

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).

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 угловых 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!

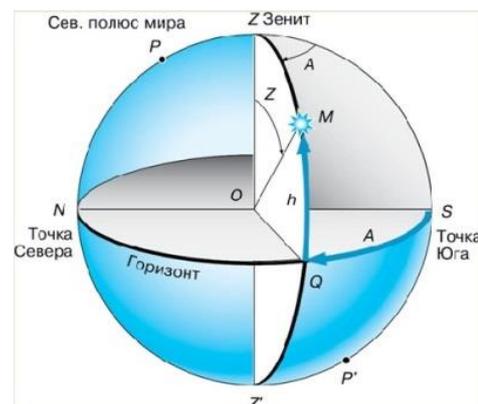
Плоскость касательная к поверхности Земли в точке



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



II. Задачи:

1. Определите угловое расстояние (с точностью до нескольких угловых минут) между Вега и Луной, если известны их координаты: Вега (азимут $A_1 = 90^\circ$, $h_1 = 52^\circ$), Луна (азимут $A_2 = 270^\circ$, высота $h_2 = 18^\circ$). 110°
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° . $26,5$ 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 проводится 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 \AA . Оцените угловое расстояние между компонентами. Диаметр зеркала телескопа Хаббла равен $2,4$ метра. $0'',03$
3. Астрограф с полем зрения $11' \times 11'$ ищет астероид в области, ограниченной $\alpha = 13$ ч 10 м и $\alpha = 13$ ч 20 м по прямому восхождению и $\delta = 30^\circ$ и $\delta = 33^\circ$ 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 $200 \text{ эВ} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, переносимый фотонами с энергией 1 ГэВ. Сколько таких фотонов может получить «Ферми» за сутки непрерывных наблюдений, если телескоп имеет размер $1.8 \times 1.8 \text{ м}$? 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: $h = 28^\circ$; $A = 180^\circ$. 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: $h = 53^{\circ}$; $A = 270^{\circ}$. Каково ее зенитное расстояние? На востоке, 37° .
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 достижения 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 $0,5^{\circ}$. Во сколько раз Луна меньше Земли по радиусу? 3,7
2. Масса галактики M87 равна $3 \cdot 10^{12}$ масс Солнца, угловой диаметр $7'$, расстояние до нее 55 миллионов световых лет. Найдите среднюю плотность галактики. $9 \cdot 10^{-21}$ кг/м³

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

Астеризм — различимая группа ярких звезд, 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.

Созвездием называется участок небесной сферы, границы которого определены специальным решением Международного астрономического союза (МАС).
Всего на небесной сфере – 88 созвездий.

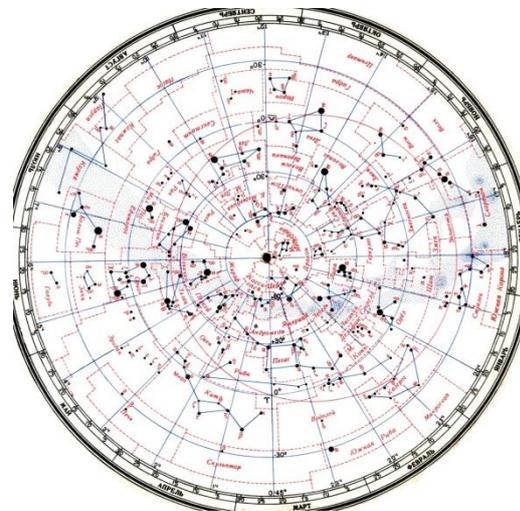


I_1 – блеск звезды первой величины.

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

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 $\delta_1 = 71^{\circ}46'$), Мирфак (прямое восхождение $\alpha_2 = 3^h24^m$, $\delta_2 = 49^{\circ}51'$). $121^{\circ}37'$
4. Звезда β Рыб имеет координаты $\alpha = 0^h50^m$, $\delta = 7^{\circ}35'$. Звезда ϕ Водолея находится на 1^h36^m западнее и на $13^{\circ}34'$ южнее. Определите координаты ϕ Водолея. 23^h14^m , $-5^{\circ}99'$



Олимпиада:

1. Оцените угловое расстояние между Полярной и Спикой (склонение -11° , прямое восхождение 13^h25^m в градусах. 101°
2. Любитель ночных пейзажей решил сфотографировать небольшой остров в море на фоне звёздного неба. Он обнаружил, что при съёмке из точки А, 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 А. 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? $D \sim 10$ см.
5. Как известно, ближайшая к нам звёздная система α Центавра состоит из трёх звёзд – тесной пары α Центавра А ($-0,01^m$) и α Центавра В ($+1,34^m$) 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 M31, если ее координаты $\alpha = 0^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta = +41^{\circ}16'$.
8. Выразите 13 ч 20 мин в градусной мере.
9. В каком созвездии находится Луна, если ее координаты $\alpha = 20^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = -20^{\circ}$?

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 $\alpha = 05^{\text{h}}55.2^{\text{m}}$, $\delta = +7^{\circ}24'$; координаты Ригеля $\alpha = 05^{\text{h}}14.5^{\text{m}}$, $\delta = -8^{\circ}12'$. Найдите широту места наблюдения. Атмосферной рефракцией пренебречь. 33°
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 $+45^{\circ}$) до широты $+55^{\circ}$ 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: $\alpha_1 = 2^{\text{h}}$, $\delta_1 = 0^{\circ}$, $\alpha_2 = 8^{\text{h}}$ и $\delta_2 = 0^{\circ}$. Каково угловое расстояние между ними на небе? 90°
6. Под каким углом пересекаются плоскости небесного экватора и математического горизонта? $90^{\circ} - \varphi$
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 $59^{\circ}48'$. На какой максимальной угловой высоте может наблюдаться эта звезда на Южном полюсе Земли и на экваторе? $-59^{\circ}48'$. $30^{\circ}12'$
9. В некоторой точке Земли звезды Дубхе и Мерак (α и β Большой Медведицы) одновременно появились над горизонтом. Чему примерно равна широта точки

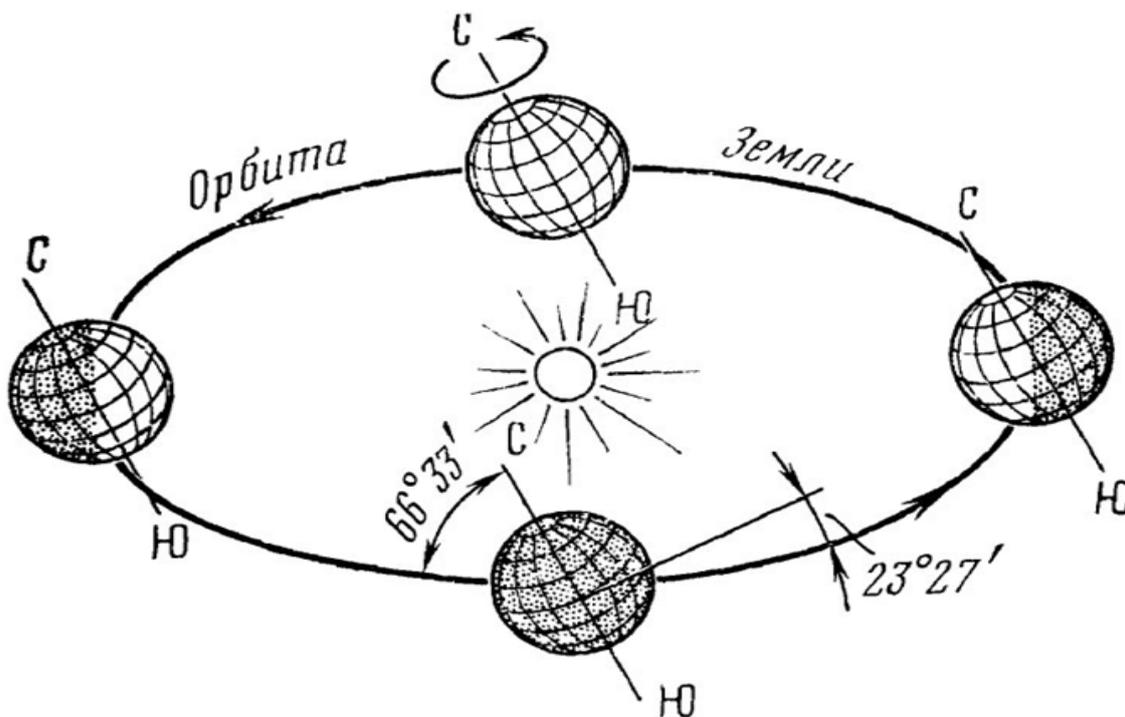
наблюдения? Полярная звезда тоже над горизонтом, широта 0° .

10. Светило видно в точке неба с азимутом $A = 90^{\circ}$ и высотой $h = 0^{\circ}$. Каково склонение светила? 0°

II. Задачи:

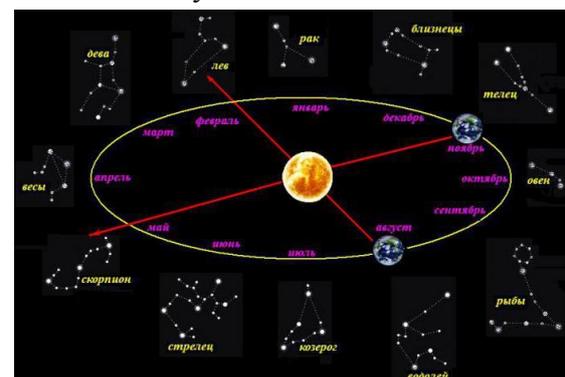
1. В звездном скоплении 250 одинаковых звезд, видимая звездная величина каждой из которых 10^m . Какова видимая звездная величина скопления? 4
2. Рассчитайте разность предельных звездных величин, доступных телескопам с диаметрами объективов 20 см и 5 см. 3
3. Во сколько раз Солнце – $26,8^m$ освещает 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 $23^{\circ}27'$. 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 амиллярной сферой). Смена времен года на Земле. Точки весеннего и осеннего равноденствия (21 марта и 23 сентября); точки солнцестояния (22 июня и 22 декабря).



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

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

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

Истинный полдень и истинная полночь. Солнечные истинные сутки. Почему солнечные сутки длиннее звездных суток на $3^{\text{м}}57^{\text{с}}$? По мере движения Земли каждый день Солнце немного смещается на небе, и звезды видно уже немного в другом месте. За сутки оно проходит по эклиптике путь примерно в 1 угловой градус. Чтобы повернуться на такой угол, Земле требуется 4 минуты. И значит, звезды восходят и заходят каждые сутки на 4 минуты раньше, при этом вечерние звезды приближаются к Солнцу, а утренние - отдаляются от него.

Горизонтальная система координат. Высота светила (Солнца) в верхней кульминации:

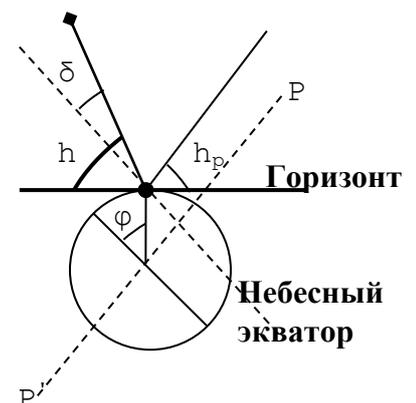
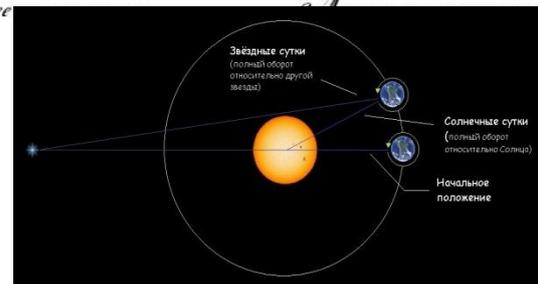
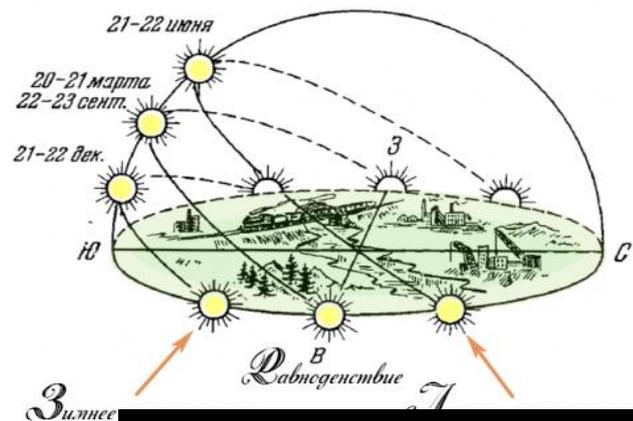
$$h = 90^{\circ} - \varphi + \delta.$$

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

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? $\approx 57^{\circ}$
2. 23 сентября тень отвесно стоящего столба в полдень составила 0,731 от его высоты. Определите географическую широту местности. $\approx 36,2^{\circ}$
3. Звезда отстоит от Северного полюса мира на 15° . Всегда ли она находится над горизонтом в Санкт-Петербурге ($\varphi = 59^{\circ}15'$)? 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



$\delta = +22^{\circ}04'$, широта Томска $\varphi = 56^{\circ}28'$. Изменение склонения Солнца в течение затмения и рефракцию не учитывать.

- На каких широтах на Земле верхняя кульминация видимого центра Солнца может происходить на зенитном расстоянии 30° ? Атмосферную рефракцию не учитывать. $53^{\circ}30' > \varphi > 6^{\circ}30'$
- 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. $\varphi = -66^{\circ}33'46''$.
- Приведите в соответствие координаты звезд в экваториальной системе координат, время и место, откуда они видны. Координаты Солнца в это время равны: $\alpha = 12^{\text{h}}00^{\text{m}}$, $\delta = 0^{\circ}0'$ (точка осеннего равноденствия). Ответ обоснуйте.

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

1	2	3	4	5
А	Д	Г	Б	В

Олимпиада.

- 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 $\varphi = 56^{\circ}13'$, а его телескоп расположен на высоте 1 м над землей. Угловой диаметр Солнца зимой $\alpha = 32'$. Рефракцию не учитывать. 38 м
- Самолёт на высоте $h = 10$ км пролетает над Сингапуром (широта $\varphi \approx 0^{\circ}$) 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 $3,2^{\circ}$. 360 км
- 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
- В какой из указанных дней Солнце поднимается выше всего над горизонтом в Сингапуре (широта $1^{\circ}27'$ 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. Начинаящий 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 $\varphi = 55^045'$. Определите угловое расстояние от точки зенита в Москве до полюса мира. $34^015'$
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 ($\varphi = 56^029'19''$)? 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 ($\varphi = 64^{\circ}35'$) звезда Фомальгаут, склонение которого равно $-30^{\circ}5'$? Нет
8. Некто уверял, что его знакомый, живя в Саратове ($\varphi = 51^{\circ}31'$), видел днем звезду Капеллу ($\delta = 45^{\circ}54'$) из очень глубокого колодца. Могло ли это быть?

II. Задачи (ближ):

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) $23,5^{\circ}$ ю. ш. 6) 87° ю. ш.
2. На Северном полюсе Земли некая звезда наблюдается на высоте $59^{\circ}48'$ 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 $20^{\circ}15'$. Каково ее зенитное расстояние в нижней кульминации в Вологде ($\varphi = 59^{\circ}13'$)? будет равно $51^{\circ}02'$

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.

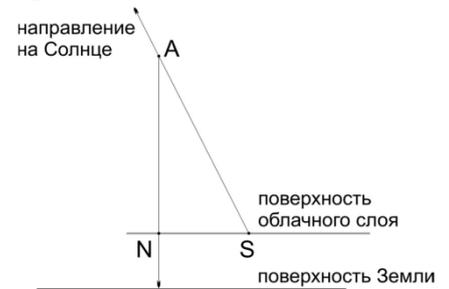
Вопросы:

1. Выберите из списка названия тех звёзд, которые будут видны сегодня в 9 часов вечера в Томске при условии хорошей погоды.
2. Склонение светила $+30^{\circ}$, 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 $00^{\text{h}}00^{\text{m}}$ 1 июля. В какой день она окажется в верхней кульминации в $20^{\text{h}}00^{\text{m}}$?
6. Прямое восхождение первой звезды равно $5^{\text{h}}29^{\text{m}}$, второй $10^{\text{h}}31^{\text{m}}$. Определите, через какое время кульминирует вторая звезда после первой?
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)?

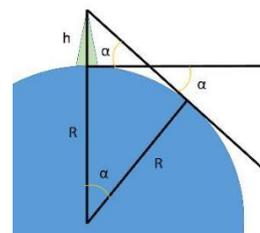
Задачи (блиц):

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



IV. Олимпиада:

1. Самолёт летит на высоте 10400 м. В местный полдень 21 июня самолёт пересёк параллель $+50^{\circ}$. 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. $\alpha = 32''$ $h = 276\text{м}$.



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 $02^{\text{h}}00^{\text{m}}$ взошла над горизонтом в $01^{\text{h}}00^{\text{m}}$ по местному времени. В какое местное время в этом пункте в этот день зайдет за горизонт далекая звезда 2 с прямым восхождением $08^{\text{h}}00^{\text{m}}$? Атмосферной рефракцией пренебречь. 18 часов 57 минут по местному времени в этот день.
 5. Звезда Вега ($\alpha = 18.5^{\text{h}}$, $h = +39^{\circ}$) в некотором пункте в некоторый момент времени проходит кульминацию, при этом она оказывается на 10° выше, чем звезда Канопус ($\alpha = 6.5^{\text{h}}$, $h = -53^{\circ}$), обе звезды расположены над горизонтом. Определите широту точки наблюдения. Рефракцию света не учитывать. Вега в верхней кульминации на высоте $+12^{\circ}$, Канопус в нижней кульминации на высоте $+2^{\circ}$.

Занятие 5. Время и календарь.

I. Вопросы (блиц):

1. Чему равны азимуты точек севера, юга, востока и запада?
2. Азимут светила 45° , высота 60° . В какой стороне неба надо искать это светило?
3. 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 $79^{\circ}07'$ (к югу от зенита), а в день зимнего солнцестояния $31^{\circ}19'$. Вычислите географическую широту пункта наблюдения и угол бывшего тогда наклона эклиптики к экватору.
2. В устье Беломоро - Балтийского канала высота полюса мира составляет $64^{\circ}33'$. На какой высоте бывает там Солнце в полдень 22 декабря?

III. Время данного географического меридиана (местное время) можно определить так: $T_{\text{м}} = T_0 + \lambda$, где T_0 - время на Гринвиче, а λ – долгота. Долготу измеряют в градусах или часах ($360^{\circ} = 24$ ч) от меридиана обсерватории в Гринвиче. 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 $T_{\text{д}}$ (время, которое показывают наши часы (декретное время)). Например, для Москвы $T_{\text{д}} = T_0 + 3$ (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 $13^{\text{h}}20^{\text{m}}$, по Гринвичу в $6^{\text{h}}20^{\text{m}}$, тогда долгота Томска $12^{\text{h}} - 6^{\text{h}}20^{\text{m}} = 5^{\text{h}}40^{\text{m}}$. **Томск: широта $\varphi = 56^{\circ}29'51''$, долгота $\lambda = 84^{\circ}58'27'' = 5^{\text{h}}39^{\text{m}}46^{\text{s}}$.**

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

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

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 $66^{\circ}34'$. Хронометр, идущий по всемирному времени, показал в момент наблюдения $11^{\text{h}}54^{\text{m}}$. Показать на земном глобусе (карте) место, где находился корабль.
3. В Омске ($n=5$) 20 мая $7^{\text{h}}25^{\text{m}}$ вечера. Какое в этот момент декретное и местное время в Новосибирске ($\lambda = 5^{\text{h}}31^{\text{m}}$, $n = 6$). А в Томске?

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 $\varphi \approx 0^{\circ}$) 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 пренебечь. $12^{\text{m}}48^{\text{s}}$

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 $11^h 20^m$ и прибыл точно по расписанию в Иркутск ($n = 7$) в $17^h 45^m$. 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 Жюль Верна «Таинственный остров» герои оказываются на неизвестном острове и называют его островом Линкольна. В ходе действий книги они узнают, что координаты острова Линкольна – $34^{\circ}57'$ ю. ш., $150^{\circ}30'$ 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 $37^{\circ}11'$ ю. ш., $151^{\circ}15'$ 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:

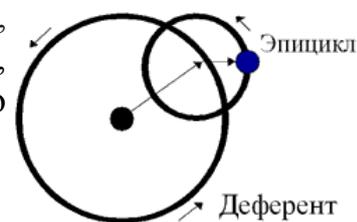
- **Нуклон** (протон и нейтрон) - система кварков (всего 6 кварков и 6 антикварков). Взаимодействия кварков (глюоны (8) – частицы, удерживающие кварки). Появились экспериментальные данные о том, что глюоны распределяются внутри нейтронов и протонов очень изменчиво.
- **Атомное ядро** - система нуклонов. (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.

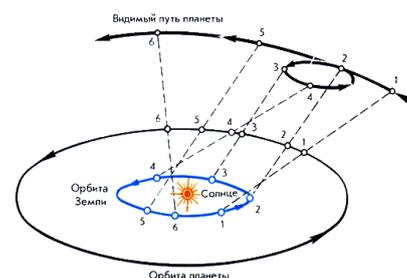
Развитие представлений о строении солнечной системы.

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:

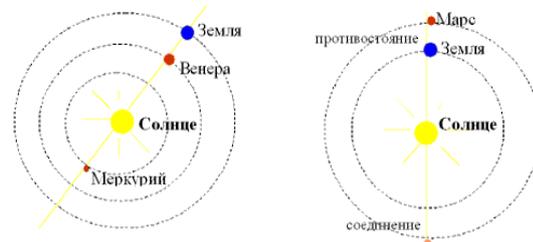
- Земля имеет форму шара.
- Земля вращается вокруг неподвижного Солнца по круговой орбите, делая оборот (возвращаясь на прежнее место) примерно за год.
- Земля также вращается вокруг своей оси, делая оборот примерно за сутки. Концы этой оси (точки, где она пересекает Землю) называются северным и южным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

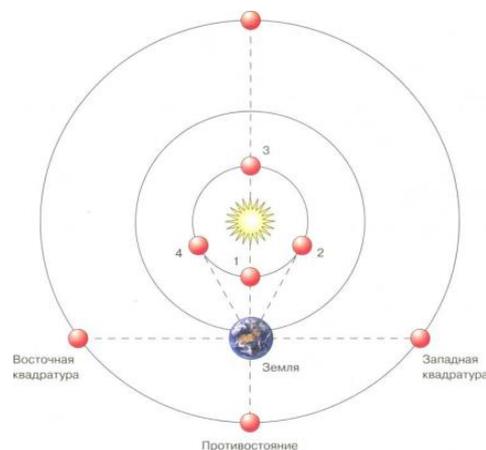
Состав и масштабы Солнечной системы (демонстрация с использованием модели планетной системы). **Конфигурациями планет** называют



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° , Венера до 48°). Венеру хорошо видно в двух случаях: когда она правее, западнее Солнца - это называется **западная элонгация** - в это время она садится раньше Солнца и раньше Солнца встаёт, поэтому хорошо видна перед восходом. **Восточная элонгация** - когда планета слева от Солнца и в течение дня следует по небу за ним, тогда её видно вечером. Фазы внутренних планет.

Внешние планеты. Противостояние и верхнее соединение планеты с Солнцем. Условия видимости планет. Квадратурой называют элонгацию, равную 90° . Только внутренняя планета может наблюдаться в нижнем соединении. Только внешняя планета - в квадратуре.



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

Синодический период (S) - промежуток времени, протекающий между двумя последовательными одноименными конфигурациями планет. Синодический период внешней планеты - промежуток времени, по истечении которого Земля обгонит планету на 360° (2π) при их движении вокруг Солнца.

Для внешних планет:

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

Для внутренних планет:

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

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

II. Задачи:

1. Известно, что максимальное угловое расстояние между Венерой и Солнцем равно 48° . 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 Aylochaхnim 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° 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?

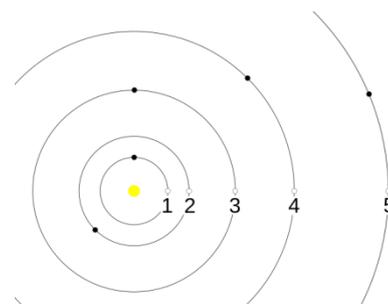
Олимпиада.

1. Какие небесные тела могут наблюдаться с Земли на угловом расстоянии 90° от Солнца (при условии, что Солнце уже село и наблюдениям не мешает)?

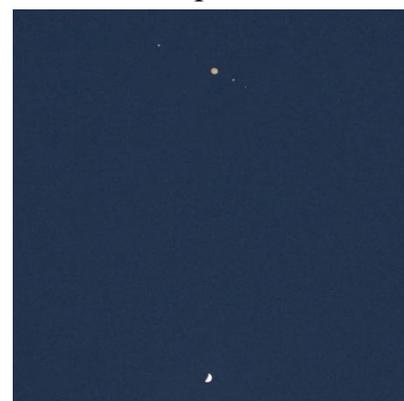
- 1) Луна
- 2) Меркурий
- 3) Венера
- 4) Юпитер
- 5) Альдебаран

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?

☉ Венера 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 $6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$, а масса Луны в 81 раз меньше.

Занятие 7. Законы Кеплера.

I. Вопросы (блиц):

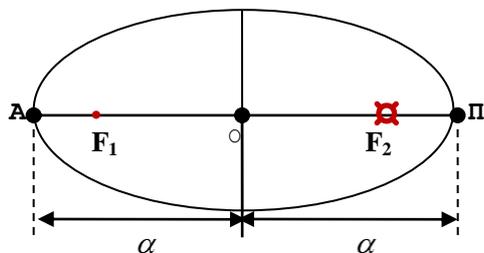
1. Можно ли наблюдать Венеру утром на западе, а вечером на востоке?
2. Почему положение планет не изображено на картах звездного неба?
3. В какой конфигурации внутренней планеты возможно наблюдение её прохождения по диску Солнца?
4. Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации в декабре. В каком 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: $e = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a} < 1$ (при $e = 0$ – окружность, при $e = 1$ – парабола, при $e > 1$ – гипербола).

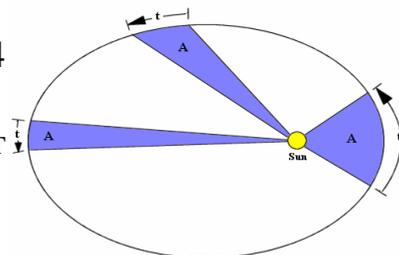
Перигелии и афелии. Перигелий – ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты или иного небесного тела Солнечной системы.

Наименьшее и наибольшее расстояние планеты от Солнца: $F_2П = a(1 - e)$. $F_2А = a(1 + e)$. **Среднее расстояние планеты от Солнца равно длине большей полуоси ее орбиты.** $a_3 = 149597870691 \text{ м} \approx 149,6 \cdot 10^6 \text{ км} = 1 \text{ а.е.}$ Перигелий - 3 января (147 млн. км). Афелий - 3 июля (152 млн. км).

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

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

Скорость Земли в перигелии и афелии: 30,03 км/с и 29,54 км/с. В этом случае: $v_1 \cdot r_1 = v_2 \cdot r_2$.



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 перигелии 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

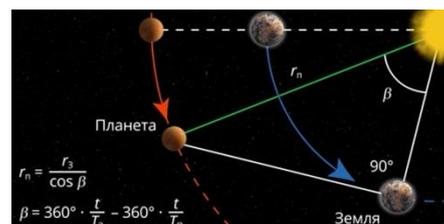
3) Чему равно расстояние от станции до Земли (ответ укажите в а.е.)? 4,84

4) Сколько времени будет идти сигнал (ответ укажите в часах и округлите до сотых)? 0,67 ч

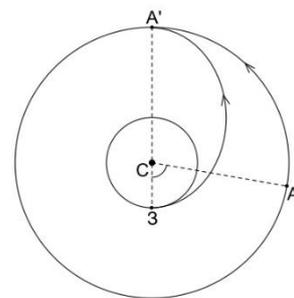
5) Какой путь пройдет станция за время, требующееся сигналу для того, чтобы дойти до телескопа (ответ укажите в а.е.)? 0,00029 а.е.

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° от Солнца, если считать орбиты планет окружностями. Сатурн прошел $6+\varphi$, а Земле $90^\circ +\varphi$ 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°



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 большей полуоси другого астероида?
6. Олимпиада длится 3 часа. Определите, на какое расстояние сместится Земля за время проведения 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° , 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.

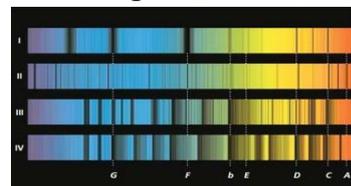
I. Вопросы (блиц):

1. Олимпиада длится 3 часа. Определите, на какое расстояние сместится Земля за время проведения 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 средние 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?

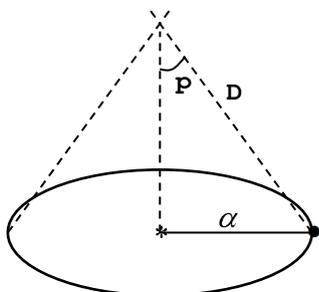
II. Задачи (ближ):

1. На какое максимальное угловое расстояние от Солнца может уходить Земля при наблюдении с Марса? Орбиту Марса можно считать круговой. 41°
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 комета Галлея подходит близко к Земле. При этом один оборот вокруг Солнца она делает за 75 лет. На каком максимальном расстоянии 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°.
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. Годи́чный пара́лакс (p) - угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты, если она перпендикулярна лучу зрения (Фридрих Вильгельм Бессель, 1838 год).



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

Определите расстояние до звезды alpha - Центавра (p=

0,75"). 1 парсек (пк) - расстояние, с которого, большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в 1".

1 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.

$$D = \frac{1}{p} (\text{пк})$$

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

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

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

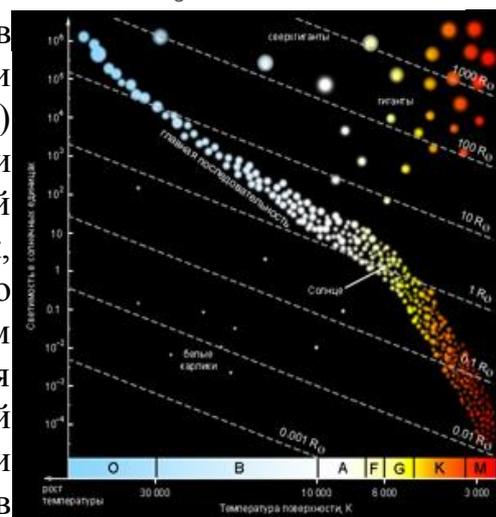
$$L = \frac{P}{P_{\odot}} = 2,512^{4,8-M}; \quad \lg L = 0,4 \cdot (4,8 - M). \quad P_{\odot} = 3,827 \cdot 10^{26} \text{ Вт.}$$

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

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

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

Диаграмма "спектр - светимость" (зарисовать в тетрадь) - точечная диаграмма зависимости светимости (или абсолютной звездной величины) звезд от их эффективной температуры (или спектрального класса). Интересно то, что на этой диаграмме звезды, представленные в виде точек, склонны группироваться в несколько областей – это происходит потому, что эволюция звезд идет сходным образом. Основная их часть (до 90%) скапливается вокруг линии, названной «главной последовательностью», протянувшейся от ярких и горячих звезд 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 Лебеда 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 годового 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 Лебеда 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 Лебеда 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 звездную величину 0^m . Какова была бы звездная величина этой звезды, находясь 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.

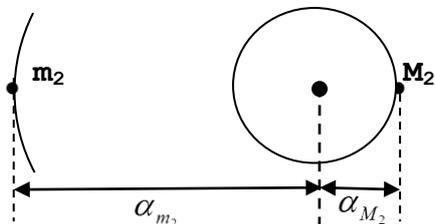
I. Вопросы (блиц):

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 К, а белая 10000 К. 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 $75 \times 100 \text{ м}^2$, 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 $4,38^m$. $P = L \cdot P_{\odot}$; $P = W \cdot S = \sigma \cdot T^4 \cdot 4\pi R^2$;

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 $N \geq 3$ называют кратными. Определение масс физически двойных звезд:



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

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

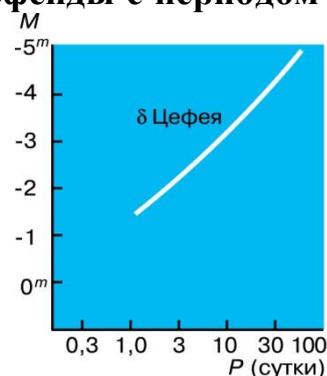
Определение лучевой скорости звезд (эффект Доплера): $v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$. Например, при

наблюдении в небольшой телескоп звезда Альбиро (β Лебедя) разрешается на два компонента — оранжевый гигант Альбиро А с видимой звездной величиной 3,1 и голубую звезду Альбиро 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 Альбиро А тоже состоит из двух компонентов — Альбиро Аа и Альбиро 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):



$M = -2,81 \cdot \lg T - 1,43$. **Определение расстояния до δ-Цефея.**

IV. Задачи:

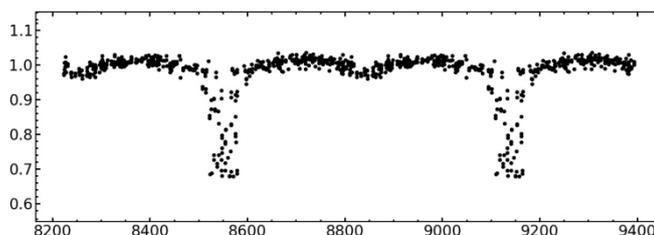
1. Вычислить сумму масс двойной звезды Капелла, если большая полуось ее орбиты равна 0,85 а.е., а период обращения 0,285 года. 7,6 от массы Солнца.
2. Две звезды солнечной массы обращаются вокруг общего центра масс за 25 суток, Третья звезда, также похожая на Солнце, удалена от этой пары на

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 Спика. $7,48 \cdot 10^{30}$ кг

Олимпиада.

1. Начинаящий 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.

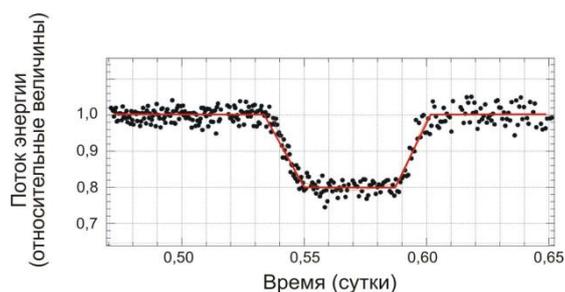
1. Пользуясь графиком "период - абсолютная величина", определите расстояние до цефеиды. Цефеида имеет период десять суток и среднюю видимую звездную величину $4,8^m$.
2. Две главные звезды созвездия Ориона - Бетельгейзе и Ригель – примерно одинаково яркие в небе Земли, но Бетельгейзе в 3,5 раза холоднее. 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 $0.030''/\text{год}$, а максимальное $0.050''/\text{год}$, 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):

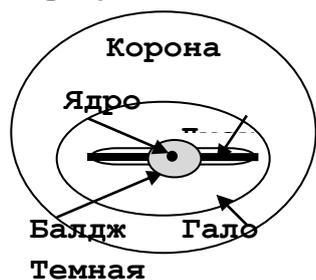
1. Абсолютная звездная величина двойной звезды равна 0,8, ее период обращения 200 лет. Масса звезды в 3,6 раз больше массы Солнца. Компоненты звезды отстоят от общего центра масс на расстояниях, относящихся как 3 к 5. Данная звезда ярче звезды 2,9 звездной величины в 11 раз и в 37 раз больше Солнца. Пространственная скорость звезды равна 41 км/с. В спектре звезды линия, соответствующая длине волны 480 нм, смещена к красному концу спектра на $2,8 \cdot 10^{-8}$ мм. Определить: видимую звездную величину звезды ($0,3^m$); расстояние до звезды в парсеках (6,9 пк) и световых годах (22,5); параллакс ($0,18''$); лучевую (16,9 км/с) и тангенциальную (37,4 км/с) скорость; собственное движение звезды ($1,4''$); светимость (39,8); температуру (2390 К); большую полуось орбиты в астрономических единицах (51,3); большую полуось видимой орбиты в секундах дуги ($7,4''$); массы компонентов двойной звезды в отдельности ($m_1 \approx 2,4 m_\odot$; $m_2 \approx 1,4 m_\odot$).
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 $20 \cdot 10^9 m_{\odot}$.

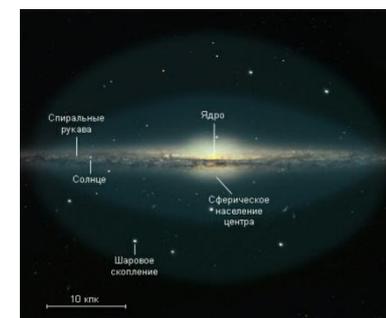
Тонкий диск состоит из двух главных рукавов спирали Млечного Пути (**рукава Щита-Кентавра и Персея**) и еще минимум 5 меньших рукавов, которые ответвляются параллельно главным, и множества маленьких спиральных рукавов, достигает в поперечнике почти 120000 св. лет. Толщина диска колеблется от 300 до 3000 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 звездного гало (чаще всего это самые старые из звезд галактики), галактической короны (окружающий галактику горячий ионизированный газ, или плазма) и гало темной 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. $[D] = [\text{пк}]$, $[\mu] = ["]$, $[v] = [\text{км/с}]$.

$$v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}; \quad v_t = 4,74\mu D; \quad v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}$$

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 (бдц):

1. Линия поглощения водорода, длина волны которой $4861 \cdot 10^{-10}$ м смещена в спектре звезды к красному концу на $0,66 \cdot 10^{-10}$ м. Определите лучевую скорость звезды относительно Земли в ночь наблюдения. 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 M13 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 $0,009''$, собственное движение по небу относительно более далеких звезд – $0,05''/\text{год}$, а лучевая скорость – около +10 км/с. Когда расстояние Плеяд от Солнца было минимальным и чему оно было равно? Каков был блеск ярчайшей звезды скопления Альционы, если сейчас он составляет $2,85^m$? $1,37 \cdot 10^6$ 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 $29^\circ 12' 30''$. 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 $28^{\circ}49'00''$. 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 $29^{\circ}12'30''$. 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 $28^{\circ}49'00''$. 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° . 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.

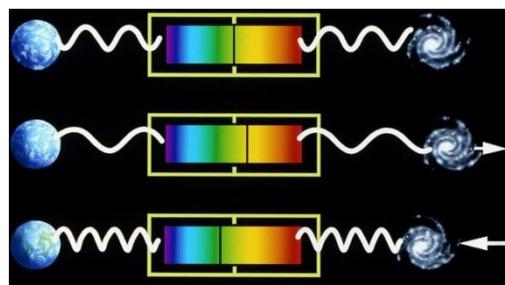
Занятие 11. Большой взрыв.

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

плотность $\rho_n = \frac{c^5}{G^2\hbar} \approx 5 \cdot 10^{96} \text{ кг/м}^3$, температура: $T_{\text{П}} = \frac{1}{k} \left(\frac{\hbar c^5}{G} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 4,029 \cdot 10^{31} \text{ К}$.

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. $v = H \cdot r$, где

$H = (74,03 \pm 1,42) \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$ (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: $t \approx 5 \cdot 10^{-44} \text{ с}$.

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

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

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

5. Адронная эра ($10^{-6} - 10^{-4} \text{ с}$). 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 ($10^{-4} - 1 \text{ с}$).

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 $(26,8 \pm 5) \%$, темная энергия – 68,3%.



IV. Задачи:

1. Вычислить расстояние, линейные размеры и светимость квазара 3C48, если его угловой диаметр равен $0,56''$, а линия $0,2798 \text{ мкм}$ ионизованного магния смещена в его спектре до положения $0,3832 \text{ мкм}$. Блеск квазара 16^m . 1510 Мпк. 414 кпк. $7,6 \cdot 10^{11}$

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. $0,123c$, $31,4$ кпк.
2. Линия L_{β} ($\lambda = 102,6$ 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_{γ} ($\lambda = 97,2$ нм), H_{β} ($\lambda = 486,1$ 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. $7,8 \cdot 10^9$ 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 превращений. 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 $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг. Сравните 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?

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>