

**XVIII Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада**
районный тур, решения

2010
30
ноября

10 класс

1. При фотографировании Луны телескоп поворачивали так, чтобы изображение Луны не «размазалось». При этом на том же снимке получилось изображение приэкваториальной звезды в виде отрезка, длина которого оказалась равной $1/30$ диаметра изображения Луны. Каким было время выдержки при получении этого снимка?

Решение:

Луна движется на фоне звезд за счет ее обращения вокруг Земли, период этого обращения можно принять равным 30 суткам (на самом деле он несколько меньше, но для решения задачи с разумной точностью этой оценки достаточно). Так как видимый угловой диаметр Луны на небе примерно равен $30'$, то из условия задачи следует, что за время съемки Луна успела переместиться по отношению к звездам на $1'$. Если за 30 суток она проходит 360° , то за одни сутки — 12° , а за один час — $30'$. Следовательно, время выдержки составляло 2 минуты.

2. Цивилизация мандрапопов обитает на планете, обращающейся вокруг некоторой звезды по круговой орбите с радиусом, равным 10^8 км. Угловой диаметр диска звезды на небе планеты мандрапопов равен 1° , а год на этой планете продолжается 180 земных суток. Оцените среднюю плотность звезды, около которой живут мандрапопы.

Решение:

Вычисления, необходимые для получения ответа, существенно упрощаются, если известна средняя плотность Солнца (1.4 г/см³). Воспользуемся этим фактом (в противном случае схема решения останется такой же, но понадобится знание некоторых других констант — например, гравитационной постоянной).

Легко можно заметить, что радиус орбиты планеты мандрапопов составляет $a = 2/3$ а.е. Орбитальный период $P \approx 1/2$ года, поэтому можно воспользоваться III законом Кеплера в виде:

$$\frac{a^3}{P^2} = M,$$

где P выражен в годах, a — в астрономических единицах, а M — в массах Солнца. Отсюда получаем, что масса звезды $M = 32/27$ массы Солнца.

Также легко заметить, что угловой размер звезды на небе мандрапопов в два раза больше, чем угловой размер Солнца — на земном. Отсюда следует, что радиус звезды составляет $2 \cdot 2/3 = 4/3$ радиуса Солнца. Так как средняя плотность звезды прямо пропорциональна ее массе и обратно пропорциональна кубу радиуса, получаем, что плотность звезды мандрапопов $32/27 \cdot 27/64 = 1/2$ плотности Солнца, т.е. 0.7 г/см³.

3. Звезда, ровно половину времени находящаяся над горизонтом, приближается к зениту на минимальное расстояние 60° . На какой широте проходят наблюдения?

Решение:

На экваторе Земли вращение небесной сферы происходит таким образом (см. рис. 1), что, если не учитывать рефракцию, все светила находятся ровно половину времени над горизонтом, ровно половину — под, следовательно, один (тривиальный) вариант решения — экватор 0° широты.

Суточное движение светил на земном экваторе

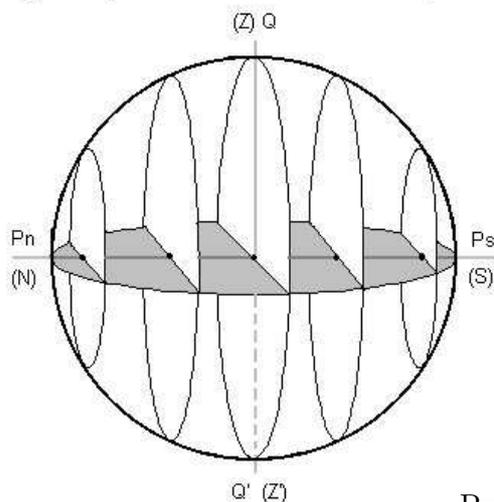


Рис. 1

Суточное движение светил в средних широтах

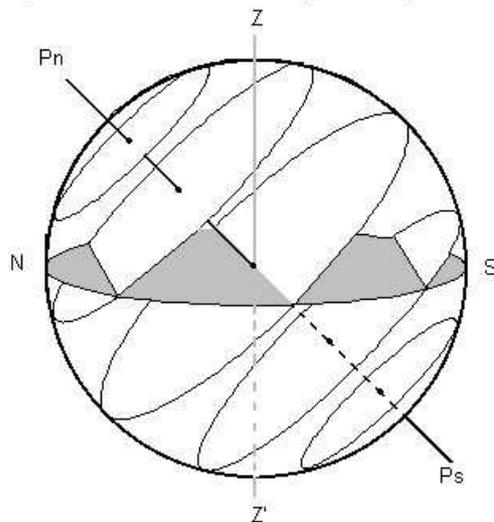


Рис. 2

На других широтах Земли (кроме полюсов, где все светила либо незаходящие, либо невосходящие) ровно половину времени над горизонтом будет проводить звезда, находящаяся на небесном экваторе (склонение этой звезды равно 0°). Это легко доказать (см. рис. 2). Экватор пересекается с горизонтом в точках востока и запада, находящихся на угловом расстоянии 180° друг от друга, так что звезда, находящаяся на экваторе будет проходить над горизонтом путь, равный половине всего суточного пути. Звезды, движущиеся по другим суточным параллелям будут проходить над горизонтом либо больше, либо меньше 180° , т.е. проводить над горизонтом больше или меньше половины суток.

Звезда приближается к зениту на минимальное расстояние, когда достигает верхней кульминации (наивысшего положения над горизонтом). Рассмотрим рис. 3. Обозначения: SN — горизонт, QQ' — небесный экватор, P — северный полюс мира, Z — зенит, φ — широта места наблюдения, z — зенитное расстояние в верхней кульминации.

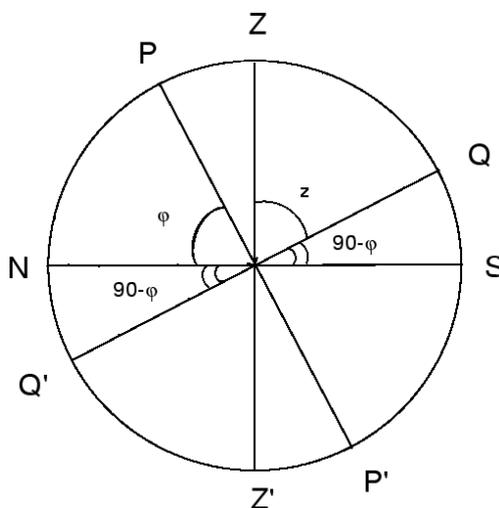


Рис. 3

Из рисунка очевидно, что широта места наблюдения для звезды на экваторе равна зенитному расстоянию этой звезды в верхней кульминации, т.е., в данном случае, 60° . Так как в северном и южном полушариях Земли ситуация симметрична, окончательно получаем три варианта ответа: 0° и $\pm 60^\circ$.

4. Астроном-любитель заметил в атмосфере Земли болид со звездной величиной $m = -14^m$. Тот же болид был замечен невооруженным глазом астронавтом с Луны. На какой минимальной высоте над поверхностью Земли мог «вспыхнуть» болид?

Решение:

Очевидно, что если при прочих равных условиях вспышка болида произойдет ближе к поверхности Земли, то астронавт окажется дальше от вспышки и, как следствие, она для него станет менее яркой. Поэтому минимальная высота над поверхностью Земли получится в том случае, если астронавт заметит вспышку на пределе чувствительности невооруженного глаза, т.е. ее звездная величина для астронавта будет равна 6^m .

Тогда разность звездных величин при наблюдении с Земли и с Луны — 20^m . Известно, что изменение на 5^m соответствует изменению освещенности в 100 раз, так что освещенность от вспышки на Земле и на Луне различается в 10^8 раз. Также известно, что освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния до объекта, отсюда получаем, что расстояния от вспышки до астронавта и до наблюдателя на Земле различаются в 10^4 раз. В этом случае очевидно, что расстояние от вспышки до астронавта можно считать совпадающим с расстоянием от Земли до Луны (это примерно $4 \cdot 10^5$ км, и тогда высота вспышки над поверхностью Земли — около 40 км).

5. По соотношению «период–светимость» для цефеид были определены расстояния до ряда спиральных галактик. Позднее выяснилось, что межзвездное пространство несколько поглощает свет, идущий сквозь него. Как изменило это открытие вычисленные ранее линейные диаметры спиральных галактик?

Решение:

Даже если не помнить, что такое цефеиды, можно вспомнить, что в астрономии вне пределов Солнечной системы есть только три принципиально различных способа определения расстояний — тригонометрический параллакс, всевозможные варианты «метода стандартных свечей» и закон Хаббла. Первый способ чисто геометрический, на него поглощение излучения не может влиять никак, последний требует спектральных наблюдений (а линии в спектре из-за поглощения не сдвигаются), следовательно, обсуждаемый метод каким-то образом связан с соотношением между абсолютной звездной величиной объекта M и видимой звездной величиной m . Тогда расстояние до объекта r , выраженное в парсеках, определяется из известной формулы $M = m - 5 \lg r + 5$.

Как поглощение может повлиять на результат? Из-за него должна увеличиться видимая звездная величина m . Тогда, если наличие поглощения мы не учитываем, мы отнесем галактики на большее, по сравнению с действительным, расстояние. В этом случае, так как угловые размеры галактик определяются непосредственно, линейные размеры галактик также окажутся большими, чем в действительности. Отсюда ответ: вследствие открытия межзвездного поглощения линейные диаметры галактик (точнее, их оценки астрономами) уменьшились.