51 лет. 1,22 лет
6. Некоторое тело в перигелии движется в 3 раза быстрее, чем в афелии. Найдите эксцентриситет его орбиты. 0,5
7. Космический телескоп был выведен на гелиоцентрическую орбиту, величина большой полуоси которой отличается на 10% от размера большой полуоси земной орбиты. Считая орбиты телескопа и Земли круговыми и лежащими в одной плоскости, определите дату, в которую Земля и космический телескоп вновь окажутся на одной прямой с Солнцем по одну сторону от него. 7,5 лет.
8. 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.
9. Периоды спутников планеты X, движущихся по круговым орбитам, соотносятся как 1:2, то есть оборот первого спутника занимает в два раза меньше, чем у второго. Найдите скорость движения первого спутника по орбите, если скорость орбитального движения второго спутника равна 10 км/с. 40 м/с
10. Для Венеры определить скорости в перигелии и в афелии, если известен эксцентриситет орбиты Венеры (0,007), среднее расстояние Венеры от Солнца (0,723 а.е.) и средняя скорость ее обращения вокруг Солнца (35 км/с).

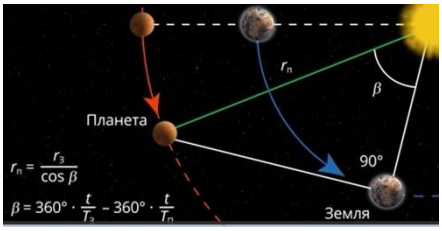
Олимпиада.

1. Определите угловые диаметры Венеры и Меркурия в те моменты, когда они проходят по диску Солнца. Выразите их в угловых секундах. Радиус Венеры 6050 км, радиус Меркурия 2440 км. Орбиты всех планет считать круговыми. Радиус орбиты Венеры 0,72 а.е., радиус орбиты Меркурия 0,39 а.е. 59,4″. 11″.
2. Межпланетная станция, пересекая орбиту астероида, имеющего период обращения вокруг Солнца ровно 11 лет, отправила сигнал наземному радиотелескопу слежения. Скорость станции относительно Солнца в этот момент была равна 18 км/с, а Земля наблюдалась со станции в наибольшей элонгации. Считая орбиты Земли и астероида круговыми, ответьте на ряд вопросов.
   1) В какой конфигурации будет наблюдаться станция с Земли?
   - соединение
   - противостояние

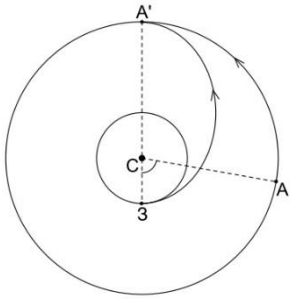
- квадратура
- наибольшая элонгация
- эта конфигурация не имеет специального названия
- невозможно указать однозначно

2) Чему равен радиус орбиты астероида (ответ укажите в а.е.)? 4,95
3) Чему равно расстояние от станции до Земли (ответ укажите в а.е.)? 4,84
4) Сколько времени будет идти сигнал (ответ укажите в часах и округлите до сотых)? 0,67 ч
5) Какой путь пройдёт станция за время, требующееся сигналу для того, чтобы дойти до телескопа (ответ укажите в а.е.)? 0,00029 а.е.

3. 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 90^0 от Солнца, если считать обиты планет окружностями. Сатурн прошел 6+φ, а Земле 90^0 +φ тогда 12 апреля. Или как на рисунке, снова через 88 суток и тогда 5 октября.



4. С Земли к некоторому астероиду по наиболее экономичной орбите была запущена автоматическая межпланетная станция. На каком угловом расстоянии друг от друга были Земля и астероид при наблюдении с Солнца в момент запуска? Орбиты астероида и Земли считать круговыми и лежащими в одной плоскости. Радиус орбиты астероида 3 а.е. На рисунке С — положение Солнца, З — положение Земли и А — астероида на орбитах во время старта АМС, А′ — положение астероида во время финиша. 80^0



Вопросы (блиц):

1. Когда Земля ближе к Солнцу – в январе или в июле?
2. Во сколько раз Юпитер ближе к Земле в противостоянии, чем в верхнем соединении?
3. Венера вступила в тесное соединение с Марсом. У какой из этих двух планет видимый диаметр в это время больше?
4. Почему радиосигнал от Земли к Марсу идет от трех до двадцати двух минут?
5. Отношение квадратов периодов обращения двух астероидов вокруг Солнца равно 64. Во сколько раз большая полуось орбиты одного астероида меньше большой полуоси другого астероида?
6. Олимпиада длится 3 часа. Определите, на какое расстояние сместится Земля за время проведение муниципального тура. Необходимые данные возьмите в справочных данных. Орбиту Земли считать круговой.

Олимпиада.

1. Астрономическая обсерватория будущего построена на одном из карликовых тел Солнечной системы, обращающемся вокруг Солнца по круговой орбите. Астрометрические измерения одной звезды показали, что в своем движении относительно более далеких звезд в этой области неба она описывает окружность радиусом 0.5″ с периодом 200 лет. Определите расстояние до этой

звезды. Известно, что звезда не входит в состав какой-либо двойной или кратной системы.

2. 30 января 2016 года Венера, обгоняя Землю в своем орбитальном движении ровно на 90^0, вступила в небе Земли в тесное соединение с Сатурном. Определите, в какой день 2016 года Сатурн при наблюдении с Земли вступит в противостояние с Солнцем? Обиты всех планет считать круговыми. Ближайшее противостояние Сатурна наступит 5 июня
3. Последняя максимальная утренняя элонгация Меркурия в 2023 году произошла 22 сентября. В каких месяцах можно наблюдать Меркурий в максимальной элонгации утром в 2024, году и какая из этих элонгаций наиболее благоприятна для наблюдений? Орбиту Меркурия считать круговой.
4. 2 ноября 2021 года в 15:50 UT 84-километровый астероид Зигелинда закрыл собой Шератан (бета Овна, +2,6 зв. вел.). Большая полуось орбиты Зигелинды a = 3.14 а. е. Оцените наибольшую возможную продолжительность этого покрытия для земных наблюдателей. Орбиты Земли и астероида считайте круговыми и лежащими в одной плоскости
5. Станция управления полётами, расположенная на Земле, наблюдает за спутником Сатурна Титаном. В момент захода Титана за диск Сатурна космический аппарат на орбите Титана отправляет световой сигнал на Землю. Определите с точностью до нескольких минут, с какой временной задержкой должен быть отправлен ответ от станции управления полётами, чтобы спутник получил ответ сразу после того, как выйдет из-за диска планеты. Орбиты Земли, Сатурна и Титана считать круговыми и лежащими в одной плоскости. Сатурн в момент наблюдений находится в противостоянии.
6. Взгляните на два ярких светила чуть выше центра снимка. В начале марта 2023 года наблюдалось тесное соединение Венеры (справа) и Юпитера (слева). При наибольшем сближении угловое расстояние между ними составляло меньше 1°. Конечно, видимая близость планет на земном небе не означает их близкое расположение в пространстве. Известно, что радиус орбиты Венеры равен 0.72 астрономической единицы, орбиты Юпитера — 5.20 астрономической единицы. Какое наименьшее расстояние в пространстве в принципе может разделять эти две планеты? Орбиты планет считайте круговыми и лежащими в одной плоскости. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до сотых. 4.48. Эксцентриситет орбиты Юпитера составляет 0.049. Это означает, что при движении Юпитера по эллиптической орбите вокруг Солнца расстояние от большой планеты до центрального светила может изменяться в пределах 4.9 % относительно большой полуоси, длина которой равна 5.20 астрономической единицы. Учитывая эксцентриситет орбиты Юпитера и считая эксцентриситет орбиты Венеры пренебрежимо малым, уточните ответ на предыдущий вопрос. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых. Ответ: 4.2

Занятие 8. Светимость звезд.

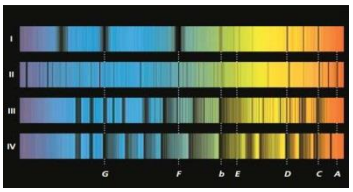
I. *Вопросы (блиц):*

1. Олимпиада длится 3 часа. Определите, на какое расстояние сместится Земля за время проведение муниципального тура. Необходимые данные возьмите в справочных данных. Орбиту Земли считать круговой. 7,5′, 324000 км.
2. Вычислите расстояние Марса от Земли в противостоянии и соединении, если средний расстояния этих планет от Солнца соответственно равны 228 и 150 млн. км. 78 млн. км, 378 млн. км.
3. Плутон был открыт по данным снимков неба, полученных в конце января 1930 года. В этот момент Плутон наблюдался в созвездии Близнецов. Оцените, на каком расстоянии от Земли Плутон находился в этот момент, если расстояние от него до Солнца было равно 41,3 астрономических единиц. В К. Июнь. 40,3 а.е.
4. Во сколько раз Юпитер ближе к Земле в противостоянии, чем в соединении. Орбиты планет считать круговыми. 1,5 раза
5. Что наблюдается чаще – прохождение Марса или Меркурия по диску Солнца?
6. В какое время года Солнце быстрее движется по эклиптике?

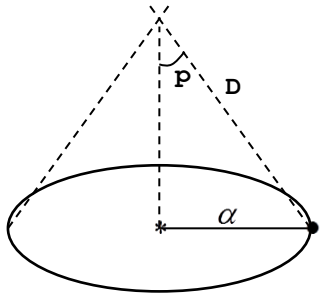
II. *Задачи (блиц):*

1. На какое максимальное угловое расстояние от Солнца может уходить Земля при наблюдении с Марса? Орбиту Марса можно считать круговой. 41^0
2. Большая полуось орбиты Марса равна 1,52 а.е., эксцентриситет 0,09. Найдите минимальное расстояние между Марсом и Землей в «великом противостоянии». 0,37 а.е.
3. Иногда коммета Галлея подходит близко к Земле. При этом один оборот вокруг Солнца она делает за 75 лет. На какой максимальное расстояние от Солнца она может удалиться? 34,5 а.е.
4. 18 августа некоторого года Юпитер находился в противостоянии с Землей, Марс в западной квадратуре, а Меркурий в максимальной западной элонгации. Определите расстояния между планетами: Юпитер и Марс. Определите угол между Марсом и Меркурием разделяющий планеты на небе Земли. Орбиты планет считать круговыми и лежащими в одной плоскости. 4,35 а.е. $67{,}7^0$.
5. Полет космического аппарата с Земли к некоторой планете по оптимальной траектории занял 6 лет (период 12 лет). Что это за планета? Сатурн (9,43 а.е.)

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.** Некоторые очень специфические цвета вообще отсутствуют в спектрах звезд, причем отсутствующие цвета разные для разных классов звезд. Почему? **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).



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

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

1 пк = 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.

$$D = \frac{1}{p}(пк)$$

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

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

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

$L = \frac{P}{P_{\otimes}} = 2{,}512^{4{,}8-M}$; $\lg L = 0{,}4 \cdot (4{,}8 - M)$. $P_{\odot} = 3{,}827 \cdot 10^{26}$ Вт. Пример: Проксима Центавра (Кентавра): L = 0,000081, Ригель: L = 23000, Сириус: L = 23.

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

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

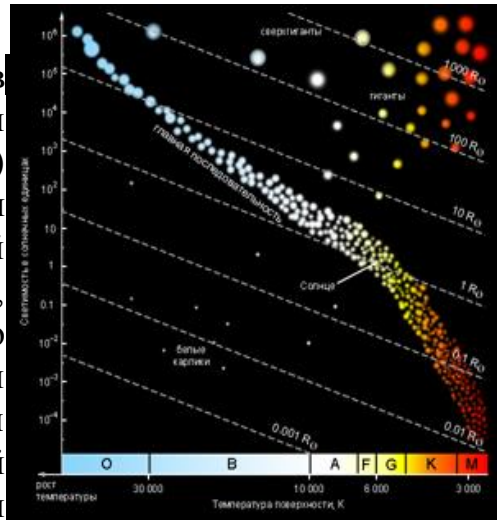


Диаграмма "спектр - светимость" (зарисовать в тетрадь) - точечная диаграмма зависимости светимости (или абсолютной звёздной величины) звёзд от их эффективной температуры (или спектрального класса). Интересно то, что на этой диаграмме звёзды, представленные в виде точек, склонны группироваться в несколько 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. Звезды в течение жизни проходят по диаграмме довольно сложные траектории, но большую часть своей жизни все звезды проводят на главной последовательности. **Соотношение «масса – светимость» для звезд главной последовательности: $L \sim M^4$.**

IV. *Задачи:*

1. Параллакс звезды 61 Лебедя равен 0,37″. Чему равно расстояние до нее в световых годах? 8,8 св. лет
2. Какова светимость звезды ζ Скорпиона, если ее видимая звездная величина 3^m,

а расстояние до нее 7500 св. лет? 158582

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. 14,7; 113.

Олимпиада.

1. В 2007 году была получена оценка годичного параллакса Бетельгейзе, равная $6.55 \cdot 10^{-3}$ угловой секунды. В 2020 году была получена оценка, равная $5.95 \cdot 10^{-3}$ угловой секунды. На сколько процентов большим получается расстояние до Бетельгейзе по данным 2020 года по сравнению с 2007 годом? Различие оценок не связано с собственным движением Бетельгейзе в пространстве, а только с погрешностью измерения параллакса. Какая пространственная скорость соответствовала бы такому перемещению, будь оно реальным? 10%; 1,2 пк/год
2. Расстояние до космических объектов — одна из важнейших физических величин, необходимых для понимания устройства Вселенной. Наблюдения показали, что расстояние от Земли до некоторой звезды равно 50 «условным единицам». Что точно может быть этой «условной единицей»? Варианты ответов: 1) Астрономическая единица; 2) Парсек; 3) Световая минута; 4) Световой год; 5) Радиус орбиты Юпитера; 6) Расстояние до Сириуса.
3. Космический корабль будущего полетел к звезде χ Дракона с постоянной скоростью 1/10 скорости света. Через сколько лет после старта земляне получат рапорт от командира космического корабля о прилёте в заданную точку, если параллакс звезды составляет 0,125″? 287 лет
4. Переменная звезда V Лебедя по радиусу в 800 раз превосходит Солнце. Она окружена пылевой оболочкой с внутренним радиусом 12 а.е. Радиус Солнца равен 700000 км. Выразите внутренний радиус оболочки в радиусах звезды, округлите до десятых. Расстояние до V Лебедя равно 540 пк. Чему равен угловой радиус внутренней части пылевой оболочки? Ответ выразите в угловых секундах, округлите до тысячных. Ответ: [3.16; 3.26]
5. Космический аппарат стартует с поверхности Земли со скоростью 0.00001 (или 10^{-5}) парсек в год. Сколько ему потребуется времени, чтобы без последующей работы двигателей достичь окрестностей звезды α Центавра? Расстояние до α Центавра составляет 4,4 световых года. Не достигнет никогда, скорость 10 км/с.

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. В каких единицах принято измерять углы в астрономии?

1) Герц; 2) Гигабайт; 3) Градус Фаренгейта; 4) Градус Цельсия; 5) Минута; 6) Парсек; 7) Радиан; 8) Секунда; 9) Час.

4. Каким образом измеряют расстояние до звезд?
5. Определите светимость звезды, поверхностная температура которой такая же, как у Солнца, а радиус звезды в 10 раз больше солнечного.
6. Звезды различают по "цвету". Есть, например, красные и желтые карлики, голубые гиганты..., но только у писателей-фантастов встречаются "зеленые" звезды. Почему мы не видим эти звезды в телескоп?

Олимпиада.

1. После известных событий, описанных в фильме «Аватар», к планете Пандора (спутнику гипотетического газового гиганта Полифем), относящейся к звездной системе Альфа Центавра, была направлена дипломатическая миссия. Делегация с Земли отправилась на корабле со скоростью в 12 раз меньшей скорости света. Корабль Пандорцев отправился в путешествие на 3 года позже, но их скорость вдвое выше, чем у землян. На каком расстоянии от Земли и от Пандоры произойдет их встреча? Сколько времени займет путешествие для земного корабля? Насколько будет запаздывать трансляция этих межзвездных переговоров для земных наблюдателей и политиков? Расстояние между Землей и Пандорой на момент старта всех кораблей было 4 световых года.
2. Планета обращается вокруг звезды по круговой орбите с периодом ровно 10 лет, в ее небе звезда имеет угловой диаметр ровно 10′ (десять угловых минут). Найдите среднюю плотность звезды.
3. Звезда α Центавра А похожа на Солнце, находится в 4,3 светового года от нас и имеет звёздную величину 0^m. Какова была бы звёздная величина этой звезды, находись она в центре нашей планетной системы вместо Солнца? $m = m^0 + 5\lg(r/r_0) = -27{,}5^m$
4. Метеор наблюдался на поверхности Земли в обширной области радиусом 1000 км, и в двух наиболее удаленных друг от друга точках этой области он имел блеск 0^m. Какова была максимальная звездная величина метеора, видимая с поверхности Земли? Длиной пути метеора, рельефом Земли, атмосферной рефракцией и поглощением света пренебречь.

Занятие 9. Двойные звезды.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Почему некоторые планеты кажутся ярче, чем самые яркие звезды?
2. В какой интервал попадает параллакс объекта, расстояние до которого равно 55 млн а.е.? 0,0037″
3. Какой параметр звезды определяет её принадлежность к данному спектральному классу?
4. Переменная звезда пульсирует так, что температура поверхности меняется обратно пропорционально радиусу звезды. Во сколько раз должен уменьшиться объем звезды, чтобы она стала ярче на 1^m? 4
5. Красная звезда имеет температуру 3000 K, а белая 10000 K. Во сколько раз отличаются размеры звезд, если они имеют одинаковые светимости? В 11 раз.
6. Две звезды имеют одинаковые массы и светимости, но поверхность одной из них вдвое горячее. У какой из звезд средняя плотность больше? Во сколько раз?
7. Как с помощью диаграммы спектр–светимость можно определить расстояние до звезды?

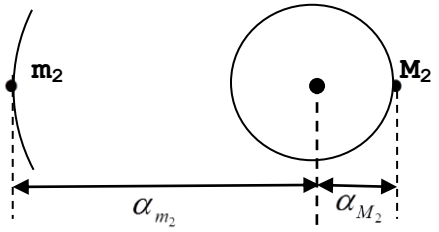
II. *Задачи:*

1. Вычислите абсолютную звездную величину Сириуса, зная, что его параллакс 0,371″, а видимая звездная величина - $1{,}58^m$. $1{,}27^m$
2. Известно, что на 1 $м^2$ поверхности Земли, расположенной перпендикулярно солнечным лучам, приходится 1360 Вт солнечного излучения. Какова условная

стоимость солнечной энергии, попадающей в течение футбольного матча (90 минут) на футбольное поле размером 75×100 м^2, если Солнце находится вблизи зенита, а 1 кВт·ч энергии стоит 5 рублей? Ответ выразите в рублях. 76500 руб

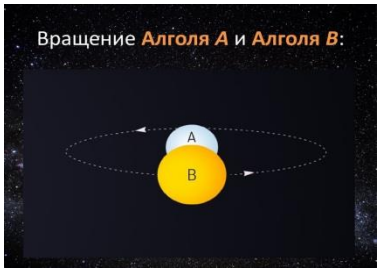
3. Определите радиус звезды α - Центавра, если ее температура 5750 К, а абсолютная звездная величина $4{,}38^{\mathbf{m}}$. $P = L\cdot P_{\odot}$; $P = W\cdot S = \sigma\cdot T^4\cdot 4\pi R^2$;

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 ≥ 3 называют кратными. Определение масс физически двойных звезд:



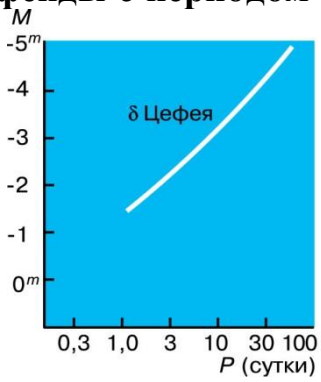
1) $\frac{T_1^2}{T_2^2}\cdot\frac{M_1+m_1}{M_2+m_2}=\frac{\alpha^3{}_{m_1}}{\alpha^3{}_{m_2}}$. 2) $M_2 : m_2 = \alpha_{m_2} : \alpha_{M_2}$.

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 скорости звезд (эффект Доплера): $\upsilon_л = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$. Например, при наблюдении в небольшой телескоп звезда Альбирео (β Лебедя) разрешается на два компонента — оранжевый гигант Альбирео А с видимой звездной величиной 3,1 и голубую звезду Альбирео В, чья видимая величина чуть меньше и составляет 5,1. Период, с которым эти звезды вращаются вокруг друг друга, довольно долгий — около 100 000 лет. Расстояние между ними составляет около 30 световых лет. Спектральный анализ показал, что оранжевый Альбирео А тоже состоит из двух компонентов — Альбирео Аа и Альбирео Ас, что делает ее спектрально-двойной звездой, то есть звездой, чью двойственность можно обнаружить с помощью спектральных наблюдений.



Затменно-двойные звезды (Алголь) - звезды, изменяющие свой блеск вследствие затмения одного компонента двойной звезды**.** Две компоненты Алголь-А и **Переменные звезды – цефеиды.** Почему изменяется светимость цефеиды? Период переменности δ Цефея 5,37 суток, а амплитуда изменения блеска от 4,6 ^{m} до 3,7 ^{m}.

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. У классических цефеид, чем больше светимость звезды, тем больше период ее пульсаций. Формула, связывающую абсолютную звездную величину цефеиды M с ее периодом T (измеряемым в днях):



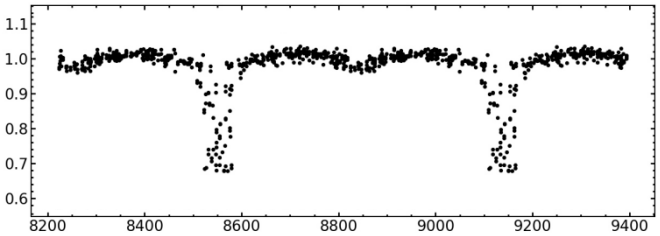
M = −2,81·lgT−1,43. Определение расстояния до δ-Цефеи.

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. 7,6 от массы Солнца.
2. Две звезды солнечной массы обращаются вокруг общего центра масс за 25 суток, Третья звезда, также похожая на Солнце, удалена от этой пары на расстояние в 100 раз большее, чем расстояние между первыми двумя звездами. Каков период обращения третьей звезды? 56 лет
3. Какова масса системы из двух звезд, если «темная» звезда имеет массу, равную одной четверти массы яркой звезды в двойной звезде Спике? В этом случае орбита «темной» звезды имеет радиус в четверо больший радиуса яркой звезды и радиус относительной орбиты в пятеро больше радиуса относительной орбиты Спики. $7{,}48 \cdot 10^{30}$ кг

Олимпиада.

1. Начинающий астроном наблюдает затменно-двойную звезду. На рисунке приведена кривая блеска для неё. По оси абсцисс отложено количество суток, прошедшее с 14 января 1993 года до момента наблюдения. Определите приблизительный период обращения звёзд–компонентов системы в сутках. 600 лет



2. Предположим, что у Солнца появилась звезда-спутник малой массы, которая в небе Земли светится как звезда -10^m , а средние угловые размеры у нее такие же как у Урана. Какова эффективная температура этой звезды? Чему равен период ее обращения, если известно, что ее светимость в 100 раз меньше, чем у Солнца? Орбита звезды круговая.

Эффективная температура звезды равна 2800 К. Подставляя численные данные, получаем 220 а.е. Орбитальный период звезды составляет **3300 лет**

3. От звезды 0^m на 1 $см^2$ земной поверхности падает около 1 млн. фотонов в секунду. Сколько фотонов падает на фотопластинку от звезды 20^m за 1 час, если диаметр объектива телескопа 1 м? $2{,}83 \cdot 10^5$
4. Красная и оранжевая звёзды составляют затменно-двойную систему. Красная звезда на 0.5^m ярче оранжевой, а её радиус в 2.6 раза больше. Определите падение блеска двойной звезды в главном и вторичном минимуме, если затмения в системе центральные. Чему равно отношение температур звёзд? Потемнением дисков звёзд к краю пренебречь. 1,44

Вопросы:

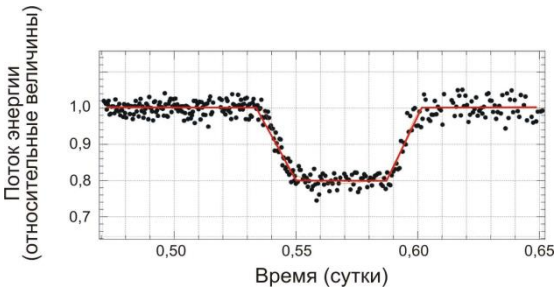
1) Где на небе находится "звезда дьявола"?
2) Во сколько раз красный гигант больше красного карлика, если их светимости отличаются в 100 раз?
3) Как изменится характер движения звезды, если недалеко от неё поместить ещё одну? А ещё?

Разное.

1. Пользуясь графиком "период - абсолютная величина", определите расстояние до цефеиды. Цефеида имеет период десять суток и среднюю видимую звездную величину $4{,}8^m$.
2. Две главные звезды созвездия Ориона - Бетельгейзе и Ригель – примерно одинаково яркие в небе Земли, но Бетельгейзе в 3,5 раза холоднее. Как соотносятся угловые диаметры этих звезд? Бетельгейзе больше в 12 раз
3. Две звезды, входящие в затменную двойную систему, имеют одинаковые размеры, а температура первой звезды вдвое больше температуры второй звезды. Орбиты звезд лежат точно на луче зрения. Определите глубину главного и вторичного минимумов затменной переменной звезды.

Олимпиада.

1. Две звезды солнечной массы обращаются вокруг общего центра масс за 25 суток. Третья звезда, также похожая на Солнце, удалена от этой пары на расстояние в 100 раз больше, чем расстояние между первыми двумя звёздами. Каков период обращения третьей звезды? (Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг). 55,9 лет.
2. Звезда 15^m обращается вокруг темного объекта значительно большей массы по круговой орбите. Гелиоцентрическое собственное движение звезды меняется циклически с периодом 60 лет, при этом его минимальное значение по модулю составляет от 0.030″/год, а максимальное 0.050″/год, направление гелиоцентрического собственного движения при этом остается постоянным. Гелиоцентрическая лучевая скорость колеблется от 10 км/с до 50 км/с тем же периодом, также не меняя направления. Найдите светимость звезды и массу темного объекта. Межзвездное поглощение света не учитывать. 0.1 светимости Солнца.
3. При наблюдениях планетных систем у других звёзд (такие планеты называют экзопланетами) в некоторых случаях можно видеть прохождение экзопланеты по диску звезды. При этом экзопланета закрывает для земного наблюдателя часть диска звезды, что приводит к падению её блеска. Звёзды в подобных системах могут быть самого разного типа и размера. Например, звездой малого размера – красным карликом. На рисунке представлена кривая блеска, зарегистрированная во время прохождения экзопланеты по диску красного карлика. Кривая блеска представлена в виде графика, по оси абсцисс которого отложено время, а по оси ординат – измеренное количество энергии, приходящей от звезды на Землю (за единицу выбрана энергия, регистрируемая вне затмения). Точками показаны отдельные наблюдения, а красная линия соответствует усреднённым данным, по которым и требуется провести измерения. Ответьте на ряд вопросов.



1) Сколько минут длилось прохождение планеты по диску звезды от первого до последнего касания дисков звезды и планеты?
2) Во сколько раз ослабла звезда в минимуме блеска?

3) Является ли прохождение центральным (т.е. совпадают ли в минимуме блеска центры дисков экзопланеты и звезды для земного наблюдателя)?
4) Какую часть площади диска (в процентах) звезды закрыла экзопланета в минимуме блеска (возможным потемнением диска звезды к краю пренебречь)?

4. Две звезды с массами 1 $M_\odot$ и 1.3 $M_\odot$ вращаются вокруг общего центра масс по круговым орбитам с периодом 1 год. Первая звезда полностью похожа на Солнце, а вторая — белый карлик с радиусом 10 000 км. Определите угловые размеры обеих звёзд в угловых секундах для наблюдателя, находящегося в центре масс.
5. При наблюдении видимой глазом затменно-двойной звезды было обнаружено, что затмения наблюдаются раз в 88 часов, причем каждый раз блеск двойной ослабевает на $0^m,75$. Определите большую полуось системы, массы ее компонент и их цвета, если известно, что суммарная масса двойной звезды равна 1,8 масс Солнца.
6. Известно, что между двумя последовательными максимумами блеска одного астрономического объекта проходит ровно 5 суток и 4 часа. Один из максимумов наблюдался в полночь 5 декабря 1990 г. (юлианская дата JD_1 = 2448230.4), а ещё один не так давно — в 20 ч 1 апреля 2023 г. (юлианская дата JD_2 = 2460036.2). Сколько раз между этими двумя датами блеск объекта достигал своего максимума? 2285

Занятие 10. Галактики.

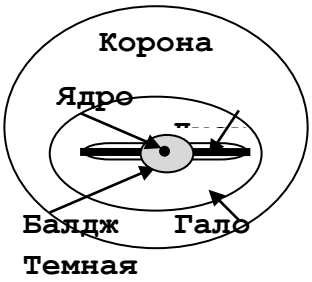
I. *Вопросы (проверь свои знания):*

1. 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 $2{,}8\cdot10^{-8}$ 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 ($m_1 \approx 2{,}4\ m_c$; $m_2 \approx 1{,}4\ m_c$).
2. Каким способом можно определить массу двойной звезды?
3. Что вы знаете о спектрально-двойных звездах?
4. Есть ли что-то общее между процессами в двигателе внутреннего сгорания и в цефеиде?
5. Затменно-двойная звездная система имеет одинаковые компоненты. На сколько величин меняется блеск системы в момент полного затмения одной компоненты другой?

II. *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? 40 раз
2. Вычислите массу двойной звезды α-Центавра, у которой параллакс 0,75″, период обращения 79 лет и большая ось орбиты видна с Земли под углом 17,6″. 2,1 массы Солнца.
3. Определите расстояние до Полярной звезды – цефеиды с периодом 3,97 дня и звездной величиной в небе Земли $+1{,}97^m$. 104 пк
4. У двойной звезды период обращения 100 лет. Большая полуось видимой орбиты: $\alpha = 2{,}0''$, а параллакс p = 0,05″. Определите сумму масс и массы звезд в отдельности, если звезды отстоят от центра масс на расстояниях, относящихся как 1:4. $m_1 = 5{,}12\ m_\odot$, $m_2 = 1{,}28\ m_\odot$.
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? 0,776

III. 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. Главные элементы строения Галактики**: **ядро, балдж, диск, гало, корона. Диаметр Галактики 120000 св. лет,** она содержит от 200 до 400 миллиардов звезд. Галактика Млечный Путь известна в Китае как «Серебряная Река»!

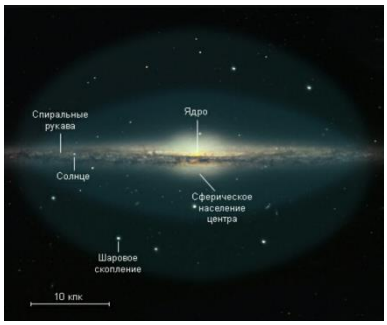


Ядро - центральная часть Галактики. Ядро имеет диаметр 3000 - 6000 св. лет. Его образуют звезды и тучи пыли, которые на большой скорости движутся вокруг **сверхмассивной черной дыры** (Стрелец А) массой $4{,}3 \cdot 10^6\ m_\odot$.

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

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. Толщина диска колеблется от 300 до 3000 св. лет, окружен **толстым диском** диаметром от 3 до 18 тысяч световых лет.

Гало окружает галактический диск, его масса составляет от 2 до $6 \cdot 10^9\ m_\odot$.



Гало 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.

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. В Галактике известно около 150 шаровых скоплений и сотни рассеянных скоплений.

Диффузная материя в Галактике (нейтральный водород и молекулярный газ). 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 250 млн. лет.

Собственное движение (μ) - видимое угловое смещение звезды в секундах на небе за один год на фоне неярких далеких звезд. [D] = [пк], [μ] = ["], [υ] = [км/с].

$$\upsilon_л = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda}; \qquad \upsilon_\tau = 4{,}74\mu D; \qquad \upsilon = \sqrt{\upsilon_л^2 + \upsilon_\tau^2}$$

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

Виды галактик.

Спиральные галактики (составляют до 55% всех галактик).

Эллиптические галактики составляют примерно 20 % от общего числа галактик высокой светимости.

Линзовидные галактики (около 20%).

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

Карликовые галактики.

IV. *Задачи (бдиц):*

1. Линия поглощения водорода, длина волны которой $4861\cdot10^{-10}$ м смещена в спектре звезды к красному концу на $0{,}66\cdot10^{-10}$ м. Определите лучевую скорость звезды относительно Земли в ночь наблюдения. 40,7 км/с
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 $M = 0{,}5^m$. 10^4 пк
3. 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. 0,7 пк

V. Олимпиада.

1. Параллакс звезд из скопления Плеяды составляет около 0,009″, собственнон движение по небу относительно более далеких звезд – 0,05″/год, а лучевая скорость – около +10 км/с. Когда расстояние Плеяд от Солнцуа было минимальным и чему оно было равно? Каков был блеск ярчайшей звезды скопления Альционы, если сейчас он составляет $2{,}85^m$? $1{,}37\cdot10^6$ лет назад, 104 пк, $+2{,}70^m$.

8. Известно, что звезды движутся относительно Солнца. Так, Поллукс одновременно отдаляется от Солнца со скоростью 3 км/с и движется перпендикулярно линии, соединяющей Солнце и звезду, со скоростью 27 км/с. Хамаль приближается к Солнцу со скоростью 14 км/с и движется перпендикулярно линии, соединяющей Солнце и звезду, со скоростью 22 км/с. Какая из этих звезд движется быстрее относительно Солнца? П. 27,2 км/с; Х. 26,1
9. Склонение (одна из небесных координат) звезды Альферац (α Андромеды) составляет 29°12′30″. Эта звезда уменьшает свое склонение со скоростью 163 микросекунды дуги в год (это т.н. «собственное движение звезды»). Граница созвездия Андромеда в этой области проходит по склонению 28°49′00″. Когда, согласно этим данным, Альферац перестанет находиться в созвездии Андромеды? В какое созвездие она перейдет? 8650 лет
10. Шаровое звёздное скопление состоит из 100 тысяч звёзд, причём среднее расстояние между соседними звёздами составляет 0.3 парсека. Считая, что звёзды в скоплении распределены однородно, определите видимый угловой диаметр скопления при наблюдении с расстояния 4 килопарсека. 17,2 пк

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. Собственное движение звезды за 1 год равно ее годичному параллаксу. Определите тангенциальную скорость звезды (в км/с) относительно Солнца.

Олимпиада.

1. Склонение (одна из небесных координат) звезды Альферац (α Андромеды) составляет 29°12′30″. Эта звезда уменьшает свое склонение со скоростью163 микросекунды дуги в год (это т.н. «собственное движение звезды»). Граница созвездия Андромеда в этой области проходит по склонению 28°49′00″. Когда, согласно этим данным, Альферац перестанет находиться в созвездии Андромеды? В какое созвездие она перейдет?
2. Скопление галактик в Деве содержит 2000 галактик и занимает на небе область диаметром 8^0. В центре этого скопления находится галактика M87, удалённая от Солнца на расстояние 16.5 Мпк. Определите среднее расстояние между галактиками в скоплении, если считать, что внутри скопления галактики распределены равномерно.
3. Известно, что один атом нейтрального водорода в межзвёздных облаках излучает на длине волны 21 см в среднем 1 раз за 11 млн. лет. Определите, насколько много таких фотонов излучается за 1 секунду в нашей Галактике, если масса межзвёздного газа составляет 2% от массы Галактики.
4. Шаровое скопление видно на земном небе как объект 6-й звёздной величины. Оно находится на расстоянии 10,2 кпк в направлении созвездия Гончих Псов. Оцените массу скопления в каждом из следующих случаев:

1) все звёзды скопления — точные копии Солнца;
2) звёзды скопления разные, но одиночные, причём 80 % звёзд обладают солнечной массой, а 20 % — имеют массу $2M_\odot$.

5. Рассеянное скопление изначально состояло из 5000 звёзд. На первом этапе своей эволюции оно теряло по 50 звёзд каждые 100 000 лет. После того, как скопление потеряло половину своих звёзд оно стало терять по 10 звёзд за 100 000 лет. В некоторый момент времени в нем осталось всего 500 звёзд. Определите средний темп потери звёзд скоплением. Ответ дайте в звёздах за 100 000 лет. Ответ: 18
6. Рассеянное скопление, состоящее из 7000 звёзд, в начале своей эволюции теряло по 100 звёзд каждые 100 000 лет. В процессе эволюции темп потерь непрерывно возрастал на 50 звёзд за 100 000 лет в 100 000 лет. За какое время скопление потеряет половину своих звёзд? Ответ дайте в годах. 1000000
7. Пусть в некоторой галактике есть два одинаковых шаровых звёздных скопления, движущихся вокруг центра этой галактики по одной орбите навстречу друг другу. Радиус каждого скопления R = 10 световых лет. В какой-то момент начинается столкновение этих скоплений. Считая, что скорость движения по орбите каждого скопления в момент столкновения V = 300 км/с и столкновение центральное (т. е. центр одного скопления пройдёт через центр другого скопления), определите, сколько лет будет длиться столкновение. Приведите решение.
8. В Млечном Пути молекулярный водород расположен в виде кольцеобразной структуры. Для простоты будем считать, что это кольцо имеет внутренний радиус 4 килопарсека и внешний радиус 8 килопарсек при толщине 50 парсек. Масса газа равна $3 \cdot 10^9$ массы Солнца. Оцените среднюю плотность газа в кольце. Масса Солнца равна $2 \cdot 10^{30}$ кг, один парсек равен $3 \cdot 10^{16}$ м.

Занятие 11. Большой взрыв.

I. *Вопросы (блиц):*

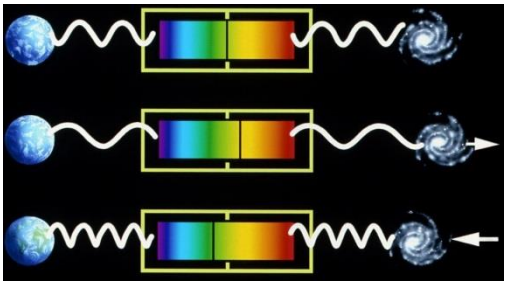
1. Почему центр Млечного Пути находится именно в направлении созвездия Стрельца и как астрономы определили это?
2. Как выглядел бы Млечный Путь, если бы Земля находилась в центре Галактики?
3. Оптическая спектроскопия звезд - источник сведений о химическом составе звезд, о состоянии звездных атмосфер и оболочек, о движениях звезд в Галактике. Так ли это?
4. Какие методы астрономии позволяют определить расстояния до других галактик и идентифицировать их как другие звездные системы?
5. Как распределены шаровые скопления в Галактике? Чем они отличаются от рассеянных скоплений?

II. *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. 57,2 км/с

2. Рассеянное скопление, состоящее из 1200 звёзд, на первом этапе своей эволюции теряет по 60 звёзд каждые 100 000 лет. После того, как скопление потеряло десятую часть своих звёзд, оно стало распадаться в 2 раза быстрее. За какое время от начала эволюции в скоплении останется лишь 0,3 от первоначального числа звёзд? Ответ дайте в годах. Ответ: 800 000

III. Планка константы: длина $\ell_n = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 10^{-33} см$, **время** $t_n = \frac{\ell_n}{c} \approx 5{,}3 \cdot 10^{-44}$ **с, плотность** $\rho_n = \frac{c^5}{G^2\hbar} \approx 5 \cdot 10^{96}$ кг/м^3**, температура:** $T_П = \frac{1}{k}\left(\frac{\hbar c^5}{G}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 4{,}029 \cdot 10^{31} K$. **Константы Планка считаются предельными в физике величинами! Бесконечностей в природе не бывает!**



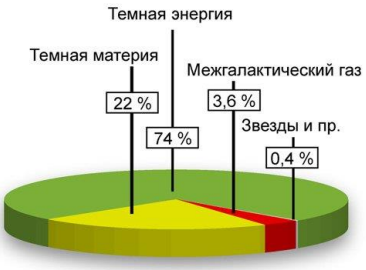
Эффект Доплера: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{V}{c}$. **Красное смещение** (расширение Вселенной). Расширение пространства? Пространство расширяется, а галактики на самом деле стоят на месте?

Закон Хаббла: Чем больше расстояние между какими-либо двумя галактиками, тем выше скорость их взаимного удаления. $\boxed{\upsilon = H \cdot r}$, где $H = (74{,}03 \pm 1{,}42)\frac{км/с}{Мпк}$ (средняя скорость разлёта в современную эпоху двух галактик, разделённых расстоянием в 1 Мпк).

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

Большой Взрыв. Возраст Вселенной ($13{,}77 \cdot 10^9 \pm 40 \cdot 10^6$) лет. Вовочка определил возраст 13 миллиардов лет + неделя.

1. **Квантовая пена** - основа ткани Вселенной**. Рождение классического пространства-времени: t** $\approx 5 \cdot 10^{-44}$ с.
2. **Инфляционная эра (10^{-43}-10^{-35} с).**
3. **Эра Х-частиц (10^{-35} – 10^{-12} с).**
4. **Кварковая эра (10^{-12} – 10^{-6} с). Энергия фотонов:** $h\nu = kT$**. Условия образования частиц:** $h\nu \geq 2m_0c^2$**. Т = 10^{13} К.**
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.
6. **Лептонная эра (10^{-4} - 1 с).**
7. **Фотонная эра (380000 лет).**
8. **Звездная эра (начало около 200 миллионов лет после Большого Взрыва). В это время начался процесс образования звезд и галактик.**



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 ± 5) %, темная энергия – 68,3%.

IV. *Задачи:*

1. Вычислить расстояние, линейные размеры и светимость квазара 3С48, 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. 1510 Мпк. 414 кпк. $7{,}6\cdot10^{11}$
2. Сверхновая с абсолютной звездной величиной – 18^m вспыхнула в галактике с красным смещением 0,2. Каков блеск этой сверхновой в небе Земли? $21{,}5^m$

V. Олимпиада.

1. В спектре далекой галактики с угловым размером 13" наблюдается линия спектра водорода с длиной волны 487,4 нм. Измерения длины волны этой линии в лаборатории дают значение 434 нм. Определите, с какой скоростью и куда движется эта галактика, на каком расстоянии она находится и каков ее линейный диаметр в парсеках. Сравните с диаметром Млечного Пути. 0,123с, 31,4 кпк.
2. Линия L_β (λ = 102,6 нм) в спектре некоторой далёкой галактики оказалась смещена относительно лабораторной на 14 нм. Оцените расстояние до этой галактики. 553 Мпк
   1) Каковы ожидаемые величины смещений линий $L\gamma$ (λ = 97,2 нм), H_β (λ = 486,1 нм)? 13,3 нм. 66 нм.
   2) Считая галактику источником постоянной светимости, грубо оцените, как давно для наблюдателей Местной Группы она была на 1^m ярче, чем сейчас. $7{,}8\cdot10^9$ лет
3. Скопление галактик имеет видимый диаметр 1^0 и состоит из 1000 галактик, похожих на нашу Галактику. Красное смещение скопления равно 0,1. Оцените, с какой частотой в этом скоплении будет происходить столкновения галактик.

$$T_0 = \frac{2T}{N} = \frac{2R^3}{3N^2 r^2 v}$$

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?

Занятие 12. Эволюция звезд.

I. *Вопросы (блиц):*

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?
9. Если мысленно увеличить Землю до размеров Галактики, то какой станет Планковская длина? 1 нм.
10. 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

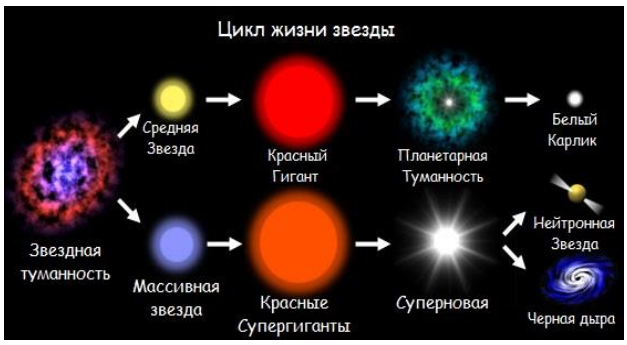
II. *Задачи:*

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. Далекая галактика, похожая на нашу галактику Млечный Путь, имеет красное смещение 0,01. На угловом расстоянии $5'$ от нее виден ее спутник — карликовая галактика. Оцените период ее обращения вокруг большой галактики.

III. Звездная эра. 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.

Молекулярные облака. 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. **Образование протозвезды.** Гравитационное сжатие газа. Источник энергии звезды - **термоядерные реакции. Как только температура в недрах звезды достигает 10^6 К, в недрах звезды начинается цикл термоядерных превращении.** Стадия горения

дейтерия у более массивных звезд длится всего несколько миллионов лет. Затем дейтерий выгорает, начинается сжатие. Загорание термоядерных реакций с водородом при 10^7 К. Самые маленькие объекты, которые уже называются звездами, имеют массу больше 0,08 массы Солнца, - **красные карлики (**медленно сжигают водород**).** В период, когда в недрах звезды **водород постепенно переходит в гелий**, звезда находится на главной последовательности**.** Как только кончается водородное топливо для термоядерного синтеза в ядре звезды, начинаются изменения. Ядро сжимается и в процессе нагревается до температуры $15 \cdot 10^7$ К, которой достаточно для возникновения реакции термоядерного синтеза гелия - 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 (гелий в ядре вырождается). 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. Термоядерное «горение» гелия 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 звёзд массой от 8 до 10,5 солнечных), что приведёт к образованию белых карликов, состоящих соответственно из гелия, углерода, кислорода, неона и магния.



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 превращаются в белых карликов.

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

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 $M_c = 2 \cdot 10^{30}$ 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.

V. Олимпиада.

1. 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 км/(с·Мпк). $m = 2{,}1 + 5 \cdot \lg D$, где D – диаметр телескопа в мм.

2. Видимый поперечник звездного скопления составляет 13', видимая звездная величина 9^m, диаметр скопления равен 6 пк. Считая, что в скоплении содержится 10^3 звезд, похожих на Солнце, оцените поглощение света в звездных величинах на 1 кпк в направлении на скопление.
3. Спиральная галактика имеет диск радиуса 10 кпк. Равномерно по диску галактики разбросано множество разумных цивилизаций, где астрономы ведут наблюдения за центром галактики. В некоторый момент на сверхмассивную дыру в центре этой галактики падает звезда, что приводит к яркой вспышке излучения. Через какое время об этом событии узнает половина цивилизаций в этой галактике? Ответ дайте в годах.
4. Сириус превышает Солнце в 2 раза по массе и в 1.7 раз по радиусу. Выразите плотность Сириуса в плотностях Солнца. Ответ округлите до сотых.

Вопросы:

1. Для запуска термоядерной реакции на Земле использовали атомную бомбу, тогда как реакции внутри звезд происходят за счет гравитации. Поясните.
2. Почему звезды образуются из холодного, а не горячего газа?
3. Почему не может быть одновременного «горения» водорода и гелия в ядре звезды?
3. 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?
4. Почему светимость галактики в первую очередь определяется звездами-гигантами?

Если звезда имеет массу в 10 раз больше массы Солнца, её светимость в разные периоды её эволюции может превышать солнечную в десятки тысяч раз и даже в сотни тысяч раз.

5. Почему мы не видим, как рождаются звёзды?
6. Самые старые объекты в Галактике образуют сферическую систему. Почему?
7. Всегда ли термоядерные реакции идут в центре звезды?

Занятие 13. Модели звезд.

I. *Вопросы (блиц):*

1. «Все звезды … похожи на фабричные изделия, сделанные одной и той же машиной». Какую машину имеет в виду Джеймс Джинс?
2. Почему изменяется блеск цефеид?
3. Почему цефеиды называют «маяками Вселенной»?
4. Почему в различных космических объектах почти одинаковое относительное содержание гелия, но разное содержание более тяжелых элементов?

II. *Задачи:*

1. Пользуясь кривой "период - абсолютная величина" для цефеидов, определите

расстояние и линейный диаметр спиральной галактики в созвездии Треугольника, если ее угловой диаметр равен 1^0, а период наблюдавшейся в ней цефеиды составляет 13 дней при видимой звездной величине $19{,}6^m$.

2. Скопление галактик в созвездии Волосы Вероники имеет среднее красное смещение 0,0231, угловой диаметр 12^0 и состоит примерно из 1000 галактик. Определите характерное расстояние между галактиками. Большой шарик и м.

III. 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.

2. Красный гигант (маленькое гелиевое ядро, температура в центре $40 \cdot 10^6$ К, плотность ядра $3{,}5 \cdot 10^5$ г/см^3). Радиусы таких звёзд составляют 10—200 $R_\odot$, светимости — 10^2 до 10^4 $L_\odot$, а эффективные температуры — 3000—5000 К. Красными гигантами становятся звёзды массой от 0,2 $M_\odot$ до 10 $M_\odot$.

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.

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 $m_\odot$).

5. Коричневые карлики - промежуточное звено между звездами и планетами газовыми гигантами (масса от 0,013 до 0,075 масс Солнца).

6. Звёзды Вольфа-Райе – это массивные звёзды, потратившие почти весь свой водород в процессе ядерного синтеза, но богаты гелием и испускают сильный звёздный ветер.

7. Нейтронные звезды (масса менее 2,5 $m_\odot$ (предел Оппенгеймера-Волкова), диаметр порядка 10 - 20 км, плотность в центре порядка 10^{15} г/см^3, температура в центре $1 \cdot 10^9$ К, период обращения от 4 до 0,02 секунды. **Пульсары. Рентгеновские пульсары** — это нейтронные звезды с сильным магнитным полем в тесных двойных системах.

8. Черные дыры. При массе звезды, начиная примерно с тридцатикратной массы Солнца, силы гравитации сламывают сопротивление вырожденного нейтронного газа, и звезда коллапсируют дальше, превращаясь в **черную дыру.** Покинуть её не могут даже кванты света. Граница этой области называется горизонтом событий. Если у чёрной дыры есть и магнитное поле, то оно к тому же собирает частицы в пучки – так называемые **джеты – которые разлетаются от полюсов**. **Два класса черных дыр. Блазар** - образован сверхмассивной черной дырой и поглощаемым ею веществом. Они представляют собой ядра активных эллиптических галактик.

9. Новые звезды — это пары звезд, состоящие из белого карлика, который ворует материю с близкой звезды-компаньона. Когда своровавшая 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**). Светимость их известна.

10. Сверхновые звезды образуются при коллапсе гигантских звезд. Образование тяжелых элементов. **Звезды первого и второго поколения** (почти все, что нас окружает на Земле, когда-то было веществом взорвавшейся звезды).

IV. *Задачи:*

1. Определите отношение средних плотностей оранжевого карлика и жёлтого карлика, если известно, что масса оранжевого карлика равна 0,58 массы Солнца, радиус оранжевого карлика равен 0,68 радиуса Солнца; масса жёлтого карлика равна 1,1 массы Солнца, радиус равен 1,05 радиуса Солнца.
2. Взрыв сверхновой произошёл ровно 10 суток назад. Наблюдения показали, что скорость оболочки сверхновой на уровне фотосферы равна 10^4 км/с, а эффективная температура фотосферы 10^4 К. Считая, что фотосфера расширяется с постоянной скоростью, оцените светимость сверхновой в момент наблюдений.
3. Какова средняя плотность красного сверхгиганта, если его диаметр в 300 раз больше солнечного, а масса в 30 раз больше массы Солнца? $1{,}56 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3

V. Олимпиада.

1. В далекой галактике с красным смещением 0,1 вспыхнула сверхновая звезда. С каким диаметром объектива понадобится телескоп для ее визуальных наблюдений? Межзвездным поглощением света, атмосферными помехами и аберрациями оптики пренебречь. У сверхновой $M = -18^m$. Ответ: 4 м
2. Планетарная туманность «Кольцо» (M57) находится от нас на расстоянии 2300 световых лет. Она расширяется со скоростью 25 км/с и сейчас имеет видимый угловой размер 2,5′. Определите как давно центральная звезда этой туманности сбросила свою оболочку? Когда это могли увидеть «наблюдатели» на Земле? Определите среднюю плотность туманности, если масса сброшенной оболочки составляет $0.2M_☼$, а толщина сферического слоя составляет примерно 1% от радиуса туманности. Считать объем сферы равным: $V = 4/3\ \pi R^3$ где $\pi = 3.14$.
3. Новая звезда, расположенная в 100 пк от нас, два месяца светилась с блеском - 3^m. Оцение энергию взрыва.
4. В январе 2002 года на небе вспыхнула звезда V838 Единорога. Через некоторое время в этом месте начал расти объект, похожий на туманность. За полгода он изменил свой угловой диаметр с 41,2″ (0,0002 рад) до 72,2″ (0,00035 рад). Последующее изучение звезды показало, что она располагается в 20000 световых годах от нас. С какой скоростью изменялся диаметр светящегося облака? Что собой представляет это расширение? Все дело в световом эхе.

Вопросы:

1. Почему говорят, что сверхновая вспыхивает как спичка?
2. Во сколько раз возрастает блеск звезд, вспыхивающих как сверхновые звезды?
3. Может ли Солнце стать сверхновой звездой?
4. Древнейший из известных квазаров имеет красное смещение z = 7,642. Каков его возраст?
5. Что такое "пульсары", "квазары", "черные дыры"?

Олимпиада.

1. Звезда R Андромеды из-за сильного звездного ветра теряет 10^{-6} масс Солнца в год. Считая, что звездный ветер уносится от звезды прямолинейно и равномерно со скоростью 300 км/с, оцените концентрацию частиц звездного ветра от этой звезды в окрестности Солнечной системы. Годичный параллакс R And равен 0",004.
2. Первый открытый пульсар имеет массу, равную 1.4 массам Солнца, и радиус около 10 километров. Какую массу имеет чайная ложка (5 миллилитров) вещества этого пульсара? Средняя плотность Солнца составляет 1.4 г/см^3.
3. В 185 году н.э. китайские астрономы засвидетельствовали появление новой звезды в астеризме Нанмен. Как считается, это была первая зарегистрированная сверхновая. Этот остаток сверхновой имеет поперечник около 100 световых лет и удалён от нас примерно на 8 тысяч световых лет. Определите среднюю скорость разлёта вещества туманности (скорость удаления вещества на краю туманности от центра) с момента взрыва до наших дней. Ответ выразите в долях скорости света, округлите до тысячных. Ответ: [0.024; 0.03] Определите современный видимый угловой диаметр RCW 86. Ответ выразите в градусах, округлите до десятых. Ответ: [0.6; 0.8]
4. Угловой диаметр симметричного остатка сверхновой CTB 1 составляет 30′, расстояние до него равно 10 тысяч световых лет. При взрыве сверхновой возникла нейтронная звезда, которая движется со скоростью 1000 км/с. Возникнув в месте, соответствующем центру остатка, нейтронная звезда в настоящее время наблюдается рядом с границей остатка. Оцените возраст нейтронной звезды в данный момент.
5. Вокруг звезды наблюдается пылевая оболочка. Моделирование показало, что внутренний радиус оболочки равен 2 а. е., а толщина оболочки равна 15 млн км. Чему равен объём пространства, занимаемый оболочкой? Ответ представьте в кубических астрономических единицах (а. е.)^3.
6. Звезда S2 движется вокруг чёрной дыры в центре нашей Галактики с периодом 16 лет. В момент наибольшего сближения она оказывается на расстоянии 120 а.е. от чёрной дыры. Оцените её скорость в этот момент, если известно, что масса черной дыры составляет $4{,}3 \cdot 10^6$ масс Солнца. Решение: $7.7 \cdot 10^3$ км/с.
7. В серии «Второе Солнце» мультсериала «Смешарики» говорится, что при взрыве Бетельгейзе ($\alpha = 5^h\ 55^m$, $\delta = +7^\circ\ 24{,}5'$) вспышка будет видна на небе рядом с Солнцем.

1) Насколько близко в современную эпоху Бетельгейзе и Солнце могут оказаться на земном небе?
2) В какой день года происходит такое сближение?
3) На каких широтах Солнце и Бетельгейзе восходят одновременно в этот день?

Занятие 14. Солнце.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Перечислите основные типы физически переменных звезд.
2. Когда звезда светит: а) за счет энергии гравитационного сжатия? б) за счет энергии термоядерного синтеза? в) за счет энергии радиоактивного распада?

3. Почему звёзды-сверхгиганты с массой более 10 масс Солнца так редки во Вселенной?
4. Как возникли тяжелые элементы, из которых состоит наша планета и мы сами?

II. *Задачи (блиц):*

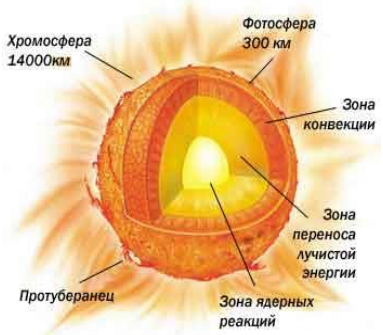
1. Лучевая скорость звезды Бетельгейзе + 21 км/с, собственное движение 0″,032 в год, а параллакс 0″,012. Определите полную пространственную скорость звезды относительно Солнца и угол, образованный направлением движения звезды в пространстве с лучом зрения.
2. В спектре новой звезды 1934 г. В Геркулесе темная линия λ = 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?
3. Первый обнаруженный квазар 3C 48 имеет блеск $16{,}2^m$ и красное смещение 0,367. Какова его светимость? $6{,}5\cdot10^{11}$
4. В далекой галактике с красным смещением 0,1 вспыхнула сверхновая звезда, абсолютная звездная величина которой в максимуме достигла -11^m. Телескоп с каким диаметром объектива понадобится для ее визуальных наблюдений? Межзвездным поглощением света, атмосферными помехами и аберрациями оптики пренебречь.
5. 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.

III. Солнце - гигантский раскаленный газовый шар. Солнце — гигантский термоядерный реактор. **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: γ = 1360 Вт/м^2. Мощность Солнца:** $P_\otimes = 3{,}86\cdot10^{26}$ Вт (на Землю падает $1/(2\cdot10^9)$ часть). **Сравнительные размеры Солнца и Земли:** $d_\otimes = 109d_з = 1392000$ км; $V_\otimes = 1300000V_З$; $M_\otimes = 333000m_з$; ρ =1400 кг/м^3; $T_{эф}$ = 5780 К, спектральный класс G2V, возраст 5 млрд. лет, период вращения 25,380 суток. Каждый миллиард лет Солнце становится горячее на 10%!

Химический состав Солнца. Наше Солнце содержит около 2% таких тяжелых элементов, поскольку это звезда **второго или третьего поколения**.

Строение Солнца:

1. **Ядро Солнца (радиус примерно 170 тысяч километров ($\approx$ 0,25·R_c), 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.
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

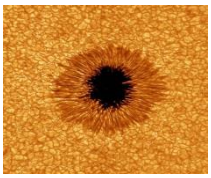


массивных звездах вносит основной вклад.

3. **Конвективная зона (толщина 200000 км).** Вещество Солнца перемешивается, словно вода в чайнике, в результате чего нагретое вещество поднимается к поверхности; этот процесс называют конвекцией.
4. **Фотосфера - видимая поверхность Солнца (толщина 250 км).**
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).



2. **Хромосфера** (спикулы и вспышки). Температура в верхних слоях хромосферы достигает десятков тысяч кельвин. Разогрев хромосферы и короны происходит за счет энергии конвективных движений (акустические волны).
3. **Корона** (протуберанцы - мощные выбросы газов, возвышающихся на 250000 км над хромосферой, двигаются со скоростью около 300 км/с, их температура около 10000 К).

IV. *Задачи:*

1. Если самое маленькое солнечное пятно, видимое нами в телескоп, имеет диаметр 0,7″, то каков его линейный диаметр?
2. Угол, под которым с Земли наблюдается Солнце, равен примерно $\alpha \approx 10^{-2}$рад. Полагая радиус Земли равным $R_З$ = 6400 км, определить отношение средних плотностей Земли и Солнца, принимая во внимание, что 1 год ≈ $3 \cdot 10^7$с. 4,4
3. 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?

V. Олимпиада.

1. Представьте себе, что температура всей фотосферы Солнца резко понизилась на 500 К. На сколько бы изменилась абсолютная звездная величина Солнца? На сколько бы уменьшилась солнечная постоянная?
2. Самолёт на высоте h = 10 км пролетает над Сингапуром (широта $\phi \approx 0^0$) в день весеннего равноденствия. Пассажиры видят восход Солнца. Определите минимальное расстояние до точки на поверхности Земли, где в этот момент видно восход Солнца. На сколько градусов долгота этой точки отличается от долготы Сингапура? Атмосферной рефракцией пренебречь.
3. Масса белого карлика равна 1,2 масс Солнца. Его светимость составляет 0,003 светимости Солнца при температуре в два с половиной раза выше солнечной. Во сколько раз средняя плотность карлика превышает солнечную?
4. Звезда Тета Мухи обладает массой 12 масс Солнца и радиусом 80 радиусов Солнца. Во сколько раз средняя плотность звезды больше плотности воздуха при нормальных условиях? Плотность воздуха равна 1.2 кг/м^3, средняя плотность Солнца равна $1.4 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Вопросы (блиц):

1. Если Солнце состоит из раскаленного газа, то почему оно "круглое"?
2. Радиус красного сверхгиганта равен 1500 солнечных радиусов. Выразите радиус красного гиганта в астрономических единицах.
3. Какую роль для Солнца играет конвективная зона?
4. Почему Солнце светит?
5. Какую температуру имеет звезда, светимость которой в 16 раз меньше при тех же размерах?
6. Не погаснет ли Солнце из-за черных пятен, которые на нем появляются?

Занятие 15. Солнечная активность.

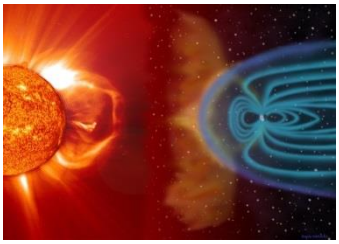
I. *Вопросы (блиц):*

1. Во сколько раз Солнце больше Земли по диаметру, массе и объему?
2. Почему диск Солнца имеет резкий край?
3. Почему диаметр Солнца в диапазоне метровых радиоволн заметно превосходит его диаметр в видимых лучах?
4. Каким образом было обнаружено вращение Солнца вокруг своей оси?
5. Каким образом был установлен возраст Солнца?
6. Как изменится светимость Солнца, если при той же температуре размер Солнца увеличится в 2 раза?

II. *Задачи:*

1. Какую звёздную величину имеет Солнце при наблюдении с Макемаке? Блеск Солнца на Земле составляет $-26{,}7^m$, а расстояние от Солнца до Макемаке составляет 45 а.е. Ответ округлите до десятых звёздной величины. -18,4
2. На сколько должна измениться температура поверхности Солнца, чтобы увеличить солнечную постоянную на 1%? 15 К
3. Какой станет светимость Солнца, если все оно покроется пятнами? Как оно будет выглядеть в небе Земли?
4. На Солнце образовалось гигантское солнечное пятно диаметром в 100000 км. Как должна измениться температура поверхности Солнца, чтобы его светимость оказалась постоянной. Других пятен на поверхности Солнца нет.

III. Солнечная активность - совокупность явлений, периодически возникающих в солнечной атмосфере. **Максимумы и минимумы солнечной активности** (11-летний цикл). **Вспышка – взрыв, вызванный внезапным сжатием плазмы** (происходит над пятнами в хромосфере и короне). Продолжительность вспышки около 1 ч, общая выделившаяся энергия 10^{23} – 10^{25} Дж. 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).



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?** Нашему Солнцу примерно 4.6 миллиардов лет. Каждую секунду оно излучает энергию, эквивалентно взрыву 2 миллиардов "Царь-бомб" в секунду - самых мощных водородных бомб. Эта энергия приводит к нагреванию внешних слоёв Солнца и их расширению. А излучаемой Солнцем энергии становится даже больше. Через 3,5 миллиарда лет Солнце будят ярче уже на 40% ярче, чем сейчас. Через 5 миллиардов лет, наступит момент, когда в ядре полностью закончится водород. 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, превратившись 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. 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 станет оранжевым, и этот этап жизни Солнца продлится ещё 100 миллионов лет. 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. 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, "белый карлик". И следующие триллионы лет он будет остывать, пока не превратится в "чёрный карлик".

IV. *Задачи:*

1. За какое время отвесно падающие лучи Солнца могли бы растопить слой льда толщиной в 1 см, покрывающий Землю, при условии, что солнечное нагревание каждого 1 м^2 поверхности Земли составляет $2{,}1\cdot10^4$ Дж/мин?
2. Блазар 6С 001403+811827 на данный момент считается самым ярким известным активным ядром галактики. Его светимость составляет $1{,}2\cdot10^{41}$ Вт. На каком расстоянии от Земли он должен находиться, чтобы Земля получала от него в единицу времени столько же энергии, сколько получает от Солнца?
3. Сколько времени нужно пятну на экваторе Солнца для того, чтобы обогнать на один целый поворот другое пятно, находящееся на широте 30^0. Периоды вращения Солнца на этих широтах соответственно равны 25,05 и 26,34 суток. 826 сут

V. Олимпиада.

1. Размер солнечных панелей арабского спутника на орбите Марса Аль-Амаль 3 × 7.9 метра. Определите, какую электрическую мощность он может вырабатывать во время своей миссии на Марсе. КПД панелей считать 100%. Во сколько раз упала вырабатываемая мощность этих батарей по сравнению с земной орбитой?

Во сколько раз будет отличаться сила тока электрических схем в приборах спутника при его пробном включении на земной орбите и включении в штатном режиме на орбите около Марса?

2. На заре развития ядерной физики было высказано предположение, что энерговыделение Солнца в течение многих миллиардов лет обеспечивалось распадом Урана-238. Известно, что период полураспада этого изотопа урана составляет 4,47 млрд лет, что можно считать равным возрасту Земли, который был уже известен к тому времени. При этом образуются другие радиоактивные изотопы, распад которых происходит существенно быстрее. Энерговыделение в ходе всего цикла реакций, начиная с одного атома ^{238}U, составляет 6,7 МэВ. Определите минимально возможную массу Солнца в предположении такого механизма его свечения.
3. На поверхности Солнца появилось стационарное экваториальное пятно. Для его изучения был запущен на орбиту вокруг Солнца космический аппарат так, чтобы он находился постоянно над этим пятном. В силу конструкции аппарата передавать данные он может только в противоположную от точки наблюдения сторону, а угол поля зрения (диаграмма направленности) антенны составляет $\theta = 3°$. С каким промежутком времени и как долго на Земле можно будет принимать сигнал от этого спутника? Орбиты аппарата и Земли считать круговыми. Плоскость орбиты Земли считать совпадающей с плоскостью экватора Солнца и плоскостью орбиты аппарата. Период осевого вращения Солнца составляет 24.47 суток. Ответ: 1) SA = 26.23 сут. 2) $\tau = 4.4$ ч.

4. Вокруг звезды с радиусом 0.64 радиуса Солнца и температурой 3850 K по круговой орбите с радиусом 0.3 а.е. обращается кубический космический аппарат, одна грань которого представляет собой квадратную солнечную батарею с длиной стороны 40 см, ее КПД равен 15%. Аппарат должен был двигаться так, чтобы батарея всегда располагалась перпендикулярно направлению на звезду, обеспечивая максимальное энерговыделение. Однако в некоторый момент времени система ориентирования аппарата сбилась. При каком максимальном угле поворота оси батареи относительно правильного положения аппарат еще сможет функционировать, если для работы его приборов необходима мощность 20 Вт? $\arccos(20/29) = 45^0$.

Вопросы (блиц):

1. Может ли цивилизация погибнуть от аномально мощной солнечной вспышки?
2. Когда произойдет переход Солнца в стадию красного гиганта?
3. Почему в пасмурные дни бывает плохое настроение и даже нездоровится?
4. Почему люди боятся озоновых дыр?
5. Почему солнечное пятно темнее фотосферы?
6. Проведите аналогию между Солнцем и кастрюлей с кипящей водой на плите.
7. На краю диска Солнца обнаружен протуберанец, угловой размер которого равен 0.5 угл. мин. Оцените его линейные размеры. $\ell = 21.9 \cdot 10^3$ км.

Занятие 16. Земля.

I. *Вопросы (блиц):*

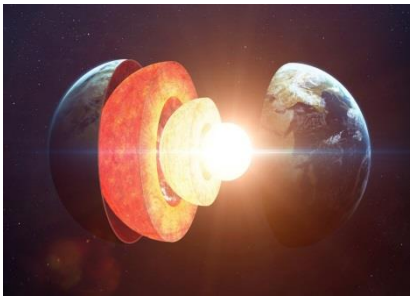
1. Во сколько раз Солнце больше Земли по диаметру, массе и объему?
2. Как происходит передача энергии из недр Солнца к его поверхности?
3. Какие силы поддерживает равновесие Солнца как раскаленного плазменного шара?
4. По современным данным массовая доля кислорода на Солнце составляет 0,8%. На сколько планетных атмосфер типа земной хватило бы солнечного кислорода? 15 млрд.
5. Почему солнечное пятно темнее фотосферы?
6. Как по Солнцу узнают о "опасных геофизических днях"?
7. Что бы произошло, если бы на месте Солнца оказался белый карлик или красный гигант?

II. *Задачи:*

1. Как изменится продолжительность года на Земле, если Солнце превратится в белый карлик с массой, равной 0,6 массы Солнца?
2. 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.

III. Земля - наибольшая из планет земной группы, имеет спутник, обладает атмосферой, часть земной поверхности покрыта слоем веды. Земля отражает часть падающих на нее солнечных лучей (голубая**). Альбедо 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'.



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

- **Кора**: глубина от 10 до 75 км, средняя толщина 35 км.
- **Мантия** (верхняя мантия - глубина до 600 км, нижняя мантия - до 2900 км).
- **Ядро:** Масса ядра Земли - $1{,}9354 \cdot 10^{24}$ кг. На ядро приходится 15% объема Земли, но при этом оно дает 30% массы планеты. Диаметр земного ядра примерно 6500 - 7000 км. **а) Ядро внешнее** (глубина от 2900 км до 5100 км от поверхности Земли).
  б) Ядро внутреннее (твердое, от глубины 5100 км до самого центра 6371 км). Его температура по теоретическим подсчётам колеблется около 6000 градусов Цельсия, а давление $3{,}8 \cdot 10^5$ МПа.

Гидросфера - прерывистый слой воды на породах, образующих кору.

Атмосфера Земли. 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.

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

Магнитное поле Земли и ее магнитосфера.

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

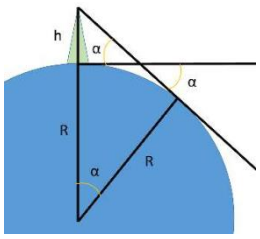
Определение расстояний до тел Солнечной системы. Горизонтальный параллакс (по кадрам диафильма). Если два наблюдателя, для одного из которых светило находится на горизонте, а для другого - в зените, одновременно наблюдают **это** светило, то угол между этими направлениями (то есть параллактическое смещение светила) и есть **горизонтальный параллакс** этого светила. Горизонтальный параллакс Луны и Солнца (57′ и 8,8″), определение расстояний до них. Другие методы определения расстояний:

IV. *Задачи:*

1. Как известно, Международная космическая станция (МКС) имеет сидерический период обращения вокруг центра Земли равный 93 мин. Сколько раз может пройти МКС над данной местностью за сутки. 15
2. Центральная звезда планетной системы – голубая звезда с температурой T = 10000 К, радиусом R = 10 $R_{\otimes}$ и массой M = 6,7 $M_{\otimes}$. Определите радиус орбиты планеты, климат которой такой же, как на Земле.
3. Прохождение планеты по диску звезды солнечного типа длится 6 часов, падение блеска при этом составляет $0{,}001^{m}$. Найдите диаметр планеты и расстояние от звезды до планеты. 45000 км. 0,2 а.е.
4. Серебристые облака могут быть видны 21 июня в Ярославле (широта $57{,}6^{0}$) в зените всю ночь. На какой высоте находятся серебристые облака? 80 км

V. Олимпиада.

1. С космодрома Плесецк (широта φ = 62°57′) стартовал ракетоноситель с несколькими спутниками. На высоте 175 км вторая ступень отделилась от спутников и образовала так называемую «медузу». Определите, на каком расстоянии от точки отделения второй ступени это событие могли видеть жители Земли. Нарисуйте рисунок, поясняющий ваше решение.
2. В романе «Таинственный остров» путешественники, чтобы удостовериться, что они на острове, взобрались на одиночную высокую гору. Находясь на самой вершине, инженер Сайрус Смит заметил, что на закате, когда диск Солнца коснулся горизонта, подножие горы как раз скрылось в тени. Найдите из этих данных высоту горы. Рефракцию не учитывать. Решение сопроводите чертежом. α = 32′ h = 276 м.



3. Обнаружена планетная система у звезды радиусом R = $2R_{\odot}$, которая имеет три планеты, расположенные близко к родительской звезде: горячий нептун и два горячих юпитера (R_1 = $2R_{ю}$, R_2 = $1.4R_{ю}$, R_3 = $1.5R_{н}$). Найдите максимальное падение блеска в звёздных величинах этой системы для наблюдателя, находящегося достаточно далеко от системы в плоскости орбит планет этой

системы. Потемнением диска звезды к краю пренебречь. $R_{\odot}$ – радиус Солнца, $R_{ю}$ – радиус Юпитера и $R_{н}$ – радиус Нептуна. 0.984.

4. Период обращения планеты. Центральная звезда планетной системы – красный гигант с температурой T_1 = 4500 К, радиусом $R_1 = 15R_{¤}$, где $R_{¤}$ − радиус Солнца и массой M = 1,4 $M_{¤}$, где $M_{¤}$ − масса Солнца. Определите, период обращения планеты, климат которой такой же, как на Земле. Как вы думаете, может ли на этой планете развиться разумная жизнь, если планета подобна Земле?

Вопросы (блиц):

1. Что нужно знать, чтобы вычислить расстояние до какого-нибудь объекта Солнечной системы?
2. В каких зонах обитания существует Земля?
3. Что массивней – атмосфера или гидросфера Земли?
4. Образование магматических очагов под древними суперконтинентами могло быть вызвано тем, что толстая континентальная кора не давала теплу выходить наружу. Возможно ли такое?
5. 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?
6. Как измерили радиус Земли древние греки?

Занятие 17. Луна.

I. *Вопросы (блиц):*

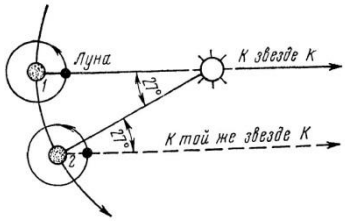
1. Как изменились бы качественно времена года, если бы эксцентриситет земной орбиты увеличился до 0,5?
2. При каком наклоне земной оси к плоскости ее орбиты южный полярный круг совпал бы с южным тропиком?
3. Где сегодня на Земле день равен ночи?
4. Будь Земля плоской, чтобы было бы с нами?
5. Если бы 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?
6. «Ограничителями» жизни во Вселенной выступают сразу несколько факторов. Что это за факторы?

II. *Задачи:*

1. Чему равен горизонтальный параллакс Марса, когда эта планета находится ближе всего к Земле (0,378 а.е.)? Горизонтальный параллакс Солнца 8,8″.23,2″
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?
3. С космодрома Плесецк стартовал ракетоноситель с несколькими спутниками. На высоте 175 км вторая ступень отделилась от спутников и образовала так называемую «медузу». Определите, на каком расстоянии от точки отделения второй ступени это событие могли видеть жители Земли.

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

внутренними свойствами полноценных планет.

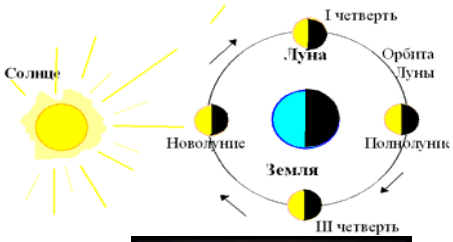


Сидерический месяц - период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд. $T_{сид}$ = 27,3 сут.

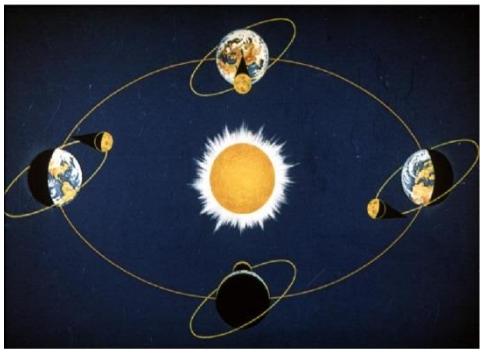
Синодический месяц - период обращения Луны вокруг Земли относительно Солнца. $T_{син}$ = 29,5 сут.

Фазы Луны. Условия наблюдения и видимости Луны. Месяц бывает **Растущий** и **Стареющий** (и первая буква напоминает о направлении месяца).

Противоположность фаз Земли и Луны.



Эллиптичность орбиты Луны. Перигей и апогей. $R_п$ = 364000 км, R_a = 401000 км, эксцентриситет лунной орбиты 0,0549, среднее расстояние 384467 км. 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′. Если бы орбита Луны лежала в плоскости эклиптики (на самом деле угол наклона $5^0 9'$), то каждое новолуние наблюдалось бы солнечное затмение (максимальная продолжительность 7 мин 40 с) и каждое полнолуние - лунное (максимальная продолжительность 1 ч 40 мин). Для Земли в целом за 18 лет случается 43 солнечных затмения.



Влияние Луны на Землю. Почему с Земли видна лишь одна сторона Луны? **Приливные явления.** Замедление вращения Земли вокруг собственной оси (длительность суток возрастает за год на $2 \cdot 10^{-5}$ с).

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). Температура на поверхности Луны. Перепады температур.

Лунный рельеф: "моря", "материки", кратеры, горные хребты.

Происхождение Луны: Соударения с Землей небесного тела размером с Марс (модель сверхудара)**.**

IV. *Задачи:*

1. Галилей первым измерил высоту гор на Луне, наблюдая появление вблизи терминатора отдельных 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′. 2,6 км
2. Вычислите возможную наибольшую высоту Луны над горизонтом в Томске, зная, что наклон лунной орбиты к эклиптике равен 5^0 09′. $62^0 06'$
3. Чему равна масса Земли, если угловая скорость Луны 13,2° в сутки, а среднее расстояние до нее 384 500 км?
4. Для поддержания регулярной связи друг с другом и с Землей вокруг экватора Луны было решено построить цепочку из 60 высотных пунктов радиосвязи. При этом было необходимо, чтобы из каждого пункта были видны два соседних. Определите минимальную высоту пунктов связи. Радиус Луны равен 1738 км.

5. Диаметр тени Луны на поверхности Земли не превышает 250 км. Исходя из этого, определите максимальную длительность полного солнечного затмения в одном пункте Земли.
6. Оцените среднее число видимых невооруженным глазом звезд, покрытия которых Луной можно будет наблюдать в течение одного месяца, если известно, что видимый угловой диаметр диска Луны составляет 30′, а одна звезда в среднем приходится на 7 квадратных градусов неба. 25

V. Олимпиада.

1. Для наблюдателя, находящегося на равнинной местности на экваторе только что зашла Луна. На какую высоту ему нужно подняться, чтобы снова увидеть Луну расположенной своим нижним краем на линии горизонта? Угловой диаметр Луны считать равным 30′. С высоты 1 м дальность видимого горизонта 3,5 км и угол 2′. Для 30′= 52,5 км. Тогда ответ 215 м.
2. Выберите верные утверждения относительно наблюдений Луны с территории России. Считайте, что погода всегда благоприятствует наблюдениям.
   1) Луна всегда видна на небе в полночь.
   2) Во время солнечного затмения Луна всегда закрывает Солнце полностью.
   3) Любое лунное затмение всегда видно одновременно на всей территории России.
   4) Луну можно наблюдать в созвездии Тельца.
   5) Покрытие Арктура Луной происходит с периодом около 18 лет.
   6) Во время суперлуния видимый размер Луны более чем в два раза превышает её размер во время полнолуния.
   7) Пепельный свет Луны лучше всего виден вблизи новолуний.
   8) Луна не вращается вокруг своей оси.
3. Во время центрального кольцеобразного солнечного затмения звездная величина Солнца уменьшилась на 5 звездных величин. На каком расстоянии от наблюдателя находилась Луна, если видимый угловой размер Солнца составлял 32′? Радиус луны 1740 км. Потемнением Солнца к краю диска пренебречь. 375 000 км
4. Астроном наблюдает прохождение геостационарного спутника Земли по диаметру диска Луны. Какова может быть длительность такого явления? Орбиту Луны считать круговой и лежащей в плоскости экватора Земли.

Вопросы:

1. 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?
2. Предположим, что 25 дней назад было солнечное затмение. Во сколько сегодня взошла бы Луна, если мы находимся в тропиках? Примерно в 2 часа
3. Солнечное затмение может наблюдаться в одних частях земного шара и не наблюдаться в других. А лунное затмение?
4. Что происходит на Луне, когда на Земле происходит лунное затмение?
5. Лунное затмение наблюдается на восходе Луны. Какое сейчас время суток?
6. Какие ошибки допущены на рисунке?

1) Луна не может быть видна в созвездии Большой Медведицы; 2) размер Луны значительно преувеличен; 3) звезда не может наблюдаться между «рогами» месяца; 4) звёзды показаны одинаковыми по яркости.

7. Почему максимальная высота подъема Луны над горизонтом зависит от времени года?
8. В какое время года Луна в новолуние дольше всего остается над горизонтом?
9. В какое время года Луна в полнолуние поднимается над горизонтом на максимальную высоту и почему?
10. Луна восходит не менее двух минут, если ее наблюдать на Земле. В течение, какого времени восходит Земля для наблюдателя на Луне?

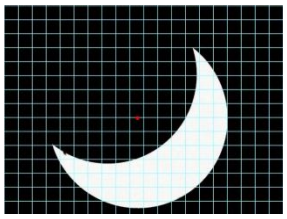
Разное

1. Предположим, что сегодня Луна в фазе первой четверти покрывает звезду Альдебаран (α Тельца). Какой сегодня сезон года? конец февраля – начало марта.
2. В советские времена лётчикам, налетавшим 1 миллион километров, выдавали специальный значок. А кто быстрее «накрутит» это расстояние: космонавты на Международной космической станции или космонавты на Луне? Вычислите время, которое понадобится каждой группе космонавтов, чтобы заслужить эту награду. Известно, что МКС летает на высоте 420 км над поверхностью Земли и совершает 1 оборот за 90 минут. на МКС километры «накручиваются» быстрее.
3. Астронавты, находящиеся на Луне, наблюдают Землю. Какой будет казаться для них продолжительность суток на Земле? 1,04 суток

Олимпиада.

1. Астроном из Долгопрудного (широта $\phi = 56^\circ$) наблюдает лунное затмение. Посмотрев на часы, астроном заметил Луну на высоте $h = 57{,}5^\circ$ в полночь по истинному солнечному времени. Определите склонение Луны в момент наблюдения. Определите склонение Солнца в момент наблюдения. Определите дату наблюдения.
2. В одной из серий мультсериала «Футурама» главные герои во время визита на Луну попали в сложные обстоятельства. Оказавшись на дневной стороне Луны, они заметили стремительно приближающийся терминатор – линию раздела дня и ночи. Так как герои боялись, что на ночной стороне Луны они замерзнут, то им не оставалось ничего, как убегать от терминатора. Два путешественника, расположенные на одном меридиане Луны в 100 км друг от друга, бегут каждый вдоль своей параллели, все время оставаясь на терминаторе. При этом один из них бежит на 0.10 м/с быстрее, чем другой. Определите широты двух путешественников. Рельеф Луны не учитывать, Солнце находится в плоскости экватора Луны. Точные ответы, не требуемые от участников, составляют 22.3^0 и 25.6^0 по модулю широты. Скорости бега при этом составят 3.96 и 3.86 м/с соответственно.
3. С какой скоростью американские астронавты двигались по круговой орбите вокруг Луны на высоте около 75 км? Поясните условия самого энергетически выгодного запуска космического корабля с Луны на Марс.

4. Максимальная фаза частного солнечного затмения, произошедшего 25 октября 2022 года, составила 0.862 (то есть Луна закрыла 86.2 % диаметра солнечного диска) и наблюдалась в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, вблизи города Нижневартовск в 11:01 по всемирному времени. Какое время в этот момент показывали часы вартовчан, если известно, что Нижневартовск находится на 2 часовых пояса восточнее Москвы? Могло ли где-то наблюдаться полное затмение на поверхности Земли или хотя бы на искусственных спутниках Земли? Объясните свой ответ.



5. Полное центральное солнечное затмение наблюдали в Калининграде, Петропавловске-Камчатском и Ташкенте. В каком городе продолжительность полной фазы затмения была больше и почему? В каком порядке наступала полная фаза затмения в этих городах? В какое время суток? Дана зарисовка затмения, сделанная во время его максимальной фазы в одном из городов России. Какой тип затмения наблюдался в этом городе? В какой фазе находилась Луна во время зарисовки? Могла ли наблюдаться солнечная корона в этом городе? Вычислите фазу затмения, представленную на зарисовке (центр светлого диска отмечен красной точкой). 0,7

Занятие 18. Планеты земной группы.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Венера видна на небе рядом с растущей Луной. Какая у нее элонгация – западная или восточная?
2. Объясните, почему Луна восходит каждый день на 50 мин позже, чем накануне.
3. 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? 33
4. Предположим, что 25 дней назад было солнечное затмение. Во сколько сегодня зашла бы Луна, если мы находимся в тропиках? В 14 часов
5. Почему самые продолжительные солнечные затмения наблюдаются в тропических странах?
6. В каких широтах серп растущей и убывающей Луны ориентирован одинаково относительно горизонта?
7. Луна строго в первой четверти, и граница света и тени строго вертикальна. Где в этот момент находится Солнце?
8. Когда и в какой стороне горизонта лучше наблюдать Луну за неделю до лунного затмения? До солнечного?
9. Где на Земле можно увидеть лунное затмение в зените?
10. Когда Луна в полнолуние выше поднимается над горизонтом в Северном полушарии – зимой или летом?
11. В какое время суток наблюдается Луна через неделю после новолуния?
12. В какой фазе будет находиться Луна в день осеннего равноденствия, если в это время ее прямое восхождение равняется 18^h20^m?

II. *Задачи (блиц):*

1. Определите массу Урана в единицах массы Земли, сравнивая движение Луны вокруг Земли с движением спутника Урана - Титанией, обращающегося вокруг него с периодом 8,7 сут на расстоянии 438000 км. Период обращения Луны вокруг Земли 27,3 сут, среднее расстояние ее от Земли составляет 384000 км. 14,6
2. Известно, что высота орбиты некоторого спутника в 8 раза меньше высоты геостационарной орбиты. Сколько раз можно наблюдать восход этого спутника над горизонтом за 60 дней на экваторе? Считать, что спутник видно как ночью, так и днём. Радиус орбиты геостационарного спутника 42164 км. У нашего радиус 10870 км, период звездный 7,64 ч, заходить за горизонт будет через 3 ч.
3. В какой фазе Луна имеет максимальную высоту над горизонтом в сентябре для наблюдателя, находящегося во Владимире? 56°08′11″ с.ш

III. Планеты, относительно небольшие небесные тела, движущиеся вокруг Солнца и светящиеся отраженным солнечным светом. По физическим характеристикам планеты делятся, на **планеты земной группы:** (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и **планеты-гиганты:** (газовые (Юпитер, Сатурн), ледяные (Уран, Нептун)).

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	224,7сут	365,25 сут	687 сут
Наклон плоскости экватора к плоскости орбиты	3^0	177,4°	23,45°	25,2°
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	5.4 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	$C0_2$ - 97%	N_2=78% O_2=21%	$C0_2$=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°С.

Марс намного меньше Земли и поэтому не смог удержать внутреннее тепло. У него разреженная атмосфера, но все-таки ее парниковый эффект добавляет свои 8°С. А Земле он добавляет почти 40°С. Если бы у нашей планеты не было такой плотной атмосферы, температура Земли была бы на 40° ниже.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Рассчитайте наименьшее расстояние от Земли до Марса, если наибольший горизонтальный параллакс Марса составляет 23″.
2. Во время зимы в северном полушарии Марса снеговая полярная шапка может доходить до широты 55^0. Оцените площадь поверхности планеты, которую покрывает снег в это время. Радиус Марса составляет $3.4 \cdot 10^3$ км.

Шаровой сегмент (в интернете): $S = 2\pi R^2(1-\cos\theta) \approx 1.3 \cdot 107$ км^2. $\theta=35^0$

3. Каков наибольший угловой диаметр Земли, рассматриваемый с Марса на расстоянии 0,378 а.е.? 47"
4. Эксцентриситет орбиты Земли внезапно увеличился, и стал таким же по величине, как у орбиты Марса. В каких пределах (в миллионах километров) стало изменяться расстояние от Земли до Солнца, если большая полуось земной орбиты осталась неизменной и равной 1 а.е? от 0,907 до 1,093 а.е.

V. Олимпиада.

1. 29 марта 2004 года обе внутренние планеты были в наибольшей восточной элонгации: Меркурий – в 19°, Венера – в 46° от Солнца. В это же время Меркурий находился вблизи точки перигелия своей орбиты. Вычислите расстояние между Меркурием и Венерой и фазу Венеры для наблюдателя на Меркурии. Орбиты Венеры и Земли считать окружностями. Наклонением орбит планет к плоскости эклиптики пренебречь.
2. Космический аппарат находится в точке, где угловой размер Земли в 10 раз больше углового размера Луны, на прямой, соединяющие центры Земли и Луны, между ними. Расстояние от Земли до Луны 384400 км. Определите расстояние спутника от центра Земли. Найдите соотношение сил притяжения аппарата к Луне и Земле. Период обращения аппарата вокруг Земли. Определите линейную скорость движение аппарата относительно Земли. 103455 км. 700. 3,8 сут, 2 км/с.
3. Астероид радиусом 50 метров в некоторый момент времени находился на расстоянии 0,866 а.е. от Солнца и при наблюдении с Земли угол между астероидом и Солнцем составлял 60^0.Оцените видимую звездную величину астероида в этот момент. Возможно, ли наблюдать его в телескоп с диаметром объектива 50 см? Оптические свойства поверхности астероида такие же, как у Луны. Через теорему синусов докажем, что треугольник прямоугольный, первая четверть.

Вопросы:

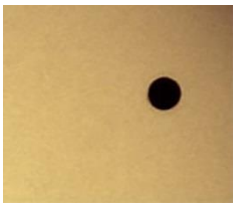
1. Почему невозможно рассмотреть поверхность Венеры в телескоп?
2. Почему терминатор Венеры при наблюдении его с Земли имеет форму дуги эллипса?
3. Венера вступила в тесное соединение с Марсом. У какой из этих двух планет видимый диаметр в это время больше?
4. В чем сходство и в чем различие атмосфер (поверхностей) планет земной группы?
5. Как делится на климатические пояса поверхность планеты, ось которой образует с плоскостью орбиты угол около 65°.

Разное

1. Определите среднее значение орбитальной скорости Луны, принимая ее орбиту за круг. Среднее расстояние от Земли до Луны равно 384000 км. Сидерический месяц содержит 27,3 сут.
2. Некоторая планета наблюдается с Земли. Ее синодический период в 3 раза больше, чем сидерический. На каком минимальном расстоянии может проходить эта планета от Земли? Орбиты планет считать круговыми.

Олимпиада.

1. 62 года назад, 12 февраля 1961 года, к Венере была запущена автоматическая межпланетная станция «Венера-1». Определите примерную дату пролета АМС рядом с Венерой, если известно, что она двигалась по эллиптической орбите, касающейся орбит Земли и Венеры (так называемому эллипсу Гомана).
2. Космический корабль вышел на круговую орбиту радиусом 8000 км над экватором далёкой землеподобной экзопланеты, полностью закрытой облаками. Диаметр планеты по верхней кромке облаков составил 9700 км, а масса — $3 \cdot 10^{24}$ кг. На корабле установлен радар, который смотрит точно вниз и облучает короткими импульсами небольшие участки поверхности планеты точно под кораблём. Импульсы, отражаясь от поверхности, приходят на корабль через 22 мс с отклонениями до 60 мкс. Определите среднюю плотность планеты без учёта атмосферы, высоту верхней кромки облаков и высоту гор на планете.
3. В телескоп с диаметром 20 см и фокусным расстоянием 1000 мм фотографируют Марс в момент великого противостояния (расстояние между Марсом и Землей 0.38 а.е.) на ПЗС-матрицу с размером пикселя 5 мкм. Сколько пикселей занимает Марс? Сколько фотонов будет в каждом пикселе при выдержке 1/200 секунды? Считайте, что от звезды нулевой звёздной величины приходит 10^6 фотонов за 1 секунду на 1 см^2. Звёздная величина Марса во время великих противостояний -2.9^m. Ответ: 1) 452; 2) около 50 тысяч.
4. На фотографии, полученной с Земли, показана Венера в некоторый момент времени, когда планета оказалась повернута неосвещённой стороной к наблюдателю. Известно, что радиус Венеры составляет 6000 км, радиус её орбиты равен 0.72 а.е. Орбиты Земли и Венеры считайте круговыми. Вычислите расстояние между Венерой и Землёй в момент наблюдения. Ответ выразите в миллионах километров, округлите до целых. Вычислите угловой диаметр Венеры в момент наблюдения. Ответ выразите в угловых секундах, округлите до целых.

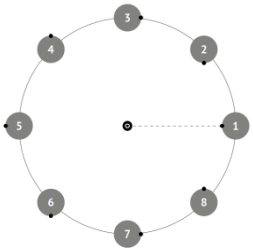


5. Вокруг некоторой далёкой звезды, похожей на Солнце, по круговой орбите радиусом 2.25 астрономической единицы обращается подобная Земле планета. Определите период обращения экзопланеты вокруг своей звезды. Ответ выразите в земных годах, округлите до тысячных. Ответ: [3.3; 3.4] В своём движении вокруг Солнца Земля преодолевает расстояние, равное своему диаметру, за 428 секунд. За какое время экзопланета пролетает свой диаметр? Ответ выразите в секундах, округлите до целых. Ответ: [640; 644] Диаметр Солнца больше диаметра Земли в 109 раз. Как долго длится центральное прохождение экзопланеты по диску родительской звезды для наблюдателя, находящегося в плоскости орбиты этой экзопланеты вдали от этой системы? Ответ выразите в часах, округлите до десятых Ответ: [19; 20]
6. На поверхность некой очень похожей на Землю планеты из протопланетного диска ежесекундно выпадает примерно 10^{20} пылевых частиц. Каждая пылинка представляет шарик радиусом 1 микрометр, состоящий из вещества плотностью 3000 кг/м^3. За сколько лет на планету выпадет вещество суммарной массой в 1

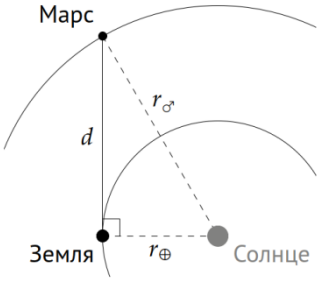
массу Луны? Ответ дайте в миллионах лет. Для справки: масса Земли равна $6 \cdot 10^{24}$ кг, а масса Луны в 81 раз меньше.

Занятие 19. Планеты гиганты.

I. *Вопросы (блиц):*



1. К западу или к востоку от Солнца находится Венера, если она наблюдается утром?
2. При каких конфигурациях диск верхней планеты имеет наибольший ущерб?
3. Венера вступила в тесное соединение с Марсом. У какой из этих двух планет видимый диаметр в это время больше?
4. Из-за чего потеряли атмосферу Луна и Меркурий?
5. Какая из планет земной группы больше других по размерам; массе; плотности?
6. Некоторая экзопланета за 1 оборот вокруг звезды («год») совершает 2 оборота вокруг своей оси. Выразите продолжительность солнечных суток на этой планете в «годах». Орбита планеты круговая, плоскость экватора совпадает с плоскостью орбиты. Направление вращения планеты вокруг своей оси совпадает с направлением обращения вокруг звезды.



II. *Задачи:*

1. Ясным вечером житель марсианской колонии любовался в телескоп Землёй в фазе, в точности напоминающей первую четверть Луны на земном небе. Затем он вернулся на базу, чтобы посмотреть выпуск новостей, который на Земле начинался ровно в 20:00 по стандартному времени. Во сколько по стандартному времени начнётся выпуск новостей на Марсе, если задержка вызвана исключительно конечностью скорости распространения телесигнала?
2. Школьник Вася прочитал в энциклопедии о строении планеты в далекой звездной системе. 30% по радиусу занимает ядро, затем до 70% радиуса простирается внутренний слой с плотностью 3000 кг/м^3, а дальше находится внешний слой со средней плотностью всего 600 кг/м^3. Из-за кляксы на странице энциклопедии Вася не смог разобрать плотность ядра, но рассчитать ее он смог: в энциклопедии говорилось, что средняя плотность всей планеты равна 1530 кг/м^3. Чему же равна плотность ядра планеты?

III. 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 электротоки, 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. У Сатурна 62 спутника.

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.

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? У Нептуна пять колец.

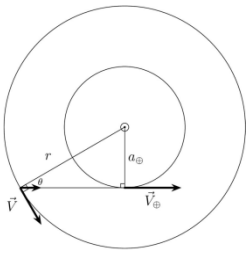
IV. *Задачи:*

1. 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?
2. Различим ли был бы диск Европы человеческим глазом с поверхности облаков Юпитера? Разрешающая способность человеческого глаза 1". Спутник Юпитера Европа имеет диаметр 3122 км и радиус орбиты 671100 мкм. Радиус Юпитера 71500 км. 17,9'
3. Для наблюдателя на Марсе годичный параллакс звезды равен 25 миллисекунд дуги. Определите, чему будет равен годичный параллакс этой звезды для наблюдателя на спутнике Юпитера Каллисто. Орбиты планет считать круговыми. Радиус орбиты Марса 1.52 а.е., Юпитера – 5.2 а.е. Ответ запишите в миллисекундах, округлив до целых.

V. Олимпиада.

1. Комета в точке афелия располагается от Солнца вдвое дальше Нептуна, а в перигелии подходит близко к Солнцу. Чему равен ее орбитальный период?
2. На Луне установили отражатель – идеальное плоское зеркало, имеющее форму круга. В один момент зеркало отразило свет Солнца на Землю. При наблюдении с Земли в максимуме яркости пятно на Луне имело такую же звездную величину, как расположенный рядом на небе Юпитер в противостоянии. Определите диаметр зеркала. В момент наблюдений Земля Луну и зеркало не затеняла. Орбиты Луны и планет считать круговыми, потемнение диска Солнца к краю не учитывать.

3. В момент наибольшей восточной квадратуры для земного наблюдателя лучевая скорость астероида составила +20 км/с. Определите радиус орбиты астероида, считая её круговой и лежащей в плоскости эклиптики. Направления вращения Земли и астероида совпадают. 2.1 а.е.

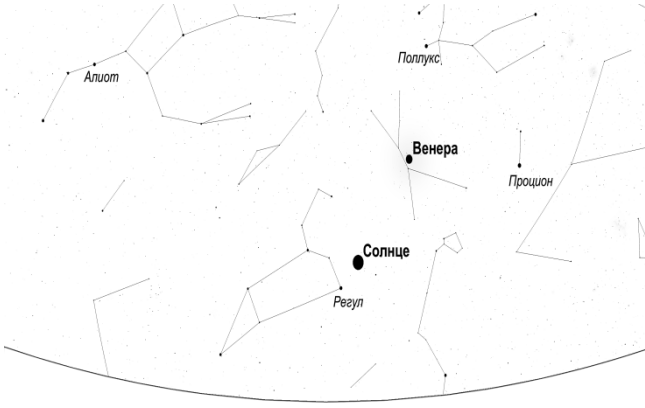


Вопросы:

1. Чем отличаются планеты земной группы от планет-гигантов?
2. Какая планета вращается вокруг своей оси быстрее всех других планет?
3. Что стало бы с Солнечной системой, если бы масса Солнца мгновенно уменьшилась вдвое?
4. Нептун находится от Солнца на расстоянии 30 а.е. Чему равен его горизонтальный параллакс на среднем расстоянии от Земли? Чему равен годичный параллакс Нептуна?
5. У какой из планет Солнечной системы самая маленькая орбитальная скорость?
6. Какая планета имеет среднюю плотность меньшую, чем плотность воды?

Олимпиада.

1. На изображении представлен вид восточной части неба в некоторый момент времени. Для удобства подписаны попавшие в кадр Солнце, планеты и яркие звёзды, а также отмечены линии созвездий. Ответьте на следующие вопросы:
   1) В каком полушарии Земли находится наблюдатель?
   2) Какому календарному месяцу соответствует такое положение светил?
   3) В каком созвездии находится Венера?
   4) Какой период видимости у Венеры: утренний или вечерний?
   5) Является ли ближайший к изображённому моменту месяц благоприятным для наблюдения Спики?



Занятие 20. Малые тела Солнечной системы.

I. *Вопросы (блиц):*

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?

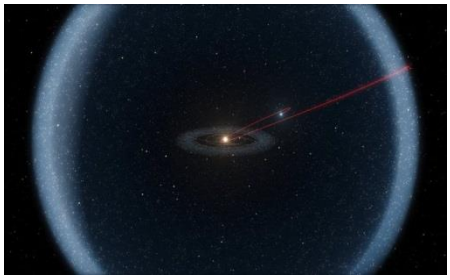
II. *Задачи:*

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″.

III. "Правильное" возрастание расстояний планет от Солнца и пробел между орбитами Марса и Юпитера. 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. Суммарная масса астероидов оценивается в 0,1 массы Земли, а размеры их от 1000 км в поперечнике у Цереры до нескольких километров.

Пояс Койпера окружает Солнечную систему концентрическим кольцом на расстоянии 30 – 50 а.е. от Солнца. Число объектов, обнаруженных в этом поясе, перевалило за 1300.

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.



Метеоры, болиды и метеориты. Метеоры - это небольшие частички, которая сгорает на высоте от 80 до 100 километров под действием трения среды в чрезвычайно разреженной стратосфере. Если метеор смог прорваться до нижних слоёв атмосферы, то вокруг объекта образуется светящийся шар, за которым тянется шлейф из пыли и 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.

Кометы. В нашей Солнечной системе известных комет намного меньше, чем астероидов - 3526. 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 обнаружились 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 15х10 км), **голова и хвост кометы.** 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.

Метеоры и метеорные потоки, сателлиты кометы.

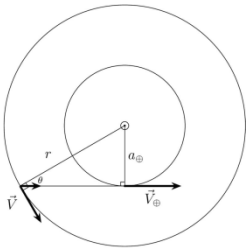
Гипотезы о происхождении Солнечной системы.

IV. *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. Комета в точке афелия располагается от Солнца вдвое дальше Нептуна, а в перигелии подходит близко к Солнцу. Чему равен ее орбитальный период?
6. Метеорный поток Леониды имеет чётко выраженный период активности, равный 33 годам. Чему равна большая полуось орбиты кометы, его породившей?
7. Мощность излучения Солнца равна $3{,}827 \cdot 10^{26}$ Вт. Предполагая, что потери этой излучаемой за год энергии возмещаются тем, что на поверхность Солнца падает большое число метеоритов, вычислите, на сколько должна увеличиться в год масса Солнца, если считать, что метеориты падают с бесконечности? $63{,}6 \cdot 10^{18}$ кг

V. Олимпиада.

1. Сферический астероид диаметром 22 м на круговой орбите радиусом 1,3 а.е. вращается вокруг своей оси с периодом, равным 15 секундам. Во сколько раз скорость движения точек на его экваторе относительно центра отличается от скорости его движения по орбите?



2. В момент наибольшей восточной квадратуры для земного наблюдателя лучевая скорость астероида составила +20 км/с. Определите радиус орбиты астероида, считая её круговой и лежащей в плоскости эклиптики. Направления вращения Земли и астероида совпадают. 21 а.е.
3. Движение и взрыв яркого болида случайно зафиксировали три видеокамеры. Поясните рисунком, как по видео изображениям можно определить высоту взрыва. Оцените эту высоту, если в результате обработки изображений камер были получены три значения высот точки взрыва: 40°, 52° и 64°. Камеры находились на расстояниях 20, 35 и 50 км от вертикали точки взрыва.
4. Отношение масс Плутона и Харона равно 8,6. Харон обращается вокруг Плутона за 6,4 земных суток. Масса Плутона равна $13 \cdot 10^{21}$ кг. Докажите, что система Плутон–Харон является «двойной планетой» (т.е. центр масс системы находится снаружи как Харона, так и Плутона).

Вопросы:

1. Объясните, почему Титан – спутник Сатурна, смог сохранить свою атмосферу, а Меркурий – нет?
2. Изобрази Солнечную систему. Покажи, где расположен пояс астероидов, пояс Койпера, облако Оорта.

3. После захода Солнца на западе находится комета. Как относительно горизонта направлен ее хвост?
4. Может ли быть спутник у астероида или кометы?
5. Какие наблюдения доказывают, что кометы не находятся в земной атмосфере, как это полагали в древности?
6. Почему у каменистого космического тела диаметром меньше 1 км недостаточно массы, чтобы обеспечить силу, необходимую для удержания составляющих его частей?
7. Почему тип космической пыли, из которой формируется планета, зависит от расстояния до Солнца?
8. Что общего и в чем различия между планетой и кометой?
9. Чем отличается метеор от метеорита?

Олимпиада.

1. Астероид Халва обращается вокруг Солнца по орбите с большой полуосью 2.5 а.е. и эксцентриситетом 0,23. На какое минимальное расстояние этот астероид приближается к Земле? С какой скоростью относительно Земли он при этом движется? Наклон орбиты астероида к плоскости эклиптики и эксцентриситет орбиты Земли считайте равными нулю.
2. Выберите верные утверждения о спутниках объектов Солнечной системы из списка ниже.
   1) У Венеры есть спутник с диаметром более 120 км.
   2) Спутники Марса обладают диаметрами менее 50 км.
   3) Число известных спутников Юпитера превышает 10.
   4) Луна — самый крупный из всех спутников планет Солнечной системы.
   5) У крупных астероидов также могут существовать спутники.
   6) Отношение массы спутника к массе планеты, вокруг которой этот спутник вращается,
   7) максимально для пары Титан–Сатурн.
3. Вам предлагается несколько утверждений. Для каждого из них выберите, согласны Вы с ним («да») или нет («нет»), можно также выбрать вариант «не знаю».
   1) Если Вы живете в Северном полушарии, высота Полярной звезды над горизонтом в градусах примерно равна Вашей широте.
   2) Люди, жившие во времена Юлия Цезаря, видели созвездия, форма которых была совершенно другой.
   3) При наблюдении летом в Петербурге захода Солнца Луна, если она полная, в этот момент обязательно будет в южной половине неба.
   4) Затмения были бы более частым событием, если бы орбита Луны была сильнее наклонена к плоскости эклиптики.
   5) Разность дат по юлианскому и григорианскому календарям в XVIII веке всегда равнялась 11 дням.
   6) Когда Марс находится в великом противостоянии, он находится дальше всего к Земле.
   7) Пояс Койпера расположен между орбитами Марса и Юпитера.
   8) Галактика, в которой мы проживаем, относится к эллиптическим галактикам.

4. Считается, что на спутнике Сатурна Мимасе есть подповерхностный океан. Однако никаких видимых признаков, подтверждающих данный факт, не наблюдается. Из Мимаса не бьют гейзеры, на нем не сдвигаются ледяные торосы. Поверхностный лед толстый, старый и не содержит следов геологической активности. Нет и наблюдаемых источников, которые могли бы разогревать недра небесного тела. Тем не менее, астрономы считают, что океан жидкой воды все же есть. Как вы думаете, на основание каких наблюдений делается такой вывод? Какие признаки вы можете предложить?

Занятие 21. Решение задач.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Расположите объекты в порядке увеличения их средней плотности: нейтронная звезда, Солнце, Бетельгейзе, белый карлик, Земля, кома кометы, Вселенная. ***Ответ.*** Вселенная, кома кометы, Бетельгейзе, Солнце, Земля, белый карлик, нейтронная звезда.
2. Как определили, что некоторые астероиды имеют неправильную, угловатую форму?
3. Как можно доказать, что действительно звезды с неба не падают?
4. Какие наблюдения доказывают, что кометы не находятся в земной атмосфере, как это полагали в древности?
5. Комета движется по эллипсу, имеющему эксцентриситет $e = 0{,}5$. Во сколько раз ее скорость в перигелии больше, чем в афелии?
6. 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.
7. В какой точке орбиты кометы ее кинетическая энергия максимальна, а в какой минимальна? А потенциальная?
8. Может ли Земля столкнуться с кометой; с астероидом; с планетой?
9. Как определяют возраст земной коры, лунных пород, метеоритов?
10. Почему полные солнечные затмения очень интересны для наблюдателей комет?
11. Где граница Солнечной системы?

II. *Задачи:*

1. 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?
2. 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.
3. В далёком будущем исследователи космоса высаживаются на поверхность планеты Gliese 581 c, 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? $2{,}3^0$

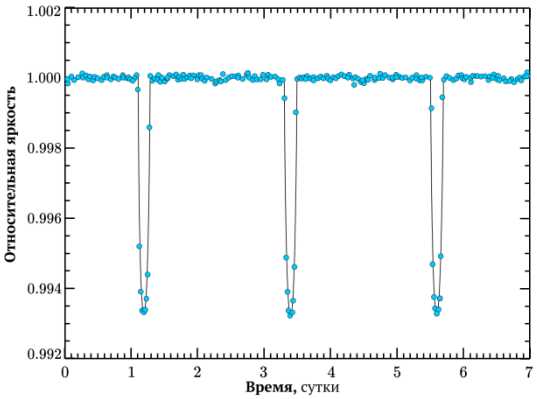
III. *Вопросы:*

1. Предложите обоснованный проект защиты Земли от астероидов и других, опасных для жителей Земли небесных тел.
2. Может ли комета, периодически возвращаясь к Солнцу, вечно сохранять свой вид неизменным?
3. Расположите объекты в порядке увеличения их средней плотности: нейтронная звезда, Солнце, Бетельгейзе, белый карлик, Земля, кома кометы, Вселенная.
   Ответ. Вселенная, кома кометы, Бетельгейзе, Солнце, Земля, белый карлик, нейтронная звезда.
4. Соедините физическое явление и небесное тело, на котором оно может наблюдаться.

Физическое явление	Небесное тело
1. Образование протуберанца.	A) Венера
2. Полярная ночь на экваторе.	B) Комета
3. Полное замерзание атмосферы.	C) Красный гигант
4. Перепад температуры на поверхности более 500 градусов.	D) Марс
5. Гелиевая вспышка.	E) Меркурий
6. Голубой закат.	F) Сатурн
7. Извержение водяных гейзеров.	G) Солнце
8. Парниковый эффект.	H) Уран
9. Сильного растяжения объектов поблизости.	I) Черная дыра
10. Возникновение колец.	J) Энцелад

IV. Олимпиада.

1. 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?
2. Доказать, что комета, движущаяся по параболе с минимальным расстоянием от Солнца, должна употребить $k \cdot q^{3/2}$ времени, чтобы описать 90^0 после перигелия? Выразите это время в сутках. Период обращения кометы не зависит от длины малой полуоси ее орбиты!
3. Прохождение планеты по диску звезды солнечного типа длится 6 часов, падение блеска $0{,}001^m$. Найдите диаметр планеты и расстояние от звезды до планеты.
4. На представлена кривая блеска — зависимость блеска некоторой звезды от времени. На графике отчётливо видны моменты кратковременного падения блеска, вызванного прохождением экзопланеты по диску звезды.



   1) Определите период обращения этой экзопланеты вокруг звезды. 2.2 сут.
   2) Во сколько раз радиус звезды больше радиуса экзопланеты? Считайте прохождение центральным. 12
5. По данным одного из исследований масса пояса Койпера составляет около 1% от массы Земли. При моделировании динамики объектов Солнечной системы

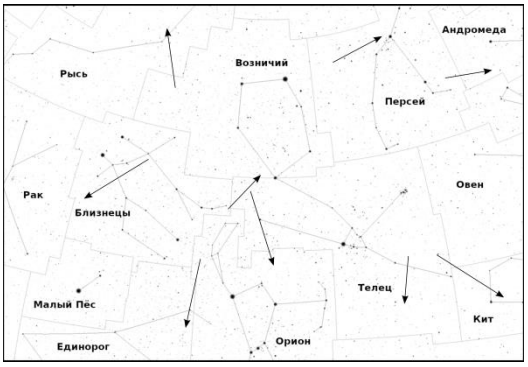
пояс Койпера для упрощения представили плоским очень тонким кольцом с внутренним радиусом 30 астрономических единиц (а.е.) и внешним радиусом 50 а.е. Сколько граммов приходится на каждый квадратный метр поверхности такого кольца?

Разное

1. 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.
2. 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.

Олимпиада.

1. На рисунке приведён фрагмент звёздной карты с нанесёнными на него следами метеоров. Направление стрелки совпадает с направлением движения метеора. Определите название созвездия, в котором находится радиант метеорного потока.
   1) Андромеда; 2) Близнецы; 3)⊙ Возничий; 4) Единорог; 5) Кит; 6) Малый Пёс; 7) Овен; 8) Орион; 9) Персей; 10) Рак; 11) Рысь; 12) Телец.



2. Рассмотрим астероид N_1, делающий полный оборот вокруг Солнца за 4 года, и астероид N_2, движущийся по круговой орбите радиусом 2.2 а.е. Во сколько раз будут отличаться периоды обращения астероидов N_1 и N_2? Ответ округлите до десятых. Ответ: 1.2 Между орбитами каких планет находится орбита астероида N_1? К какой области Солнечной системы принадлежит указанный астероид?

Занятие 22. Олимпиада.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Б.А.Воронцов-Вельяминов, Е.К.Страут. Астрономия. Учебник для 11 класса, Дрофа, 2018.
2. М.А.Кунаш. Методическое пособие к учебнику астрономия, Дрофа, 2018.
3. Б.А.Воронцов-Вельяминов. Сборник задач по астрономии. М., 1980
4. Г.И.Малахова, Е.К.Страут. Дидактический материал по астрономии. М., 1989.
5. А.С.Алешкевич. Самостоятельные работы по астрономии. Минск, 1980.
6. Засов А. В., Сурдин В. Г. Астрономия. Учебник для 10—11 класса, ООО «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2019.
7. Угольников А. С. Астрономия. Задачник для 10—11 класса, издательство «Просвещение», 2018.
8. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. https://naidin.ru