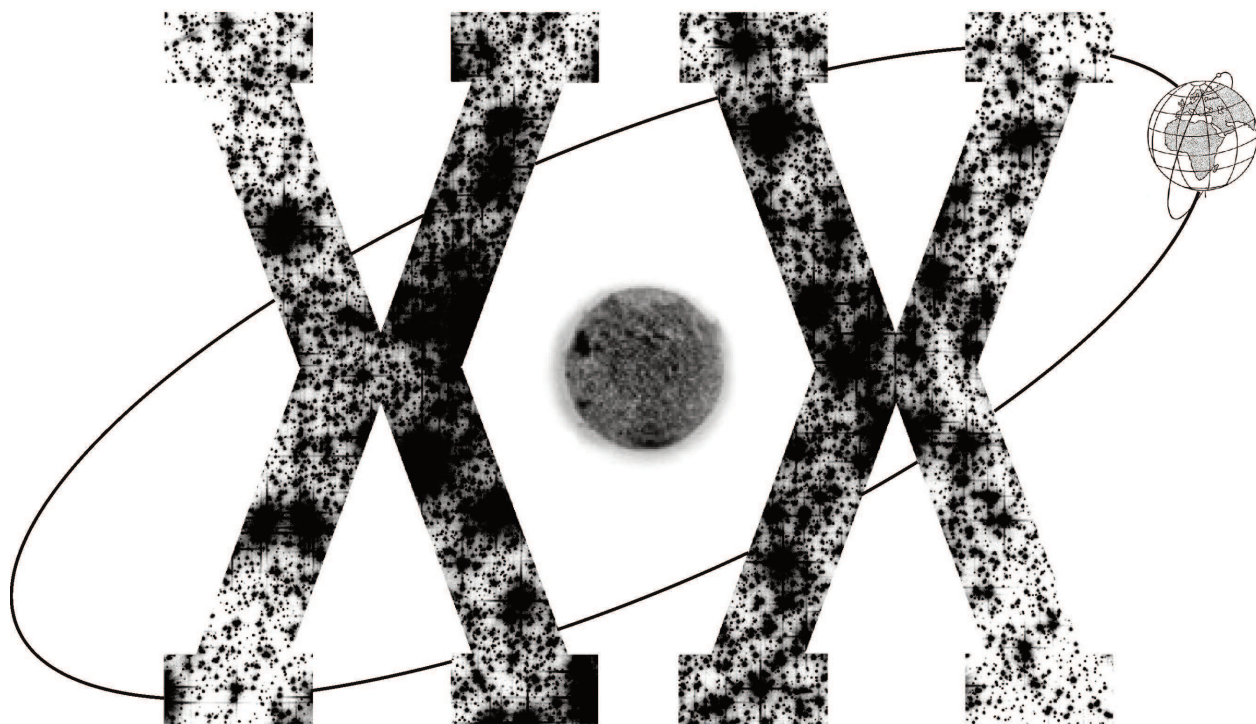


**Министерство образования и науки Российской Федерации
Академия повышения квалификации и профессиональной
переподготовки работников образования**



Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

УСЛОВИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

г. Орел, 2013 г.

XX Всероссийская олимпиада школьников по астрономии. Заключительный этап, Орел, 2013 г. Условия и решения задач. Под редакцией А.С. Расторгуева, О.С. Угольникова, А.М. Татарникова, Е.Н. Фадеева. 40 стр.

Оригинал-макет и верстка: О.С. Угольников.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР



9 класс



IX. 1

ОРИОН НА ГОРИЗОНТЕ

О.С. Угольников

? Созвездие Ориона занимает область неба со склонением от -11° до $+23^\circ$. На каких широтах на Земле это созвездие постоянно находится на горизонте (часть созвездия – над горизонтом, часть – под ним)? Атмосферной рефракцией пренебречь.

! Так как экваториальное созвездие Ориона имеет примерно прямоугольную форму и занимает сравнительно небольшой интервал по прямым восхождениям, описанная в условии ситуация может иметь место, если в созвездии есть как невосходящие, так и незаходящие точки. Очевидно, что решение имеет смысл искать вблизи полюсов Земли. Рассмотрим окрестности Северного полюса. Пусть δ_1 – склонение самой северной точки созвездия, δ_2 – склонение самой южной его точки. Запишем условие, при котором нижняя кульминация первой точки будет над горизонтом, а верхняя кульминация второй точки – под горизонтом:

$$\begin{aligned}h_{H1} &= -90^\circ + \varphi + \delta_1 > 0, \\h_{B2} &= 90^\circ - \varphi + \delta_2 < 0.\end{aligned}$$

Решая эту систему неравенств, получаем ограничение для широты: $\varphi > 67^\circ$ из первого неравенства и $\varphi > 79^\circ$ из второго неравенства. В итоге, в северной полярной области условие задачи будет выполнено за параллелью 79° с.ш. Чтобы получить решение в южном полушарии, нужно, напротив, записать уравнение для высоты верхней кульминации точки со склонением δ_1 и высоты нижней кульминации точки со склонением δ_2 :

IX
х · 2

ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

А.М. Татарников

? На экваториальной монтировке установлен шаговый двигатель, отвечающий за суточное ведение телескопа. Угол, на который поворачивается ось двигателя при шаге, составляет 2° . С какой частотой надо осуществлять шаги, если для передачи вращения от оси двигателя на полярную ось телескопа используется два последовательно установленных редуктора (системы шестеренок, уменьшающих угловую скорость) – основной с передаточным числом 1:360 и дополнительный с передаточным числом 1:5?

! Обозначим угол поворота оси двигателя при шаге как γ . Полярная ось телескопа присоединена к двигателю через два редуктора с передаточными числами k_1 и k_2 . Угол, на который при шаге повернется телескоп, составит $\gamma \cdot k_1 k_2$ (это составит $4''$). Частота шагов ν должна быть такой, чтобы получившаяся угловая скорость была равна угловой скорости вращения Земли (или видимого вращения небесной сферы):

$$\nu \cdot \gamma \cdot k_1 \cdot k_2 = \omega = 360^\circ / T.$$

Здесь T – период вращения Земли (звездные сутки). Отсюда получаем выражение для частоты:

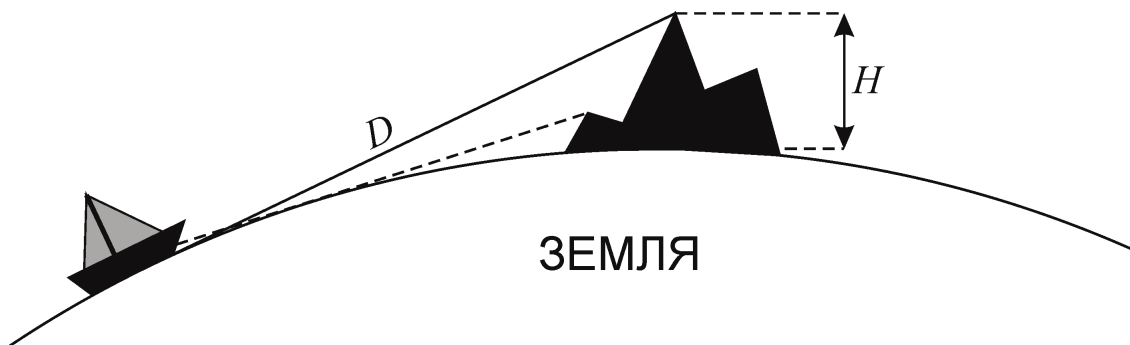
$$\nu = \frac{360^\circ}{\gamma k_1 k_2 T} = 3.76 \text{ Гц.}$$

IX. 3 ДАЛЕКИЙ КОРАБЛЬ

О.С. Угольников

? Находясь на вершине горы над морем, наблюдатель видит небольшой корабль у горизонта. Различая форму корабля, он видит, что его нижняя надводная часть скрыта за горизонтом. Найдите максимально возможную высоту горы, если размер корабля составляет 20 метров. Атмосферной рефракцией и искажениями пренебречь.

! Предел углового разрешения человеческого глаза составляет примерно $1'$. Раз наблюдатель различает форму корабля, его угловой размер должен быть в несколько раз



Это и есть искомый верхний предел, так как при наблюдении с меньшей высоты нижняя часть корабля не будет видна над морем, а с большей высоты корабль будет полностью виден ближе видимого горизонта.

IX
х · 4

СКВОЗЬ КОЛЬЦА САТУРНА

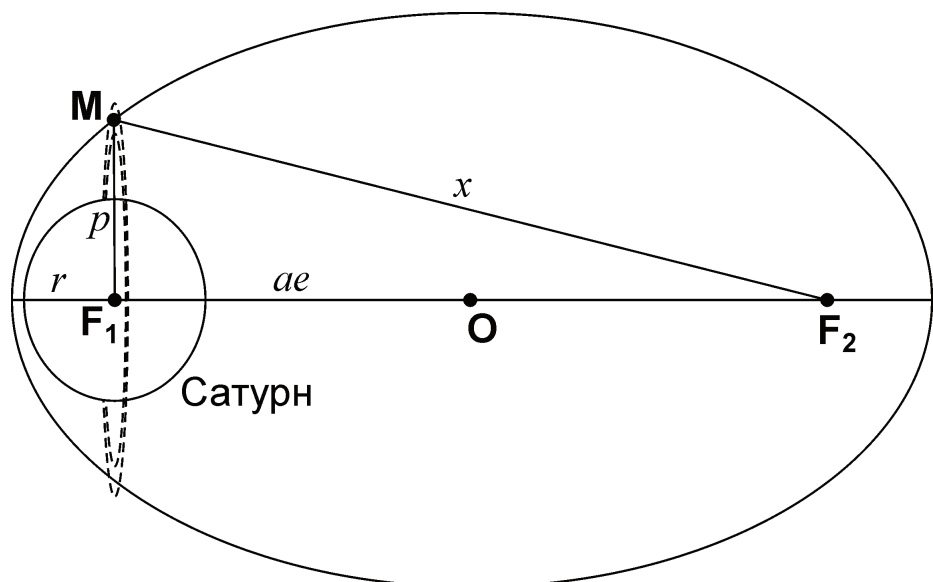
Е.Н. Фадеев

? Космический корабль прошел точку перисатурния над полюсом Сатурна на расстоянии его экваториального радиуса от центра планеты, после чего пролетел сквозь щель Энке (радиус $1.34 \cdot 10^5$ км) в кольцах. Определите расстояние апосатурния этого корабля. Останется ли аппарат искусственным спутником Сатурна?

10 класс: Решить задачу также для аппарата, пролетающего сквозь щель Гюйгенса (радиус $1.17 \cdot 10^5$ км).

! Как известно, из-за быстрого вращения планета Сатурн заметно сжата, ее полярный радиус на 10% меньше экваториального. Поэтому корабль мог пролететь над полюсом на столь близком расстоянии от центра планеты. Он двигался относительно Сатурна по одному из конических сечений: эллипсу, параболе или гиперболе. Предположим, что корабль двигался по эллипсу. Кольца Сатурна расположены в плоскости его экватора. Поэтому в этом эллипсе нам известно расстояние перисатурния r и фокальный параметр p – длина отрезка, перпендикулярного большой оси эллипса, соединяющего фокус F_1 с точкой эллипса M .

Расстояние перисатурния r есть $a(1-e)$, а расстояние от каждого из фокусов эллипса до его центра (точка O)



равно ae , где a – большая полуось эллипса, e – его эксцентриситет. Сумма расстояний от каждой точки эллипса до его фокусов равна $2a$. Это относится и к точке **М**, в которой аппарат пролетел сквозь щель в кольцах:

$$2a = p + x = p + \sqrt{p^2 + 4a^2 e^2}.$$

Решая это уравнение, мы получаем:

$$\begin{aligned} p &= a(1 - e^2) = r(1 + e), \\ e &= (p/r) - 1. \end{aligned}$$

Подставляя в качестве p радиус щели Энке, получаем величину e , равную примерно 1.2. Таким образом, эта орбита не является эллиптической, и аппарат покинет окрестности Сатурна.

Далее – только для 10 класса:

Второй аппарат, пролетевший через щель Гюйгенса, действительно движется по эллиптической орбите с эксцентриситетом 0.94. Расстояние апосатурния этого корабля составит:

$$R = a(1 + e) = r \frac{1 + e}{1 - e} = \frac{rp}{2r - p}.$$

Получается, что аппарат, прошедший через щель Гюйгенса, должен удалиться от Сатурна на $1.96 \cdot 10^6$ км. На таком, и даже на большем расстоянии располагаются естественные спутники планеты. Значит, такой аппарат останется спутником Сатурна.

IX. 5 КРУГОВЫЕ ОРБИТЫ

О.С. Угольников

? Предположим, что орбиты Земли (вокруг Солнца) и Луны (вокруг Земли) стали круговыми, при этом их большие полуоси (радиусы) не изменились. Будут ли тогда на Земле наблюдаться полные солнечные затмения?

Здесь d – пространственный диаметр светила, L – расстояние между его центром и центром Земли, R – экваториальный радиус Земли. Определив видимые диаметры и переведя их в градусную меру, получаем $31'55''$ для Солнца и $31'36''$ для Луны. Полных солнечных затмений в этом случае на Земле бы не наблюдалось.

IX. 6

КОМЕТА В НЕБЕ ЗЕМЛИ И МАРСА

О.С. Угольников

? При наблюдении с Земли Марс располагается в западной квадратуре, а комета – в восточной. С Земли комета имеет звездную величину 7^m , а с Марса 8^m . Каково расстояние от Солнца и Земли до кометы, если известно, что она видна с обеих планет вблизи линии эклиптики? Орбиты Земли и Марса считать круговыми, лежащими в одной плоскости. Поглощением света в атмосферах планет пренебречь.

! По условию задачи, все четыре тела (Солнце, Земля, Марс и комета) фактически лежат в плоскости эклиптики. Изобразим их на рисунке. Марс и комета находятся в противоположных квадратурах, и Земля располагается около линии, соединяющей Марс и комету. Определим расстояние между Землей и Марсом:

$$d_1 = \sqrt{r_1^2 - r_0^2} = 1.15 \text{ а.е.}$$

Здесь r_0 и r_1 – радиусы орбит Земли и Марса. По условию задачи, с Земли (расстояние d_2) комета выглядит на 1^m ярче, чем с Марса (расстояние $d_1 + d_2$). Соотношение яркостей K равно 2.512, и для расстояний справедливо выражение:

$$\frac{d_1 + d_2}{d_2} = \sqrt{K}.$$

Здесь было учтено, что комета ориентирована одинаково по отношению к наблюдателям на Земле и Марсе. Отсюда

$$d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{K} - 1} = 2.0 \text$$



Х. 1

ЛУНА НАД ВЕСЕННИМ ОРЛОМ

О.С. Угольников

? 20 марта в Орле в 19^ч36^м по московскому времени астрономический азимут Луны составляет 0°. Чему равна ее высота над горизонтом? Параллаксом, наклоном орбиты Луны к эклиптике и уравнением времени пренебечь. Координаты города Орел: 53° с.ш., 36° в.д.

! Переведем долготу Орла λ в часовую меру, получим 2^ч24^м. Московское время T_M отличается от Всемирного времени UT на 4 часа. Определим среднее солнечное (местное) время действия условия задачи:

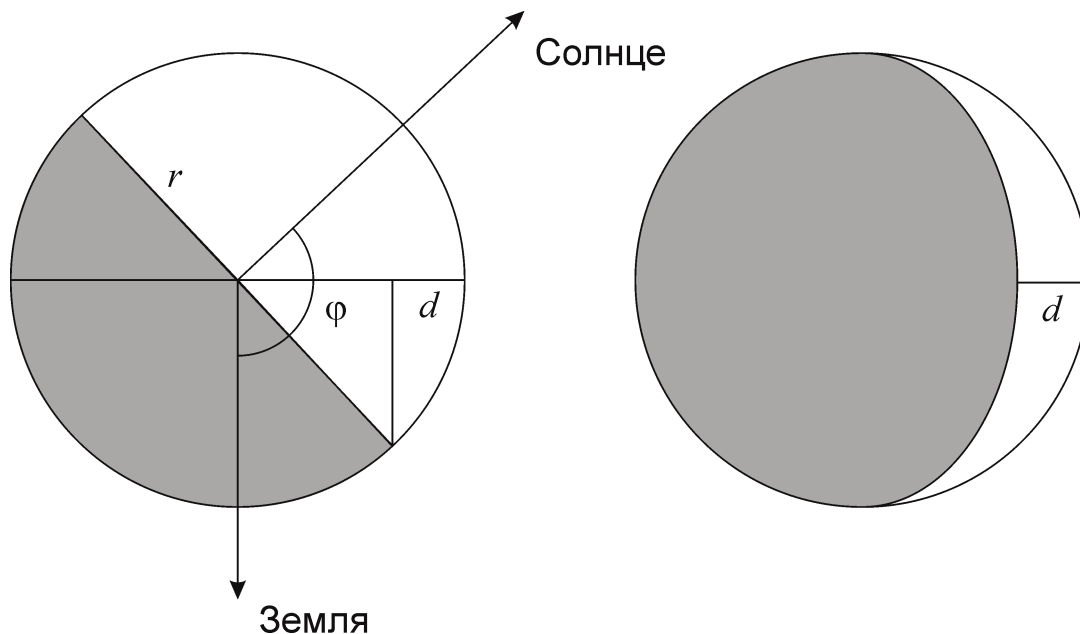
$$T = T_M - 4 + \lambda = 18^{\text{ч}}.$$

Картина наблюдается в день весеннего равноденствия. Астрономический азимут Луны составляет 0°, следовательно, она находится в верхней кульминации. Солнце в это же время заходит на западе, следовательно, Луна в этот момент наблюдается в фазе первой четверти в точке летнего солнцестояния. Пренебрегая наклоном орбиты Луны к эклиптике, считаем ее склонение равным ε (примерно 23°). Высота Луны над горизонтом равна

$$h = 90^\circ - \varphi + \varepsilon = 60^\circ.$$

Здесь φ – широта города Орел. В реальности, наклон орбиты Луны к эклиптике может изменять высоту Луны от 55° до 65°. Можно также учесть, что сам момент весеннего равноденствия может отстоять на ± 12 часов от времени наблюдения. Однако, положение Солнца на эклиптике нам все равно известно лучше ($\pm 0.5^\circ$), чем положение Луны ($\pm 5^\circ$) на меридиане, вследствие чего этим эффектом можно пренебечь.

Х. 3



$$F = \frac{d}{2r} = \frac{1 + \cos \varphi}{2},$$

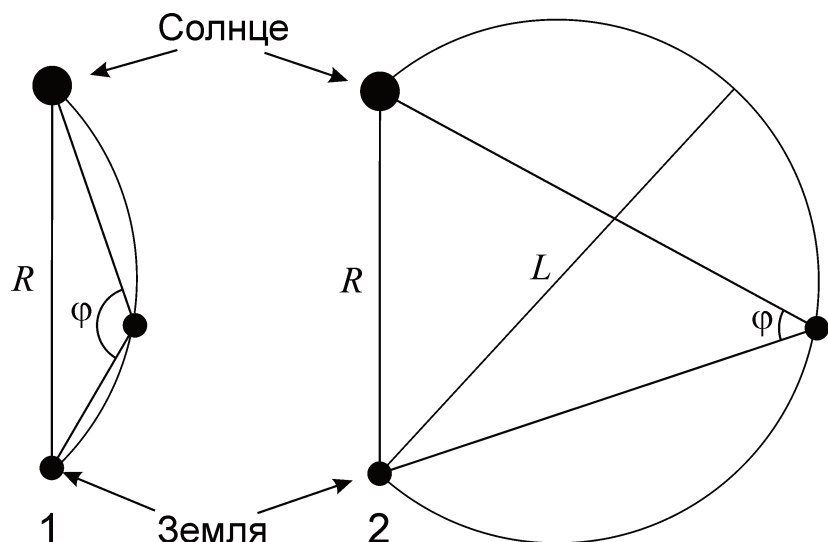
где φ – угол с вершиной в центре тела, образованный направлениями на Солнце и Землю (его еще называют фазовым углом). Для него выполняется очевидное соотношение

$$\varphi = \arccos(2F - 1).$$

Изобразим Солнце, Землю и наблюдаемое тело (плоскость рисунка не должна обязательно совпадать с плоскостью эклиптики). Обозначим расстояние между Солнцем и Землей через R . Если фаза тела F меньше 0.5, и фазовый угол φ больше 90° (случай 1 на рисунке), то тело должно находиться на малой дуге окружности, описанной около треугольника «Солнце-Земля-тело». Очевидно, что максимально возможное расстояние между Землей и телом L равно R и достигается, если тело находится вблизи Солнца.

В случае 2 (фаза F больше 0.5, фазовый угол φ меньше 90°) тело будет находиться на большой дуге окружности. Максимальное расстояние от Земли L будет равно диаметру этой окружности. Из теоремы синусов имеем:

$$L = \frac{R}{\sin \varphi} = \frac{R}{2\sqrt{F(1-F)}}.$$



X. 5

МКС НА ЗВЕЗДНОМ НЕБЕ

О.С. Угольников

? Международная космическая станция обращается вокруг Земли по круговой орбите, наклоненной к плоскости экватора на 51° . Сравните максимальный видимый блеск МКС на широтах 46° и 56° . С какой широты МКС может быть ярче и на сколько звездных величин? Высота станции над поверхностью Земли составляет 400 км. Атмосферным ослаблением света пренебречь.

! Яркость Международной космической станции при наблюдении из определенной точки Земли достигает максимума, когда она располагается на минимальном расстоянии (при круговой орбите это соответствует максимальной высоте над горизонтом) и освещена Солнцем. Освещение Солнцем возможно для любого положения станции, а в летние месяцы освещение вблизи северной точки орбиты непрерывно. Поэтому для решения задачи нам достаточно найти соотношение минимальных расстояний от двух точек наблюдения до МКС.

$$\Delta m = 2.5 \lg \frac{D^2}{H^2} \approx 2.5 \lg \left(1 + \frac{R^2 \gamma^2}{H^2} \right) = 1.2.$$

Х. 6

СПУТНИК СОЛНЦА

О.С. Угольников

? Предположим, у Солнца появилась звезда-спутник малой массы, которая в небе Земли светит 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 светимость Солнца? Орбита звезды круговая.

! Звезда -10^m светит в $5 \cdot 10^6$ раз слабее Солнца. Средний угловой радиус Урана есть отношение его пространственного радиуса к расстоянию до Солнца, он равен <



11 класс

XI. 1

СОЛНЦЕ В ЗВЕЗДНУЮ ПОЛНОЧЬ

О.С. Угольников

? Определите, существуют ли на Земле точки, обладающие следующим свойством: каждый раз, когда звездное время в Орле составляет 0^h , в этих точках Земли обязательно светит Солнце (если только нет облаков). Определите координаты этих точек, если они существуют. Координаты города Орел: 53° с.ш., 36° в.д.

! Каждый раз, когда звездное время в Орле составляет 0^h (а это случается каждые звездные сутки, то есть не менее 366 раз в году), Солнце занимает различное положение на эклиптике. В любой другой точке Земли звездное время в эти моменты также будет одинаковым (хотя и не

XI. 2**ПОБЕГ ОТ СОЛНЦА**

О.С. Угольников

? Предположим, Солнце стало терять массу со скоростью 1 миллиард тонн в секунду. На какое расстояние удалится от него Земля за 1 год? Исходную орбиту Земли считать круговой.

! Изменение массы Солнца происходит равномерно, одинаково для всех положений Земли. Следовательно, круговая орбита Земли не будет приобретать эксцентриситета, лишь медленно увеличивая свой радиус, фактически являясь очень туго закрученной спиралью. Медленно меняется не только радиус орбиты, но и скорость движения Земли по ней, причем она будет уменьшаться. Ситуация противоположна движению тела в поле тяжести в среде, оказывающей торможение, в результате которого тело приближается к центру тяжести и увеличивает скорость. В случае, описанном в условии задачи, уменьшение скорости будет обеспечиваться притяжением Солнца при удалении Земли от него.

Для кругового движения в поле тяжести тела с массой M справедливо соотношение

XI. 3

СОЕДИНЕНИЕ ВЕНЕРЫ И ЮПИТЕРА

О.С. Угольников

? Планеты Венера и Юпитер вступают в соединение друг с другом, имея одинаковые экваториальные угловые размеры. Чему равно угловое расстояние между Венерой и Солнцем в этот момент? Орбиты Венеры, Земли и Юпитера считать круговыми и лежащими в одной плоскости.

! Изобразим конфигурацию, описанную в условии задачи. Пусть R_0 , R_1 и R_2 – радиусы орбит Земли, Венеры и Юпитера, а d_1 и d_2 – расстояния от Земли до Венеры и Юпитера соответственно. Венера может находиться в одном из двух положений (1 и 2 на рисунке). Обозначив наблюдаемый угол между Венерой (и Юпитером) и Солнцем через γ , запишем выражения теоремы косинусов:

$$R_1^2 = R_0^2 + d_1^2 - 2R_0d_1 \cos \gamma,$$

$$R_2^2 = R_0^2 + d_2^2 - 2R_0d_2 \cos \gamma.$$

Угловые диаметры Венеры и Юпитера совпадают, следовательно

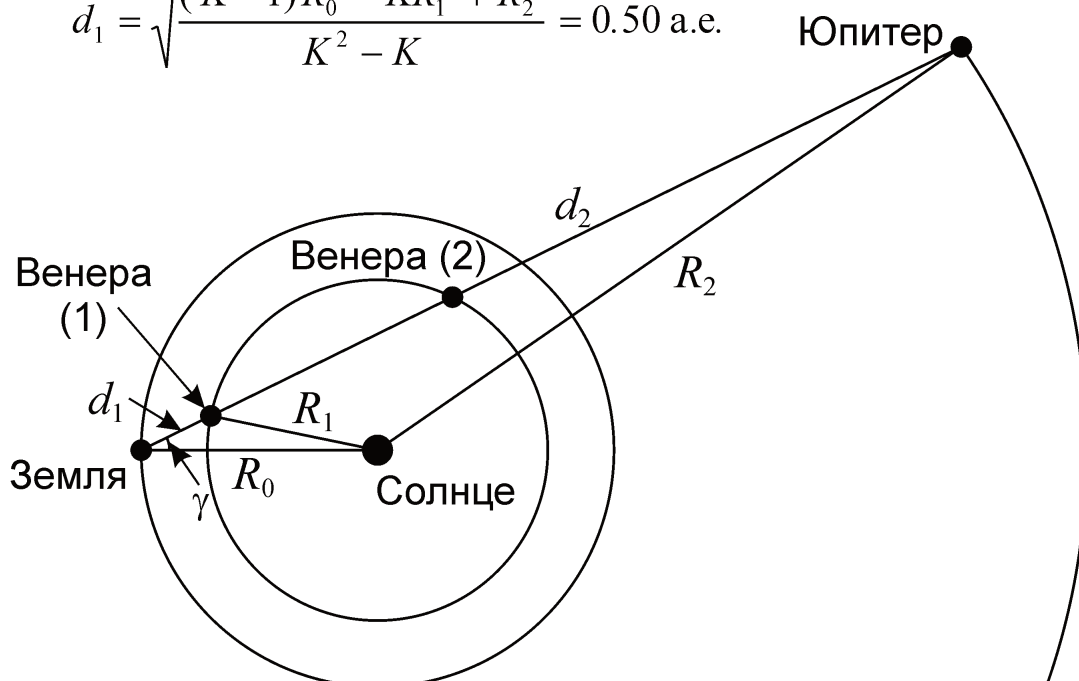
$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{r_2}{r_1} \equiv K.$$

Здесь r_1 и r_2 – экваториальные радиусы Венеры и Юпитера, а число K составляет 11.8. Умножим первое из уравнений теоремы косинусов на K и вычтем второе уравнение из первого:

$$KR_1^2 - R_2^2 = (K-1)R_0^2 + (K-K^2)d_1^2.$$

В результате,

$$d_1 = \sqrt{\frac{(K-1)R_0^2 - KR_1^2 + R_2^2}{K^2 - K}} = 0.50 \text{ а.е.}$$



Очевидно, Венера находится в положении (1) на рисунке, ближнем к Земле. Из первой формулы теоремы косинусов имеем

$$\gamma = \arccos \frac{R_0^2 + d_1^2 - R_1^2}{2R_0 d_1} = 43^\circ.$$

XI. 4 КОРОТКАЯ ВСТРЕЧА

О.С. Угольников

? Некоторая звезда пролетела мимо Солнца на минимальном расстоянии 1 пк. Через 100 тысяч лет ее блеск в небе Земли уменьшился на 2^м. Какова скорость звезды относительно Солнца (в км/с)? Физические свойства звезды считать постоянными по времени.

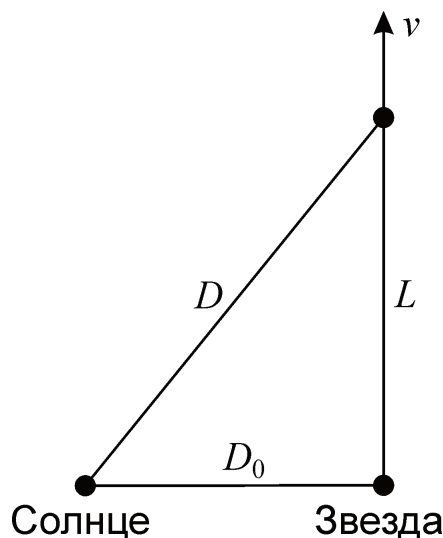
! 100 тысяч лет – достаточно короткое время по сравнению с орбитальными периодами звезд в Галактике. За это время скорость звезды (как и Солнца) практически не изменяется. В момент сближения с Солнцем звезда двигалась перпендикулярно направлению на него. Расстояние между звездами было равно D_0 . Через время T оно стало равным D , причем эти расстояния связаны соотношением:

$$\frac{D}{D_0} = 10^{0.2 \cdot \Delta m} \approx 2.5.$$

Здесь Δm – уменьшение блеска звезды за этот период. Путь, проделанный звездой относительно Солнца, равен

$$L = \sqrt{D^2 - D_0^2} = D_0 \sqrt{10^{0.4 \cdot \Delta m} - 1} = 2.3 \text{ пк.}$$

Скорость звезды v , равная L/T , составляет 2.3 пк за 100000 лет. Это равно 4.7 а.е. в год или 23 км/с.



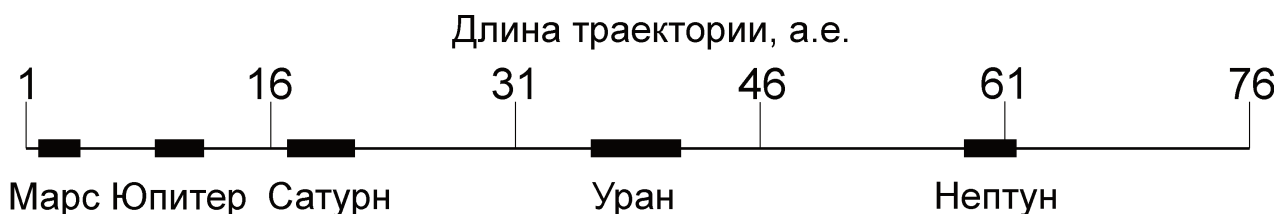
XI. 5**МИГАЮЩИЕ ПЛАНЕТЫ**

О.С. Угольников

? Представьте себе, что Солнце стало короткопериодической переменной звездой с периодом 125 минут. Практически с тем же периодом стал меняться видимый на Земле блеск планет, а у одной внешней большой планеты максимумы могли наблюдаться в то же время, что и максимумы блеска Солнца. Что это за планета?

! Как известно, в видимой области спектра планеты сами не излучают, а лишь отражают свет Солнца. Поэтому неудивительно, что их блеск в описанном в условии случае также начнет изменяться с похожим периодом. Однако наблюдаемые на Земле моменты максимумов блеска планет будут отличаться от моментов максимума блеска Солнца, так как время распространения сигнала по траектории «Солнце – внешняя планета – Земля» больше, чем по прямой линии от Солнца до Земли.

Максимумы



планета будет в соединении с Солнцем и не будет видна. Однако, ее можно будет наблюдать в достаточно близкой конфигурации, с практически той же длиной траектории. Занесем величины длин траекторий в таблицу:

Планета	Большая полуось, a , а.е.	Эксцентриситет, e	Минимальная траектория, а.е.	Максимальная траектория, а.е.
Марс	1.52	0.093		

! Треки Веги и метеора имеют на снимке одинаковую толщину и яркость, но эти два светила двигались по небу с существенно разной угловой скоростью. Для Веги она равна

$$\omega_1 = \omega_0 \cos \delta = 5.7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}.$$

Здесь ω_0 – угловая скорость суточного вращения неба. Угловую скорость метеора можно определить с учетом того, что он наблюдался в зените и летел горизонтально, то есть перпендикулярно лучу зрения:

$$\omega_2 = \frac{v}{h} = 0.59 \text{ с}^{-1}.$$

Здесь v – скорость метеора, h – его высота. Получается, что каждый элемент матрицы, на который попало изображение метеора, был освещен в течение меньшего времени, чем элемент матрицы, освещенный Вегой. Отсюда мы можем найти соотношение звездных величин метеора и Веги:



ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР



9 класс



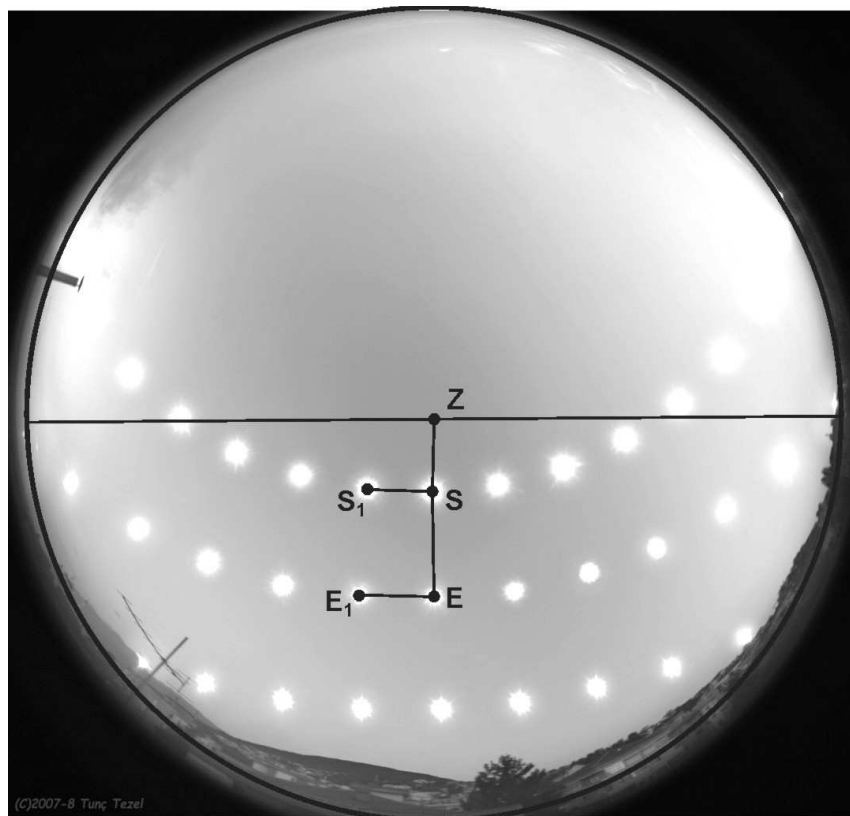
IX. 1

СОЛНЕЧНЫЕ ЦЕПОЧКИ

О.С. Угольников

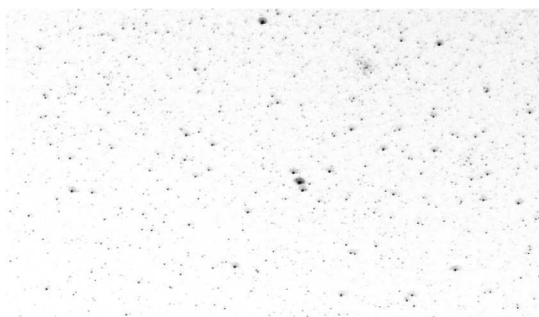
? В некотором пункте в северном полушарии Земли производилась съемка неба с Солнцем раз в час в день равноденствия и дни солнцестояний. Получилась предложенная Вам фотография. Масштаб фотографии искажается при удалении от зенита. Определите широту пункта съемки.



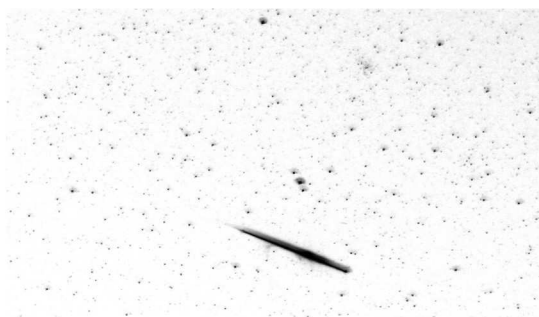


ный» отрезок, соответствующий известной угловой длине. Очевидно, что нижний трек Солнца (зимнее солнцестояние), лежащий у горизонта, использовать нельзя. Можно определить масштаб фото по отрезку SE , равному углу наклона экватора к эклиптике ε (23.4°) и по отрезку E_1E – часовому перемещению Солнца по небу в день равноденствия (15°), это не приведет к ошибке определения широты более $1-2^\circ$.

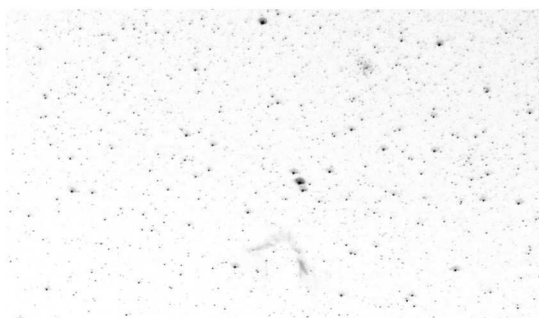
Наилучший способ определить масштаб – измерить длину отрезка S_1S , соответствующего часовому перемещению Солнца в день солнцестояния ($15^\circ \cos \varepsilon = 13.8^\circ$). Этот отрезок находится ближе всего к зениту. Длина отрезка ZS на фотографии составляет 1.1 от длины отрезка S_1S



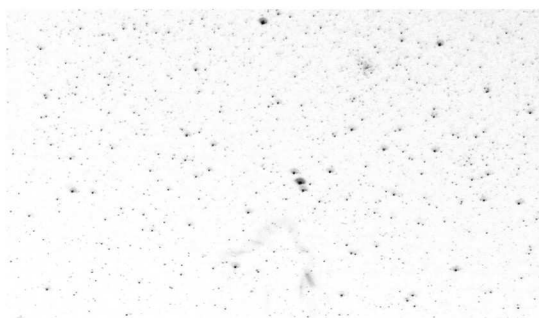
1



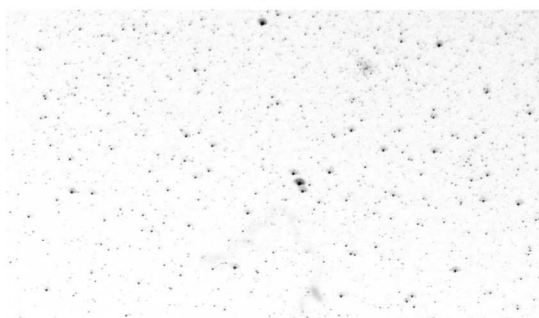
2



3



4



5

! Указанную область неба достаточно легко отождествить по звездной карте, используя яркие звезды созвездий Единорога и Гидры и рассеянное звездное скопление М48, также указанное на карте.

По кадрам 3-6 можно определить центр разлета вещества. Для нахождения скорости возьмем последний кадр и выделим фрагменты свечения, максимально удаленные от центра. Будем считать, что именно эти фрагменты вылетали перпендикулярно лучу зрения. Проведем через них окружность с центром, совпадающим с точкой вылета вещества. По координатной сетке карты можно определить радиус этой окружности на небе r , он равен 2° .

Далее нам нужно определить расстояние до точки вылета. Высоты метеоров H составляют порядка 100 км. Расстояние равно

$$L = H / \cos h = 130 \text{ км.}$$

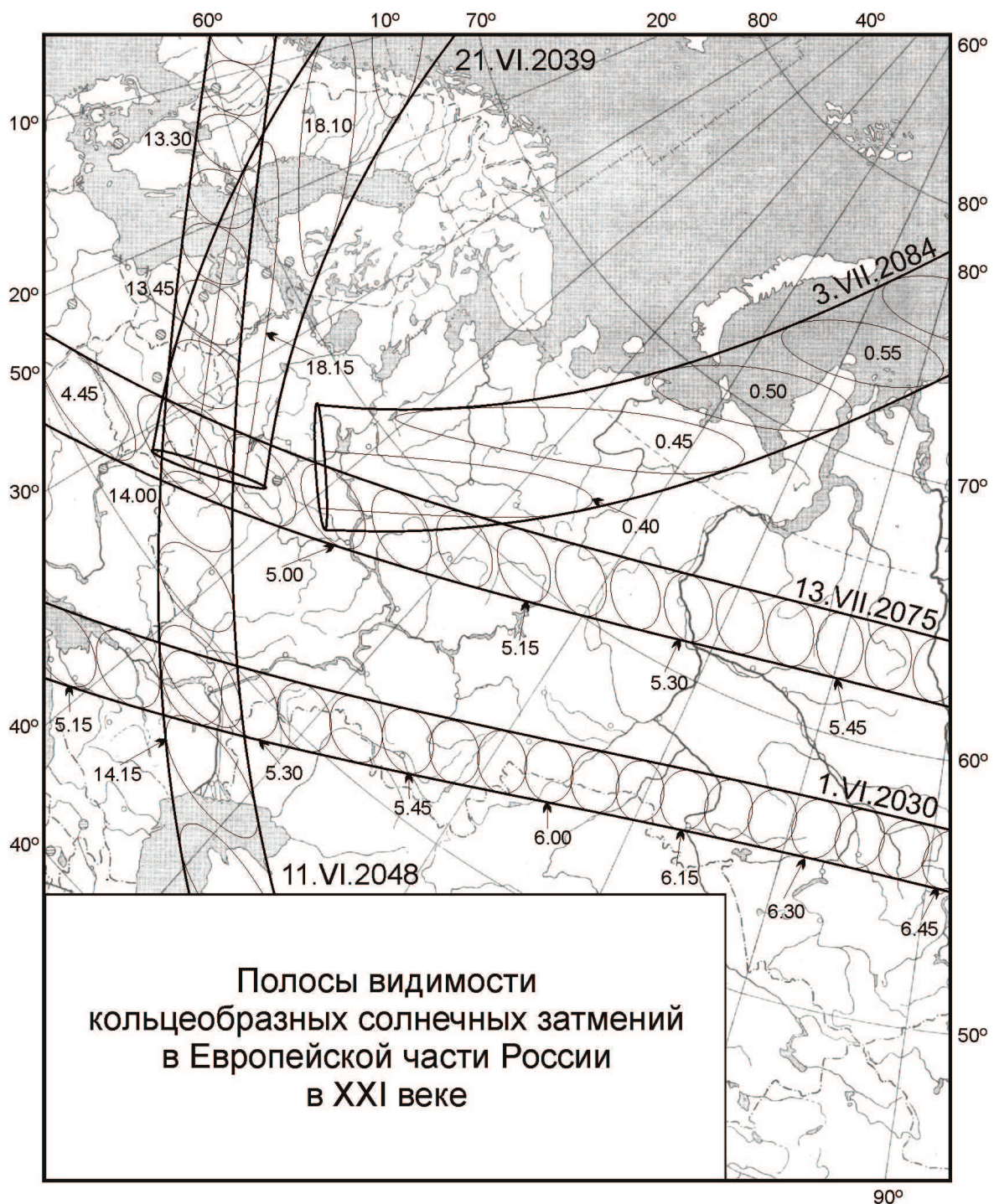
Здесь h – высота метеора над гориз

IX. 3

ПЯТЬ КОЛЕЦ

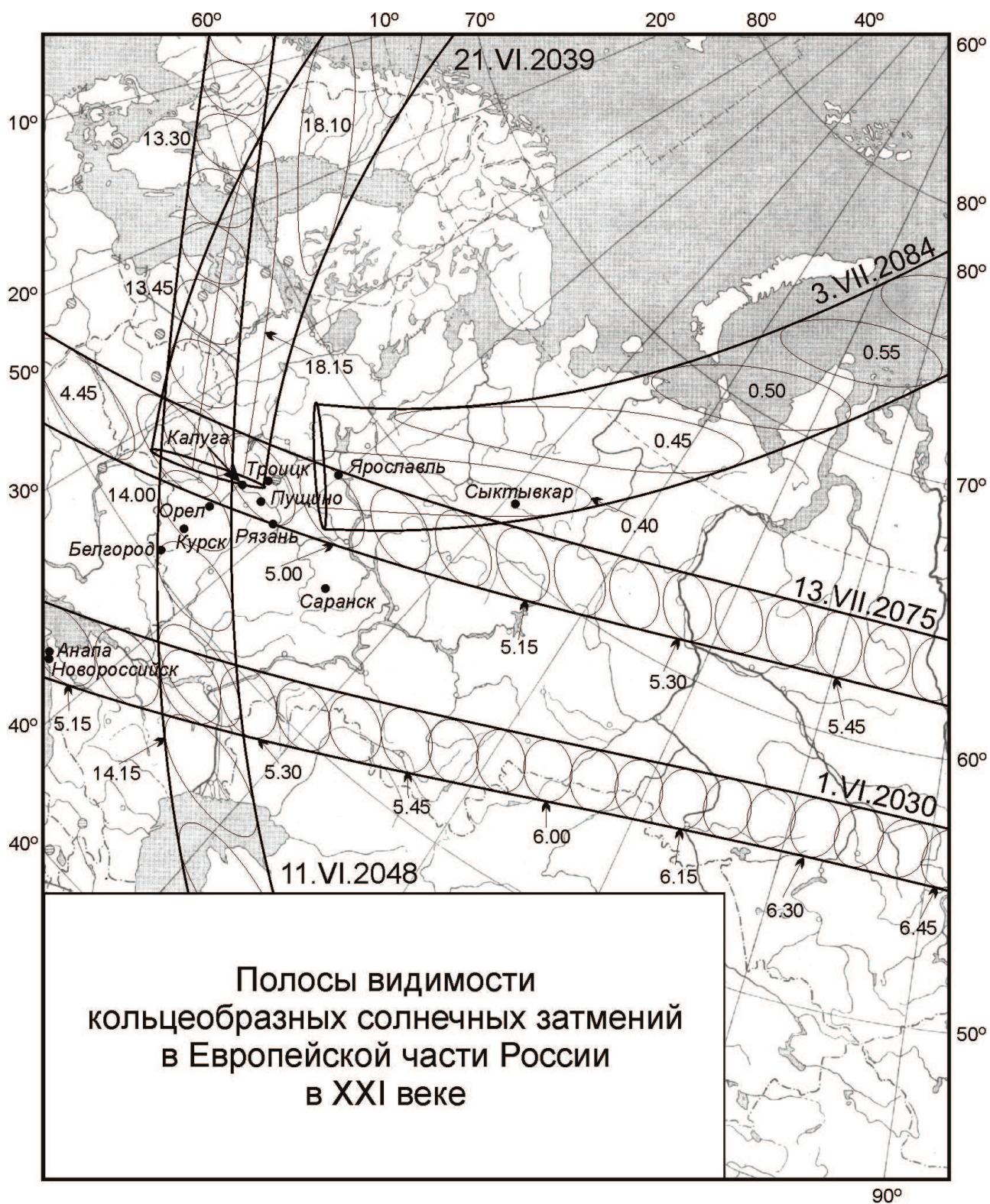
А.Н. Акинъчиков

? Перед вами карта кольцеобразных солнечных затмений, которые будут видны в Европейской части России в XXI веке. Для каждого затмения показана полоса кольцеобразной фазы и область видимости кольцеобразного затмения через каждые 5 минут. Моменты указаны по Всемирному времени. Для каждого из городов России, принимавших Всероссийскую олимпиаду по астрономии в 1994-2013 годах (координаты в таблице), укажите все затмения, которые там будут видны как кольцеобразные. Определите (с точностью до минуты по Всемирному времени) моменты начала, середины и конца кольцеобразной фазы.



! Для каждого города можно сделать вывод, попал ли он в полосу видимости того или иного кольцеобразного затмения. Если кольцеобразная фаза видна в указанном городе, то его положение нужно сопоставить с кружками, соответствующими области видимости кольцеобразной фазы через каждые 5 минут. Кружки в двух точках касаются края самой полосы, эти две точки разделяют кружки на дуги, соответствующие началу и окончанию кольцеобразной фазы. При определении длительности кольцеобразной фазы можно обратить внимание, что она составляет ровно 5 минут, если соседние кружки касаются друг друга, и меньше 5 минут, если кружки не пересекают друг друга.

Город	Широта		Долгота	
	°	'	°	'
Ярославль	57	37	39	53
Рязань	54	37	39	42
Калуга	54	32	36	17
Троицк	55	29		



X. 1**МОРСКОЙ ОСЕННИЙ ЗАКАТ**

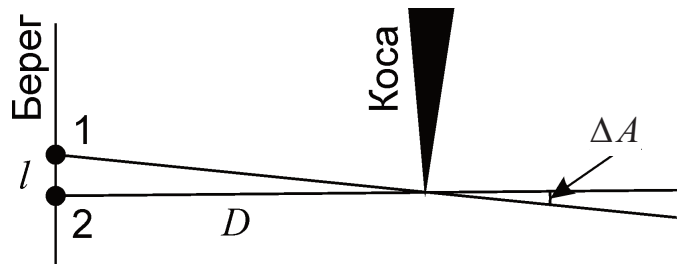
О.С. Угольников

? Сентябрьским вечером в некоторой точке на берегу моря с широтой $+46^\circ$ наблюдался заход Солнца точно за далекой косой (фото). На следующий вечер такая же картина наблюдалась в другой точке набережной, удаленной от первой на 46 метров. Считая направление на запад перпендикулярным берегу, найдите расстояние до косы.



Так как угол ΔA мал, выражаем его в радианной мере и определяем расстояние до косы по формуле:

$$D = \frac{l}{\Delta A} = \frac{l \cos \varphi}{\gamma \sin \varepsilon} = 4.7 \text{ км.}$$



Х. 2

ЗВЕЗДНЫЙ ВАЛЬС

О.С. Угольников

? На графиках приведены кривые блеска (вблизи минимумов) и кривая лучев

Обратим внимание на несколько свойств системы СМ Дракона, существенно облегчающих решение задачи. Минимумы блеска наступают при фазах 0 и 0.5, то есть ровно через половину орбитального периода системы. В эти же моменты лучевые скорости звезд совпадают, как видно из соответствующего графика. Это может быть, если орбиты звезд круговые или эллиптические с линией апсид, перпендикулярной плоскости наблюдения (то есть проходящей через наблюдателя). Во втором из этих случаев уменьшение блеска во время первого и второго минимума имело бы разную длительность, а кривые лучевых скоростей выглядели бы асимметрично, чего не наблюдается. Итак, орбиты звезд круговые. По кривым блеска видно, что главный и вторичный минимумы имеют также практически одинаковую глубину и составляют около 0.7^m , то есть видимая яркость системы уменьшается в 2 раза. Следовательно, затмения в системе практически полные, а входящие в систему звезды – почти одинаковые, иначе глубина, по крайней мере, одного минимума была бы меньше 0.7^m . Понятно также, что наблюдатель находится в плоскости орбит звезд.

Вид кривых лучевой скорости системы указывает, что массы звезд

Х. 3**РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКАЯ КОМЕТА**

О.С. Угольников

? 21 сентября 2012 года Виталий Невский (Белоруссия) и Артем Новичонков (Россия) с помощью 40-см рефлектора Международной научной оптической сети (International Scientific Optical Network, ISON) рядом с Кисловодском открыли новую комету, получившую обозначение C/2012 S1 (ISON). Комета была также найдена на более ранних снимках декабря 2011 и января 2012 года. В таблице даны измеренные значения блеска кометы в различные моменты времени (усредненные по нескольким наблюдениям) в течение одного года, а также расстояния до Земли и Солнца в это время. Считая, что зависимость светимости кометы от расстояния до Солнца r близка к r^{-4} , оцените ее блеск в день перигелия 28 ноября 2013 года, когда она окажется в 0.0125 а.е. от Солнца. Какой максимальный блеск может иметь эта комета при наблюдении на темном небе до и после перигелия (по

Дата	m_0
28 декабря 2011	5.9
21 января 2012	6.6
21 сентября 2012	6.1
1 октября 2012	5.8
27 октября 2012	5.5
3 ноября 2012	5.5
1 декабря 2012	5.5
8 декабря 2012	5.5
4 января 2013	5.3

Мы видим, что абсолютная звездная величина кометы действительно медленно меняется, причем в начале 2013 года яркость кометы нарастала быстрее прогноза. Для определения блеска кометы в эпоху перигелия возьмем величину m_0 , равную 5.5 – это значение дается наибольшим числом наблюдений, когда комета была уже достаточно ярка, и точность измерения блеска улучшилась.

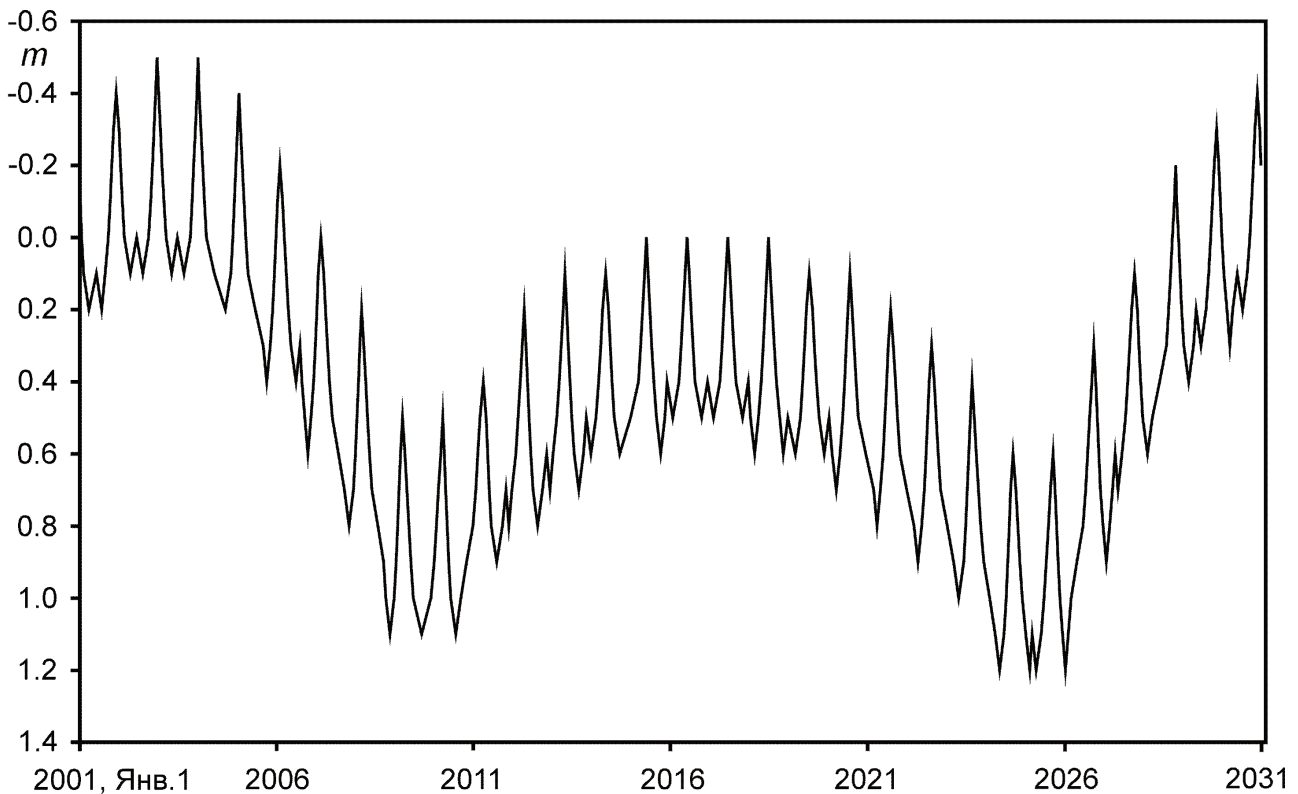
Если комета подходит к Солнцу на расстояние существенно меньшее 1 а.е., то расстояние от нее до Земли будет примерно равно 1 а.е., а его логарифм, входящий в формулу для блеска ком

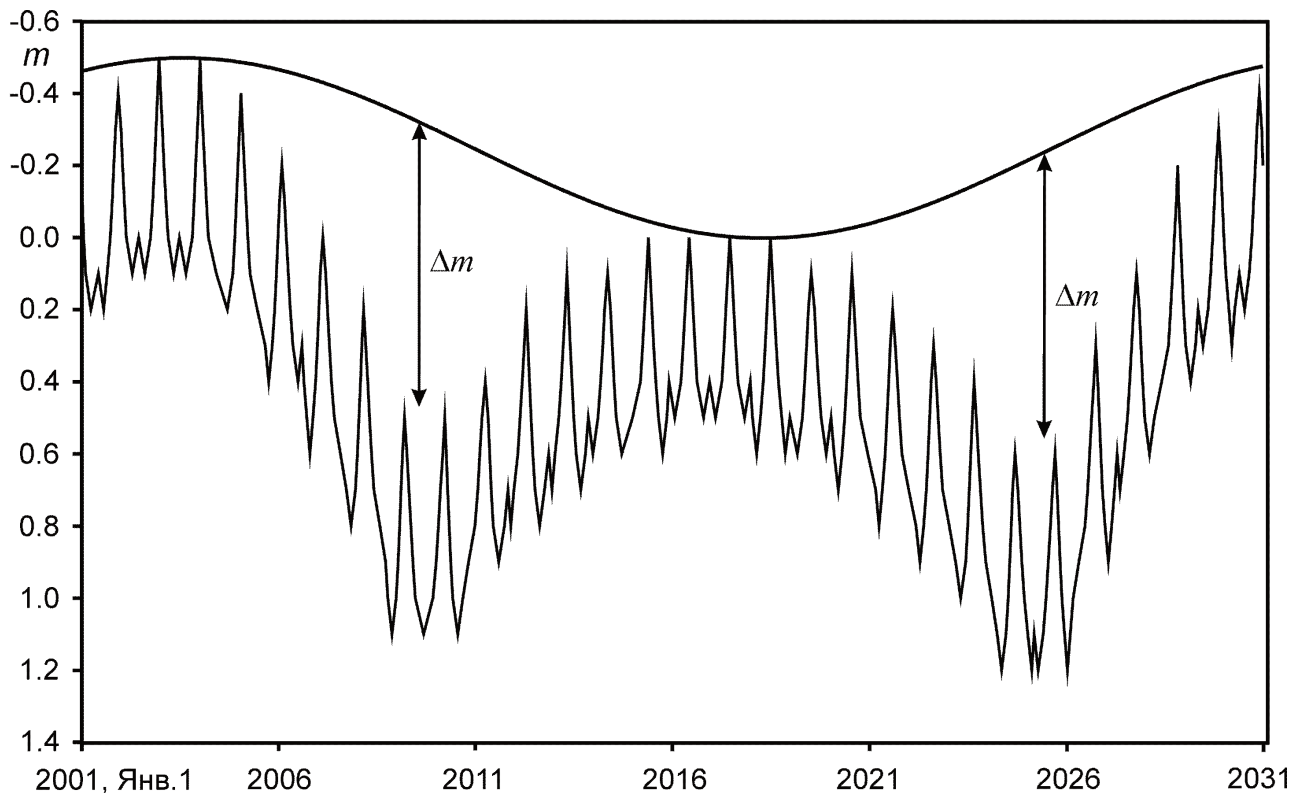


XI. 1 ПЛАНЕТА И КОЛЬЦО

О.С. Угольников

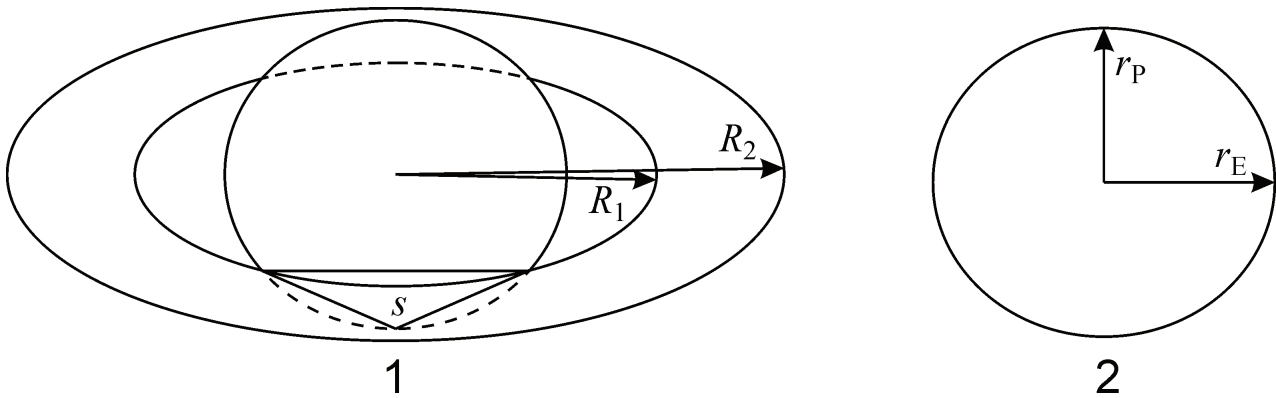
? На графике приведена зависимость блеска Сатурна в небе Земли от времени в течение первых 30 лет XXI века (примерно одного орбитального периода планеты). Исходя из этого графика, оцените соотношение среднего геометрического альбедо (в направлении источника света) Сатурна и его кольца. Полярный радиус Сатурна составляет 0.9 от экваториального радиуса, внутренний и внешний радиусы кольца – 92 и 134 тысячи км. Кольцо считать сплошным и однородным.





риоду планеты. Он приводит к тому, что блеск планеты в период максимального раскрытия колец (2002-2003 и 2017-2018 годы) различается.

Эпохи исчезновения колец наступают, когда на Сатурне происходят равноденствия, и Солнце оказывается в плоскости экватора и колец. Эти эпохи разделяются половиной орбитального периода Сатурна, а его блеск в это время примерно одинаков. Из этого можно сделать вывод, что Сатурн в это время оказывается посередине между перигелием и афелием своей орбиты. Соответственно, эпохи максимального раскрытия колец (2002-2003 и 2017-2018 годы) происходят вблизи



$$S_2 = \pi (R_2^2 - R_1^2) \sin i / D^2,$$

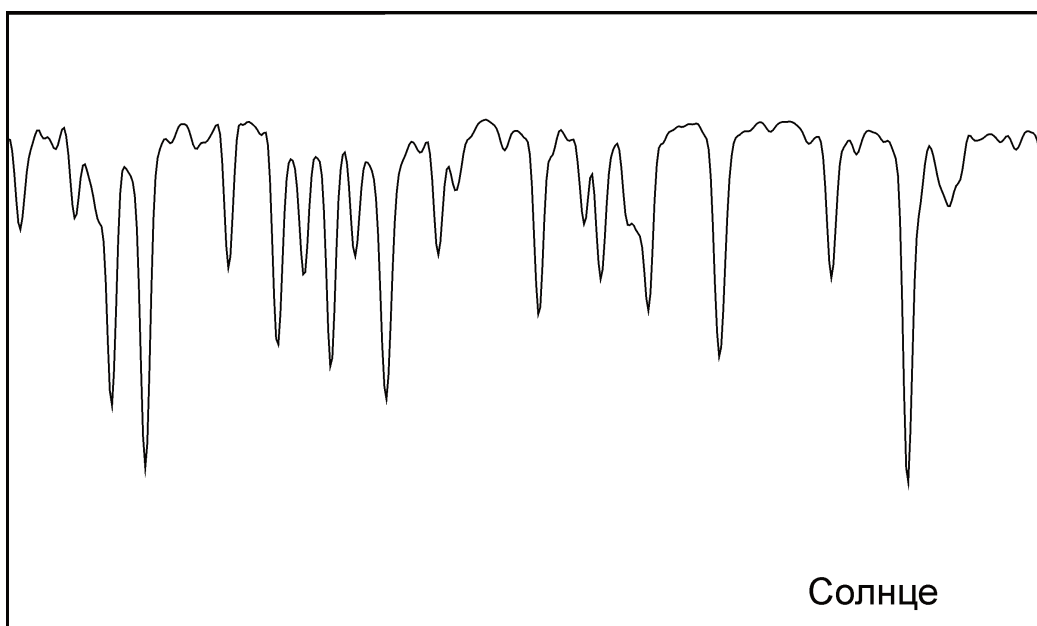
где R_1 и R_2 – внутренний и внешний радиус кольца, i – угол наклона плоскости экватора и колец Сатурна к плоскости его орбиты. Видимая площадь колец составляет 1.35 от видимой площади Сатурна.

Вне зависимости от раскрытия кольца, в противостоянии мы не наблюдаем теней и видим ту же поверхность Сатурна и колец, которую освещает Солнце. Когда кольца повернуты к Солнцу и Земле ребром, мы видим только полный диск Сатурна. При максимальном раскрытии колец они закрывают часть диска Сатурна (эта площадь обозначена как s на рисунке). У противоположного полюса сам Сатурн закрывает такую же площадь колец. Вычислить величину данной площади

XI. 2**СПЕКТРЫ ДВУХ ЗВЕЗД**

О.С. Угольников

? Перед Вами участки спектров Солнца и звезды 109 Тельца (спектральный класс G8), полученные в один день из одного пункта примерно на одинаковой высоте над горизонтом. Спектральная область и масштаб обоих спектров по длине волны совпадает, длина волны увеличивается слева направо. В спектрах обеих звезд видны линии, принадлежащие самим звездам, а также теллурические линии водяного пара, возникающие в атмосфере Земли. Длины волн самых сильных линий водяного пара в данной области приведены в таблице. Укажите в спектрах звездные линии и найдите лучевую скорость звезды 109 Тельца относительно Земли.



! Спектральный класс звезды 109 Тельца совпадает с солнечным, отличается лишь подкласс (G2 у Солнца и G8 у 109 Тельца). Поэтому вид звездных линий в их спектрах должен быть похож, но длина волны каждой линии в спектре 109 Тельца смещена вследствие лучевой скорости этой звезды относительно наблюдателя. Линии водяного пара возникают в атмосфере Земли, и для них данного смещения быть не должно. Более того, так как спектры были получены в один день на одинаковом зенитном расстоянии, то можно ожидать (по крайней мере, при стабильной ясной погоде), что вид самих линий водяного пара в обоих спектрах будет одинаковым.

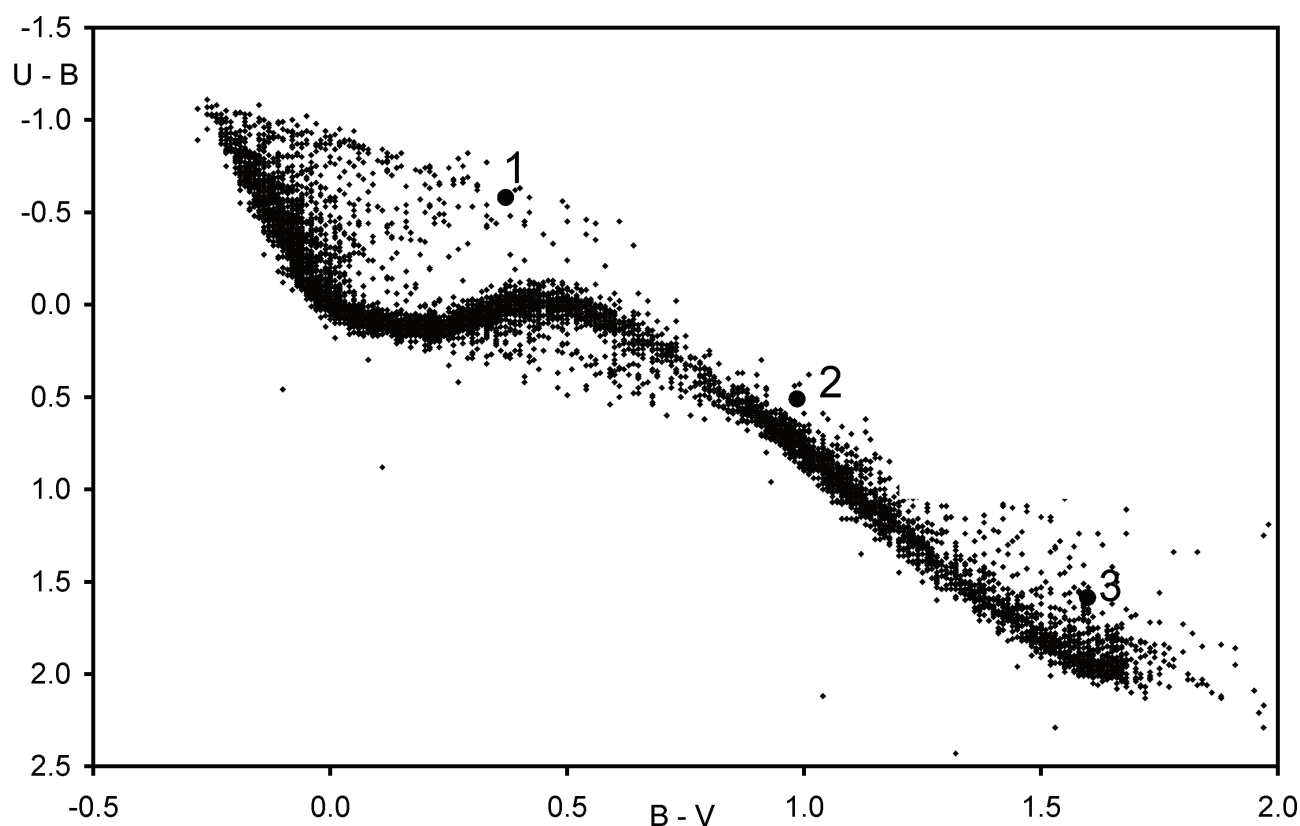
Расположим два спектра друг под другом и отметим в них линии с совпадающими длинами волн и линии, смещенные в спектре звезды 109 Тельца. Среди линий с совпадающими длинами волн можно выделить наиболее сильные и отождествить их со списком, приведенным в условии задачи. Это позволяет восстановить шкалу спектра по длинам волн. Спектр охватывает интервал от 7300 до 7330 ангстрем.

XI. 3

ЯРКИЕ ЗВЕЗДЫ В ПЫЛЕВОМ ДИСКЕ

О.С. Угольников

? На диаграмме показано соотношение показателей цвета $U-B$ и $B-V$ для ярких звезд из каталога BSC (Bright Star Catalog, звезды до 6.5^m в полосе V). Определите расстояние до одиночных звезд 1, 2 и 3 из этого каталога, расположенных в диске Галактики, данные о которых также указаны на диаграмме. Межзвездное поглощение света в окрестностях Солнца в диске Галактики составляет 2^m на 1 кпк в полосе V и меняется с длиной волны как $\lambda^{-1.3}$. Спектральные кривые полос U , B и V показаны на отдельном графике.



$$m = m_0 + E \cdot r; \quad E = 1.086 \cdot K.$$

Получается, что если пыль распределена на луче зрения однородно, то ослабление будет пропорционально длине пути. Обозначим поглощение для длины пути в 1 кпк в полосе V как E_V . По графикам кривых полос U, B и V мы можем определить средние (эффективные) длины волн, соответствующие этим полосам: 3600, 4400 и 5500 ангстрем. Тогда мы можем получить аналогичные значения для других спектральных полос:

$$E_B = E_V (\lambda_B / \lambda_V)^{-1.3} \sim 4/3 E_V,$$

$$E_U = E_V (\lambda_U / \lambda_V)^{-1.3} \sim 7/4 E_V.$$

Так как ослабление зависит от длины волны, оно будет менять показатели цвета звезд:

$$(B-V) = (B-V)_0 + (E_B - E_V) \cdot r = (B-V)_0 + E_V ((\lambda_B / \lambda_V)^{-1.3} - 1) \$$

На рисунке мы видим, что большинство звезд располагается вблизи некоторой кривой, а некоторая часть смещена вправо и вниз, примерно в направлении стрелки, характеризующей межзвездное поглощение. Так как диаграмма построена для наиболее ярких звезд неба, можно сделать вывод, что большая часть этих звезд сравнительно близкие, и межзвездное поглощение невелико. Более далеких звезд, свет которых испытал значительное поглощение, должно быть не так много, так как в качестве таких объектов могут выступать только звезды высокой светимости.

Кривая, к которой группируются большинство звезд, характеризует физическую взаимосвязь двух показателей цвета для звезд разных температур и соответствует нулевому поглощению. Три звезды, подписанные номерами, не находятся на этой кривой, следовательно, влияние поглощения на их яркость и цвет ощутимо. Восстановим положение этих звезд на диаграмме, проведя через них линии, параллельные направлению, указанному в верхней правой части рисунка. Отметим точки пересечения этих линий с кривой, соответствующей нулевому поглощению. Сравнив длину отрезка смещения со стандартной для 1 кпк, мы получим расстояние до звезды.

Расстояние до звезды 1 равно 1 кпк, причем эта звезда –

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

9 класс.....	3
10 класс.....	8
11 класс.....	12

ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР

9 класс.....	19
10 класс.....	26
11 класс.....	31