ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

Кульминации полюсов эклиптики (А.К. Муртазов)

Класс: 9 Задача: 1

? **Как расположены относительно горизонта точки весеннего и осеннего равноденствий во время кульминаций полюсов эклиптики?**

! Северный полюс эклиптики имеет экваториальные координаты $\alpha=18^{ч}$, $\delta=+66.5°$, координаты южного полюса эклиптики: $\alpha=6^{ч}$, $\delta=-66.5°$. Во время верхней кульминации северного полюса эклиптики и нижней кульминации южного полюса эклиптики звездное время составляет 18 часов. Точка весеннего равноденствия, имеющая координаты $\alpha=0^{ч}$, $\delta=0°$, в этот момент восходит в точке востока, а точка осеннего равноденствия, имеющая координаты $\alpha=12^{ч}$, $\delta=0°$, заходит в точке запада. Во время верхней кульминации южного полюса эклиптики и нижней кульминации северного полюса эклиптики звездное время составляет 6 часов, точка весеннего равноденствия совпадает с точкой запада, точка осеннего равноденствия – с точкой востока. Эти выводы в равной степени относятся ко всем широтам на Земле, кроме точек полюсов, где понятия кульминации, звездного времени и точек запада и востока теряют смысл.

Петербургский рассвет (Н.Н. Самусь)

Класс: 9 10 Задача: 2

? **Известно, что в Санкт-Петербурге местная средняя солнечная полночь наступает около 1 часа по московскому декретному "зимнему" времени. Наблюдательный петербуржец заметил, что в 18 часов 9 ноября, за 7 часов до местной средней полуночи, было уже совсем темно, а потом с удивлением обнаружил, что через 7 часов после полуночи, в 8 часов утра 10 ноября, рассвет был уже ощутим, и небо было заметно светлее, чем вечером. Условия облачности вечером и утром были примерно одинаковыми. В чем состоит причина явления?**

! В конце первой декады ноября очень сильно заметно уравнение времени, составляющее примерно $-15^{м}$. Причина появления уравнения времени состоит в эллиптичности орбиты Земли и ее наклоне к плоскости экватора. В результате, истинная солнечная полночь в начале ноября наступает в Петербурге на $15^{м}$ раньше средней, в $0^{ч}45^{м}$. Вечернее наблюдение отстояло от нее на $6^{ч}45^{м}$, а утреннее – на $7^{ч}15^{м}$.

Два путешественника (В.Г. Сурдин, О.С. Угольников)

Класс: **9** Задача: **3**

? Находясь в средней полосе России, два человека одновременно наблюдали истинный солнечный полдень. На следующий день каждый из них переместился на 200 км на запад, и первый из них наблюдал полдень несколько раньше второго. Какой из двух наблюдателей видел в полдень Солнце на большей высоте? Ответ объяснить.

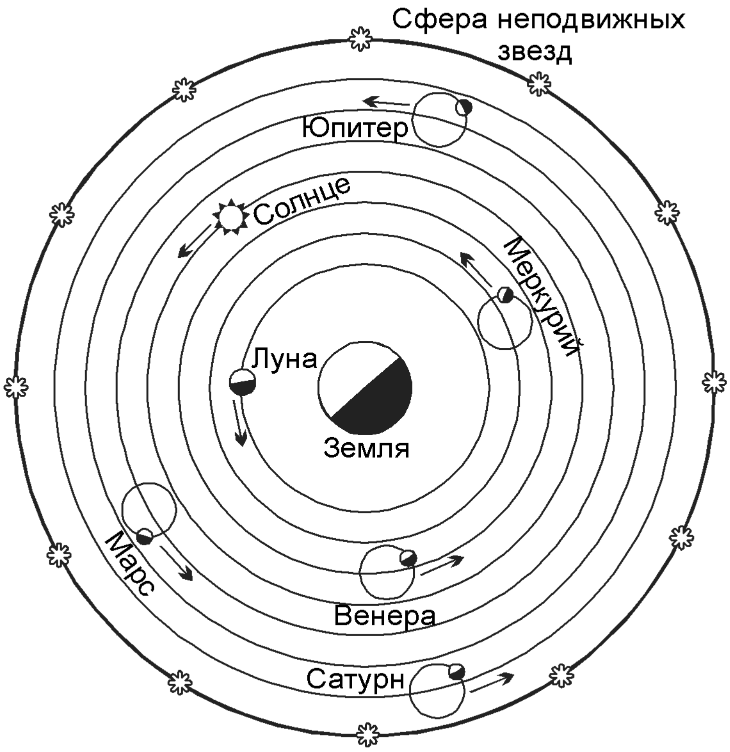
! После 200-км переезда на запад первый наблюдатель зарегистрировал полдень раньше второго, значит, он находился восточнее, и его долгота в результате переезда изменилась меньше, чем у второго наблюдателя. Так как расстояние, соответствующее 1° по долготе, убывает в северном полушарии с юга на север, можно сделать вывод, что первый наблюдатель располагался южнее второго. Поэтому Солнце он видел выше, чем второй наблюдатель, вне зависимости от сезона года, так как вся территория России располагается севернее тропика Рака.

Система Птолемея (В.Г. Сурдин)

Класс: **9** Задача: **4**

? Сколько ошибок допущено на рисунке, иллюстрирующем систему Птолемея?

! На рисунке неверно показаны положения центров эпициклов Меркурия и Венеры – они должны находиться на линии, соединяющей Землю и Солнце. Положения Марса, Юпитера и Сатурна на эпициклах неверны: линии, соединяющие планету и центр эпицикла, у этих трех планет должны быть параллельны друг другу.

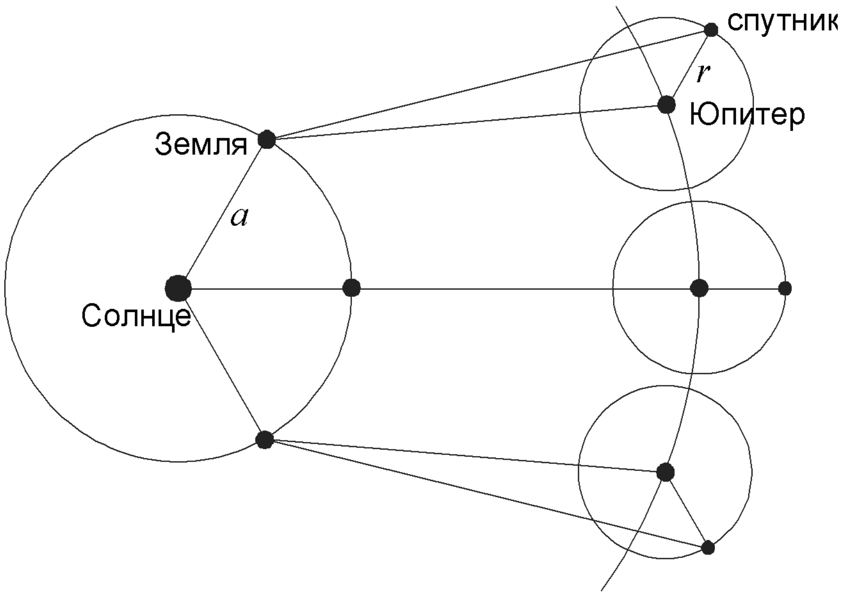


Спутник Юпитера (О.С. Угольников)

Класс: 9 10 Задача: 5

? Спутник Юпитера обращается вокруг этой планеты по круговой орбите в том же направлении, что и галилеевы спутники. При наблюдении с Земли этот спутник и Солнце всегда наблюдаются на небе по разные стороны от Юпитера, а во время противостояния планеты спутник никогда нельзя наблюдать. Чему равно расстояние спутника от Юпитера? Считать, что плоскости орбит Земли, Юпитера и его спутника совпадают.

! Если считать, что плоскости орбит Земли, Юпитера и его спутника совпадают, то указанная в условии ситуация – прямое направление вращения, невидимость спутника в противостоянии Юпитера и его нахождение с противоположной стороны от Солнца в остальных конфигурациях – будет иметь место, если период обращения спутника вокруг Юпитера будет равен одному земному году, и направление Юпитер-спутник будет всегда параллельно направлению Солнце-Земля (см. рисунок).



Из обобщенного III закона Кеплера, учитывая равенство периодов обращения Земли вокруг Солнца и спутника вокруг Юпитера, можно выразить радиус орбиты спутника:

$$r = a\left(\frac{m}{M}\right)^{1/3}.$$

Здесь M и m – массы Солнца и Юпитера, a – радиус орбиты Земли. Подставляя численные значения, получаем, что радиус орбиты спутника равен 14.73 млн. км.

Фотографирование Луны и Марса (А.М. Татарников)

Класс: 9 10 Задача: 6

? Марс в противостоянии (видимый угловой диаметр 27″) имел звездную величину -2.8^m. Луна в полнолунии имеет звездную величину -12.8^m. Во сколько раз различаются выдержки, необходимые для получения нормального изображения Луны и Марса, при их фотографировании с объективом с фокусным расстоянием 11.4 метра? Как будет меняться отношение требуемых выдержек при уменьшении фокусного расстояния?

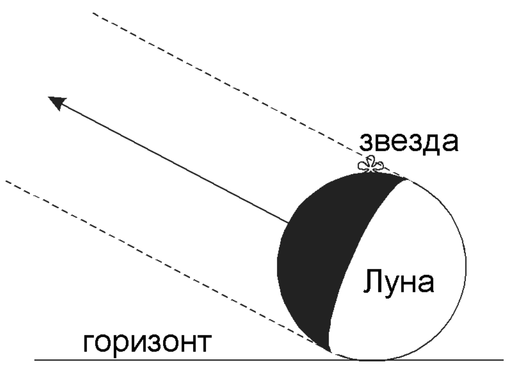
! Размер изображения Марса будет примерно в 60 раз меньше изображения Луны. Он светит на 10^m слабее Луны, и поток излучения от него будет в 10000 раз меньше лунного. Соответственно, освещенность, создаваемая Марсом на фотопленке, будет примерно в 3 раза меньше. Если пренебречь отклонением от закона взаимозаместимости для фотоэмульсии, то экспозиция для фотографирования Марса потребуется в 3 раза большая, чем для Луны. С уменьшением фокусного расстояния Луна еще долго будет оставаться протяженным объектом и необходимая выдержка будет уменьшаться как квадрат фокусного расстояния, а Марс быстро станет точечным источником и дальнейшее уменьшение фокусного расстояния не будет вызывать изменения необходимой экспозиции.

Полярное покрытие (О.С. Угольников)

Класс: 10 Задача: 1

? Находясь на северном полюсе, вы видите на темном небе растущую Луну, находящуюся у самого горизонта. На верхнем крае ее диска видна звезда. Что это – начало или конец покрытия звезды Луной?

! При наблюдении с северного полюса Земли зенит совпадает с Северным полюсом мира, горизонт – с небесным экватором (рефракция для данной задачи несущественна), а горизонтальная система координат по сути совпадает с экваториальной системой.



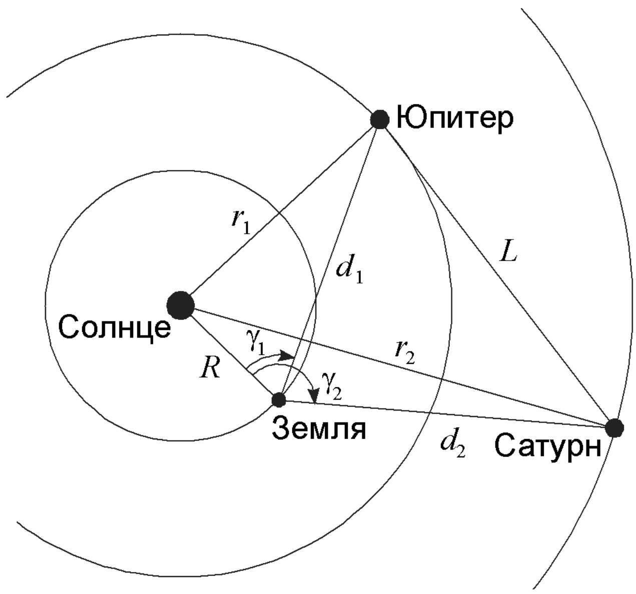
Раз Луна находится вблизи горизонта, она находится также и около экватора, вблизи одной из двух точек равноденствия – весеннего или осеннего. По условию задачи небо темное, следовательно, Солнце находится южнее небесного экватора, пройдя недавно точку осеннего равноденствия или приближаясь к точке весеннего равноденствия. Растущая Луна при этом может находиться только вблизи точки весеннего равноденствия (иначе она бы находилась на небе западнее Солнца и была бы убывающей). Двигаясь вдоль эклиптики на северо-восток, Луна покроет звезду вскоре после момента наблюдения (см. рисунок). Суточное движение Луны и звезды, направленное вдоль горизонта, картину не меняет и на рисунке не показано.

Конфигурации Юпитера и Сатурна (Н.И. Перов)

Класс: 10 Задача: 3

? 7 декабря 2004 года верхняя кульминация Юпитера произошла примерно на 5 часов позже верхней кульминации Сатурна. Какое расстояние разделяло эти планеты в пространстве, если известно, что 5 декабря наблюдалась последняя четверть Луны, а двумя днями позже произошло соединение Юпитера с Луной? Орбиты Земли, Юпитера, Сатурна и Луны считать круговыми.

! Во время последней четверти Луны наш естественный спутник находится в 90° к западу от Солнца. Полный оборот относительно Солнца Луна завершает за 29.53 суток, приближаясь к нему с запада на 12.2° за сутки. Поэтому во время соединения Луны и Юпитера оба светила располагались примерно в γ_1=66° к западу от Солнца. Сатурн кульминирует на 5 часов раньше, то есть находится на 75° западнее Юпитера, и его угловое расстояние от Солнца γ_2 составляет примерно 141°.



Обозначим радиус орбит Земли, Юпитера и Сатурна через R, r_1 и r_2 соответственно, расстояния от Земли до Юпитера и Сатурна − через d_1 и d_2. Для треугольников "Солнце-Земля-Юпитер" и "Солнце-Земля-Сатурн" справедлива теорема косинусов:

$$r_{1,2}^2 = R^2 + d_{1,2}^2 - 2R\,d_{1,2}\cos\gamma_{1,2}.$$

Решая эти квадратные уравнения, получаем выражения для расстояний от Земли до обеих планет (выбирая положительные корни уравнений):

$$d_{1,2} = R\cos\gamma_{1,2} + \sqrt{R^2\cos^2\gamma_{1,2} + r_{1,2}^2 - R^2}.$$

Подставляя численные значения, получаем величины расстояний до Юпитера и Сатурна: 5.5 а.е. и 8.7 а.е. соответственно. Для вычисления расстояния между Юпитером и Сатурном L вновь применим теорему косинусов:

$$L^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1 d_2 \cos(\gamma_2 - \gamma_1).$$

В результате получаем, что расстояние между Юпитером и Сатурном составляет около 9.1 а.е.

Пять ярких планет (О.С. Угольников)

Класс: **10** Задача: **4**

? Находясь вблизи одной из планет Солнечной системы, вы видите сразу пять других планет в одном созвездии, причем каждая из них светит ярче 0^m. Вблизи какой планеты вы находитесь?

! Сразу можно сказать, что картина наблюдалась не из окрестностей Земли. При наблюдении с нашей планеты Марс и Сатурн могут быть ярче 0^m только вблизи противостояния, но тогда они не могут находиться в одном созвездии с Меркурием и Венерой, не отходящими на небе далеко от Солнца. Уран, Нептун и Плутон имеют блеск значительно слабее 0^m независимо от своей конфигурации. Подобная ситуация имеет место и в окрестностях Венеры. Земля и Юпитер там всегда светят ярче 0^m, но Марс и Сатурн могут иметь отрицательную звездную величину только вдали от Меркурия. При наблюдении с Марса в одном созвездии недалеко от Солнца могут оказаться сразу четыре планеты ярче 0^m: Меркурий, Венера, Земля и Юпитер, но Сатурн, находясь рядом с ними, будет светить слабее 0^m.

При наблюдении из окрестностей планет-гигантов блеск ярче 0^m могут иметь только Венера, Земля и Сатурн, если находиться вблизи Юпитера, а также Венера и Юпитер при наблюдении из окрестностей Сатурна. Условия задачи там выполниться не могут.

Единственная планета, из окрестностей (да и с поверхности) которой может наблюдаться указанная в условии задачи картина — это Меркурий. Если с противоположной стороны от Солнца рядом друг с другом окажутся Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн, причем последняя из этих планет будет находиться вблизи перигелия орбиты с широко раскрытым кольцом, то все они будут светить ярче 0^m, находясь, вполне возможно, в одном созвездии. Максимальный блеск Сатурна будет немного слабее, чем на Земле (за счет того, что Сатурн в противостоянии располагается чуть дальше от Меркурия, нежели от Земли), но все же составит -0.3^m. Остальные четыре планеты будут намного ярче.

День на экваторе (А.В. Засов, О.С. Угольников)

Класс: **11** Задача: **1**

? Принято считать, что продолжительность дня на экваторе всегда одинакова и не меняется в течение года. Однако, строго говоря, это не так. Назовите причины, по которым продолжительность дня все же меняется в течение года. Оцените, насколько меняется продолжительность дня и в какое время года она достигает максимума.

! Определим для начала продолжительность светового дня на экваторе в моменты равноденствий, считая, что истинное Солнце совпадает со средним Солнцем (то есть, пренебрегая уравнением времени). Началом дня считается восход над горизонтом верхнего края солнечного диска, а окончанием – заход верхнего края. В оба момента истинная высота центра диска Солнца над горизонтом равна

$$h = -(R + r) = -51'\ .$$

Здесь R – атмосферная рефракция на горизонте, составляющая 35′, а r – угловой радиус Солнца, который во время равноденствия близок к своему среднему значению, равному 16′. Во время равноденствия Солнце на экваторе описывает за сутки большой круг небесной сферы, перпендикулярный горизонту и проходящий через зенит и надир. Продолжительность светлого времени суток, выраженная в часах, составит

$$T = 12^{ч} - 24^{ч} \cdot \frac{2h}{360^{o}} = 12^{ч} - 12^{ч} \cdot \frac{h}{90^{o}} = 12.11^{ч}$$

или 12 часов 07 минут. Рассмотрим, как будет изменяться эта величина в другие периоды года. Вдали от равноденствия, когда склонение Солнца δ отлично от нуля, оно будет также восходить и заходить перпендикулярно горизонту, но угловое перемещение за сутки уменьшится до $360°\cdot\cos\delta$, именно эта величина должна стоять в знаменателе второго слагаемого предыдущей формулы. Во время солнцестояний продолжительность светлого времени суток увеличится на величину

$$\Delta t_1 = -12^{ч} \cdot \frac{h}{90^{o}} \left(\frac{1}{\cos\delta} - 1 \right) = 0.61^{м}.$$

Кроме этого, угловой радиус Солнца изменяется, увеличиваясь вблизи зимнего солнцестояния на величину Δr, равную 0.25′. После летнего солнцестояния видимый радиус Солнца уменьшается на ту же величину. Соответствующая поправка для продолжительности светового дня составит

$$\Delta t_2 = 12^{ч} \cdot \frac{\Delta r}{90^{o}} = 0.03^{м}.$$

Во время равноденствий эти две поправки равны нулю. Наконец, необходимо вспомнить, что из-за эллиптичности земной орбиты и ее наклона к плоскости земного экватора скорость движения Солнца вдоль экватора, а значит, и продолжительность истинных солнечных суток изменяется, составляя

$$S = 24^{ч} + \Delta\eta.$$

Здесь $\Delta\eta$ — изменение уравнения времени за одни сутки. Соответствующая поправка к продолжительности светового дня, равного примерно половине суток, составит

$$\Delta t_3 = \frac{\Delta\eta}{2}.$$

Эта величина составляет примерно $-0.15^{м}$ во время равноденствий, $+0.10^{м}$ во время летнего солнцестояния и $+0.25^{м}$ во время зимнего солнцестояния. Мы видим, что основными поправками являются первая и третья. Обе они достигают минимума в равноденствия и максимума — в солнцестояния, особенно большим будет максимум в зимнее солнцестояние. Зимой максимума достигает и вторая поправка. В результате, в июне продолжительность светлого времени суток на экваторе примерно на 0.8 минуты, а в декабре — на 1 минуту больше, чем в марте и сентябре.

Наблюдения с ПЗС-камерой (А.С. Расторгуев)

Класс: **11** Задача: **2**

? Астроном планирует провести наблюдения двойных звезд в видимой области спектра с помощью телескопа-рефлектора с диаметром зеркала 0.6 метра и фокусным расстоянием 3 метра, оснастив его ПЗС-камерой *ST-9XE* (размеры матрицы, состоящей из 262000 элементов, равны 10.2x10.2 мм). Какие самые тесные визуально-двойные звезды (с наименьшим угловым расстоянием между компонентами) он сможет обнаружить? Считать зеркало идеальным, а турбулентностью атмосферы пренебречь.

! Возможности раздельного наблюдения двух компонентов двойной звезды зависят не только от разрешения телескопа, но и от размеров приемника излучения, в данном случае — от размера элемента изображения (или, как говорят астрономы, пикселя) ПЗС-матрицы. Вначале рассчитаем линейные размеры пикселя ПЗС-матрицы:

$$\delta = \sqrt{\frac{S}{N}} = 19.9\ \text{мкм}.$$

Здесь S — площадь всей матрицы, а N — число ее элементов. Затем найдем радиус кружка Эри (дифракционного пятна) на ПЗС-матрице:

$$r = 1.22 \cdot \lambda \cdot \frac{F}{D}.$$

Здесь F — фокусное расстояние объектива, D — его диаметр. Примем длину волны λ равной 0.55 микрон, что соответствует максимуму чувствительности человеческого глаза (или цветовой полосе V широкополосной фотометрической системы UBV). Тогда величина r окажется равной 3.4 мкм, что существенно меньше размеров элемента матрицы. Следовательно, при высоком теоретическом угловом разрешении изображения обоих компонентов часто будут попадать в один и тот же пиксель, и различить их будет невозможно. Поэтому реальный предел разрешения такой системы определяется размером пикселя. Соответствующее угловое разрешение будет равно

$$d = \frac{\delta}{F} = 6.6 \cdot 10^{-6} \text{ рад} = 1.4''.$$

вместо теоретического предела, равного, как легко показать, 0.2″.

Если учесть, что реальное разрешение такого телескопа (связанное как с отклонением формы зеркала от идеальной, так и с наличием атмосферной турбулентности) составляет примерно 1″, то можно думать, что астроном сделал оптимальный выбор ПЗС-камеры. Матрица с меньшим размером пикселя для проведения таких наблюдений вряд ли нужна.

Солнечная плавильная печь (А.М. Татарников)

Класс: **11** Задача: **3**

? **Определите, до какой температуры можно нагреть абсолютно черный шар радиусом *r* с помощью солнечного излучения, собираемого зеркалом диаметром *D* и фокусным расстоянием *F*. Считать температуру всех точек шара одинаковой. Потерями энергии на пути к шару пренебречь.**

! Поток солнечной энергии на расстоянии Земли равен

$$J_0 = \frac{\sigma T_0^4 R_0^2}{L^2}.$$

Здесь T_0 — эффективная температура Солнца, R_0 — радиус Солнца, L — расстояние от Солнца до Земли. Количество солнечной энергии, попадающее за единицу времени на зеркало, составит

$$E = \frac{\pi\sigma T_0^4 R_0^2 D^2}{4L^2}.$$

Радиус изображения Солнца в фокальной плоскости равен фокусному расстоянию объектива, умноженному на видимый радиус Солнца:

$$\rho = \frac{F R_0}{L}.$$

Возможны два различных случая. Если радиус шара больше радиуса изображения Солнца, то вся солнечная энергия, попавшая на зеркало, будет поглощаться шаром и идти на его нагрев. В свою очередь, шар будет излучать как абсолютно черное тело. При некоторой температуре шара T величины энергии, поглощаемой и излучаемой шаром, сравняются:

$$\frac{\pi\sigma T_0^4 R_0^2 D^2}{4L^2} = 4\pi\sigma r^2 T^4.$$

Из этого уравнения получаем температуру шара:

$$T = \frac{T_0}{2}\sqrt{\frac{R_0 D}{Lr}} = 290\text{K}\cdot\sqrt{\frac{D}{2r}}.$$

Если радиус шара r меньше радиуса изображения Солнца ρ, то он будет поглощать не всю солнечную энергию, попавшую в телескоп. Количество солнечной энергии, попадающее на единичную площадь в фокальной плоскости за 1 секунду, составит

$$J = \frac{E}{\pi\rho^2} = \frac{\sigma T_0^4 D^2}{4F^2}.$$

Приравнивая величины поглощаемой и излучаемой энергии, получаем:

$$\frac{\pi\sigma T_0^4 D^2 r^2}{4F^2} = 4\pi\sigma r^2 T^4.$$

Наконец, температура шара составит

$$T = \frac{T_0}{2}\sqrt{\frac{D}{F}} = 3000\text{K}\sqrt{\frac{D}{F}}.$$

Следует обратить внимание, что в первом случае температура шара не зависит от фокусного расстояния объектива, а во втором случае – от размеров шара.

Лазер, зондирующий Луну (А.М. Татарников)

Класс: **11** Задача: **4**

? Оптический лазер, установленный на Земле, 1000 раз в секунду посылает на темный центр видимого диска Луны импульсы длительностью 10 наносекунд. Определите, какую видимую звездную величину при наблюдениях с Земли будет иметь световое пятно на поверхности Луны, если мощность излучения в импульсе 10 МВт. Считать, что Луна отражает свет одинаково во всех направлениях, а ее геометрическое альбедо равно 0.12. Мощность солнечного излучения в видимой области спектра, проходящего через площадку 1м х 1м, расположенную перпендикулярно его лучам, составляет на расстоянии Земли 240 Вт.

! Определим сначала среднюю мощность лазера, то есть количество энергии, излучаемую им за 1 секунду. За это время лазер сделает 1000 импульсов, энергия каждого из которых составит 0.1 Дж. В итоге, мощность P составит 100 Вт. На Луне наблюдается "пятно", то есть весь пучок попадет на ее поверхность. Количество энергии, отраженной от поверхности Луны и проходящей через единичную площадку на Земле за 1 секунду, составит

$$J = \frac{AP}{2\pi R^2} = 1.29 \cdot 10^{-17} \text{ Вт / м}^2.$$

Здесь A – альбедо Луны, а R – ее расстояние от Земли (мы предполагаем, что лазерный луч перпендикулярен поверхности Луны). Получается, что пятно на Луне будет выглядеть в $1.86 \cdot 10^{19}$ раз или на 48.2^m слабее, чем Солнце, имеющее видимую звездную величину -26.8^m. В итоге, видимый блеск пятна на Луне составит $+21.4^m$.

Далекое шаровое скопление (А.С. Расторгуев)

Класс: **11** Задача: **5**

? Самое далекое шаровое скопление нашей Галактики – NGC 2419 – находится на расстоянии 92 кпк от ее центра на высоте 36 кпк над плоскостью Галактики. Оно лежит почти точно в плоскости, проходящей через центр Галактики, Солнце и галактические полюса, с той же стороны от ядра, что и Солнце. Лучевая скорость скопления равна −29 км/с, расстояние от Солнца до центра Галактики 8 кпк. Оцените максимально возможное собственное движение шарового скопления для неподвижного (относительно галактического центра) наблюдателя, находящегося вблизи Солнца, если скопление гравитационно связано с Галактикой. Как изменится ответ, если наблюдатель движется вокруг центра Галактики вместе с Солнцем со скоростью 220 км/с? Массу Галактики считать равной $5 \cdot 10^{11}$ массам Солнца, ее радиус – 30 кпк.

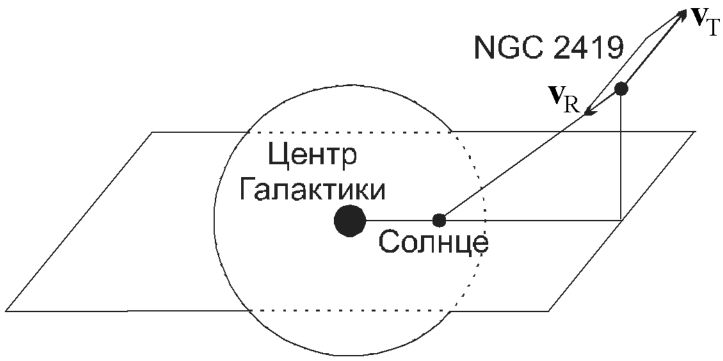
! Радиус Галактики значительно меньше расстояния от ее центра до скопления R, поэтому для решения вполне можно считать, что вся масса Галактики сосредоточена в ее центре. Вторая космическая скорость для шарового скопления равна

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = 217 \text{ км/с}.$$

Лучевая скорость v_R, измеренная для этого скопления, значительно меньше, и тангенциальная скорость v_T в предельном случае (параболическое движение) может составлять 215 км/с.

С расстояния 84.7 кпк, отделяющего скопление от Солнца, собственное движение шарового скопления в этом случае составит

$$\mu = \frac{v_T}{R} = 2.53\frac{\text{км}}{\text{с}\cdot\text{кпк}} = 5.33\cdot 10^{-4}\,''/\,\text{год}\,.$$



Это примерно вдвое меньше наилучшей точности современных космических измерений собственных движений. Однако, измерив собственные движения большого количества звезд шарового скопления и усреднив их, мы смогли бы улучшить точность и зарегистрировать столь малое собственное движение.

Если учесть движение Солнца в Галактике со скоростью 220 км/с, то в благоприятном случае (если скорости Солнца и скопления направлены в разные стороны), собственное движение скопления достигнет 0.001″/год и может быть измерено. Если скопление движется в ту же сторону, что и Солнце, измерить его собственное движение будет значительно трудней.

Галактика с пылевым слоем (А.В. Засов)

Класс: **11** Задача: **6**

? Многие галактики представляют собой звездный диск, вблизи плоскости симметрии которого находится значительно более тонкий слой газопылевой среды, вызывающий ослабление и покраснение проходящего через нее света. Допустим, что если бы поглощения света не существовало, то показатель цвета звездного диска $(B-V)_0$ составил бы 0.6. Пусть свойства поглощающего слоя таковы, что свет, проходящий сквозь него перпендикулярно плоскости диска, ослабляется примерно на 15% в спектральном диапазоне V и на 35% в диапазоне B. Оцените показатель цвета галактики для наблюдателя, который видит ее диск "плашмя", и проиллюстрируйте качественно (без подробных вычислений), с помощью графика $(B-V)(i)$, какой вид должна иметь зависимость наблюдаемого показателя цвета галактики от угла наклона i диска к лучу зрения в интервале $0° < i < 90°$. Считать угол i равным 0° для положения диска "плашмя" и 90° для положения "с ребра".

! Излучение, приходящее от галактики — это сумма излучения двух половин диска: одна обращена к наблюдателю, и ее свет не испытывает поглощения, а другая, более далекая половина, светит сквозь поглощающий слой. Если I_0 — световая энергия, которая приходила бы от галактики в отсутствие поглощения, то при наличии пылевого слоя суммарная энергия света, приходящая от обоих половин диска, составит

$$I = \frac{I_0}{2} + \frac{I_0}{2} k,$$

где k<1 – коэффициент ослабления света для более далекой от наблюдателя половинки диска, равный, по условию задачи, 0.85 для цветовой полосы V и 0.65 для полосы B. Найдем отношение ослабленного потока света от галактики к величине I_0:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1+k}{2}.$$

Эта величина составляет 0.925 для полосы V и 0.825 для полосы B. Соответствующие изменения блеска равны 0.085^m и 0.209^m. Показатель цвета (B–V) увеличится с 0.6 до 0.724.

По мере увеличения угла наклона i поглощение и избыток цвета будут нарастать, поскольку путь лучей света от дальней половины диска сквозь слой пыли удлиняется пропорционально $\sec i$. Но когда угол i будет приближаться к 90°, пылевой слой станет почти непрозрачным. Поэтому вклад дальней покрасневшей половины в полную яркость галактики окажется небольшим, а ее влияние на цвет галактики уменьшится. Покраснение галактики начнет падать с ростом i. Если диск галактики будет повернут к нам ребром, показатель цвета приблизится к значению, которое он бы имел при отсутствии поглощения, поскольку свет от испытавших покраснение областей практически не дойдет до наблюдателя.