



ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР



9 класс



IX. 1

НОЧНОЕ НЕБО

Е.Н. Фадеев

? Вам предоставлена фотография звездного неба вблизи северного полюса мира (последняя страница обложки, автор – Александр Павлов), а также таблица с экваториальными координатами некоторых звезд. Определите время экспозиции и масштаб фотографии (в °/см).

Звезда	Прямое восхождение	Склонение	Звезда	Прямое восхождение	Склонение
β Cas	00 ^h 09.2 ^m	+59°09'	γ UMa	11 ^h 53.8 ^m	+53°42'
α Cas	00 ^h 40.5 ^m	+56°32'	δ UMa	12 ^h 15.4 ^m	+57°02'
γ Cas	00 ^h 56.7 ^m	+60°43'	ϵ UMa	12 ^h 54.0 ^m	+55°56'
δ Cas	01 ^h 25.9 ^m	+60°14'	α CVn	12 ^h 56.0 ^m	+38°19'
ϵ Cas	01 ^h 54.4 ^m	+63°40'	ζ UMa	13 ^h 23.9 ^m	+54°56'
α UMi	02 ^h 31.8 ^m	+89°16'	η UMa	13 ^h 47.5 ^m	+49°19'
β Per	03 ^h 08.2 ^m	+40°57'	β UMi	14 ^h 50.7 ^m	+74°09'
α Per	03 ^h 24.3 ^m	+49°52'	γ UMi	15 ^h 20.7 ^m	+71°50'
α Tau	04 ^h 35.9 ^m	+16°31'	β Cyg	19 ^h 30.7 ^m	+27°58'
β Ori	05 ^h 14.5 ^m	-08°12'	δ Cyg	19 ^h 45.0 ^m	+45°08'
γ Ori	05 ^h 25.1 ^m	+06°21'	γ Cyg	20 ^h 22.2 ^m	+40°15'
δ Ori	05 ^h 32.0 ^m	-00°18'	α Cyg	20 ^h 41.4 ^m	+45°17'
ϵ Ori	05 ^h 36.2 ^m	-01°12'	ϵ Cyg	20 ^h 46.2 ^m	+33°58'
α Ori	05 ^h 55.2 ^m	+07°24'	α Cep	21 ^h 18.6 ^m	+62°35'
α Gem	07 ^h 34.6 ^m	+31°53'	β Cep	21 ^h 28.7 ^m	+70°34'
β Gem	07 ^h 45.3 ^m	+28°02'	ϵ Cep	22 ^h 15.0 ^m	+57°03'
β UMa	11 ^h 01.8 ^m	+56°23'	δ Cep	22 ^h 29.2 ^m	+58°25'
α UMa	11 ^h 03.7 ^m	+61°46'	γ Cep	23 ^h 39.3 ^m	+77°38'

! Для определения масштаба фотографии необходимо отождествить треки звезд с реальными звездами на небе. Это может показаться затруднительным из-за того, что звезды выглядят не точками, а черточками. Если сразу очертания созвездий не угадываются, то надо соединять начала или концы треков ярких звезд линиями. Тогда легче увидеть контуры знакомых созвездий. Достаточно надежно отождествляются семь звезд Ковша Большой Медведицы, α^2 Гончих псов или пяти звезд Кассиопеи. При некотором навыке можно найти и другие созвездия (Дракон, Цефей, Лебедь).

Если звезды не очень далеки на небесной сфере друг от друга, то расстояние между ними можно вычислить также, как и расстояние между двумя точками на плоскости. Но нужно учесть, что угловое расстояние между кругами склонений

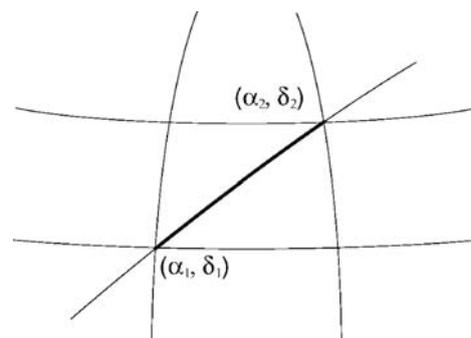


уменьшается как $\cos \delta$ при приближении к полюсу мира. Одной стороной треугольника тогда будет часть круга склонения, а другой стороной – часть суточной параллели звезды. Но дуга суточной параллели со склонением δ_2 будет короче соответствующей дуги суточной параллели со склонением δ_1 . В одном случае мы получим заниженное расстояние между звездами, а в другом, напротив, завышенное. Чтобы получить более точное значение расстояния, можно взять среднее значение склонений звезд. Итого, искомая формула принимает вид

$$l = \sqrt{(\delta_2 - \delta_1)^2 + \left[(\alpha_2 - \alpha_1) \cos\left(\frac{\delta_1 + \delta_2}{2}\right) \right]^2}.$$

Здесь $\alpha_1, \alpha_2, \delta_1, \delta_2$ – прямое восхождение и склонение звезд соответственно.

Нужно выбрать несколько пар звезд и сравнить угловые и линейные расстояния между ними. Не следует выбирать очень близкие звезды, поскольку при этом возрастает ошибка измерений, а также очень далекие, поскольку тогда угловое расстояние на небесной сфере нужно будет вычислять с помощью формул сферической тригонометрии. Разумеется, звезды не должны лежать по разные стороны от полюса мира. Также не следует использовать далеко расположенные звезды на краю кадра, поскольку там максимальна дисторсия камеры. Наиболее удачные пары – те, у которых близки какие-либо координаты: склонение или прямое восхождение.



В некотором приближении в качестве такой звездной пары можно взять Полярную звезду и какую-либо другую звезду в кадре. Считая, что Полярная звезда находится в полюсе мира, мы получаем величину углового расстояния:

$$\lambda = 90^\circ - \delta,$$

где δ – склонение второй звезды в паре. Чтобы точность измерения масштаба была выше и меньше зависела от удаления Полярной звезды от северного полюса мира, нужно взять вторую звезду, далекую от северного полюса мира.

Сделав несколько измерений и усреднив полученное значение, мы получим масштаб изображения M , примерно равный $8.5^\circ/\text{см}$ (при размере фотографии 15.1 см). Для достижения большей точности необходимо делать несколько измерений. Определяемый таким образом масштаб на этой фотографии немного варьируется от одной пары звезд к другой. Это следствие кривизны поля, всегда присутствующей на широкоугольных снимках.

Есть несколько способов определения времени экспозиции. В простейшем случае, надо выбрать трек какой-либо произвольной звезды, и посчитать размер угла, опирающегося на концы этого трека с вершиной в Полярной звезде. Этот угол равен примерно 12° . Значит, за время экспозиции звезда прошла $12/360 = 1/30$ часть своего суточного пути. Экспозиция длилась 0.8 часа или 48 минут. Разумеется, измерений должно быть несколько, с последующим усреднением результата.

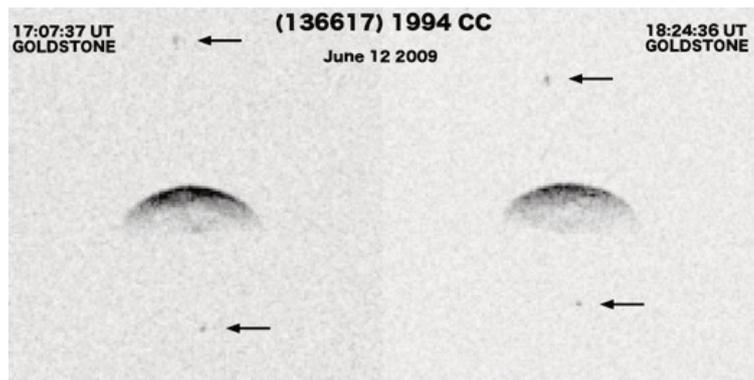
Можно также измерить длину трека какой-либо отождествленной звезды. Пусть она равна X . Тогда угловая дуга трека равна MX . Это смещение соответствует изменению часового угла (то есть времени экспозиции) звезды на $MX/\cos \delta$, где δ – склонение звезды.

IX. 2

СПУТНИК АСТЕРОИДА

А.Н. Акинъщиков

? Вам представлены два изображения астероида 136617 (1994 CC) во время его пролета вблизи Земли (негатив). Указаны дата и всемирное время съемки. На снимках видны два спутника. Известно, что второй спутник (снизу на фото) движется по круговой орбите с радиусом в 5 радиусов астероида и за указанный на фото временной интервал совершил малую часть одного оборота. Считая форму астероида сферической, оцените его среднюю плотность. Угловым перемещением самого астероида за время наблюдений пренебречь.



! Определим величину смещения нижнего спутника на фотографиях в единицах радиуса астероида:

$$d \sim R/3.$$

Во время наблюдений спутник располагается на небе вблизи астероида (а в пространстве, вероятнее всего, перед ним), его

элонгация существенно меньше максимальной. При этом видимое движение происходит фактически в направлении к центру астероида. Поэтому мы можем считать тангенциальную скорость равной орбитальной скорости спутника:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{a}}.$$

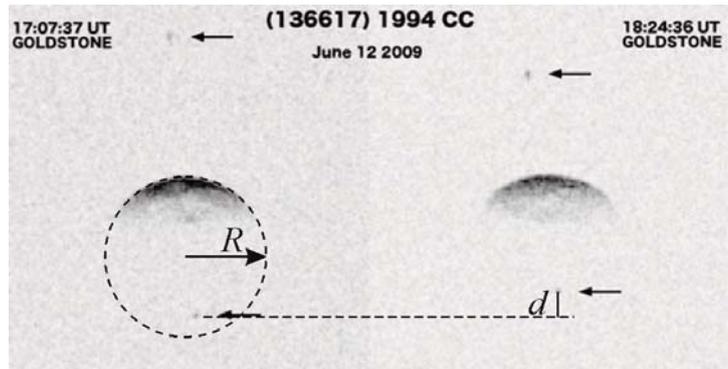
Здесь a – радиус орбиты спутника. Обозначим интервал между двумя моментами съемки (4619 секунд) как t . Тогда

$$d = v \cdot t = \sqrt{\frac{GM}{a}} \cdot t = \sqrt{\frac{4\pi G \rho R^3}{3a}} \cdot t.$$

Здесь ρ – средняя плотность астероида. Отсюда мы можем получить выражение для нее:

$$\rho = \frac{3ad^2}{4\pi GR^3 t^2} = \frac{3}{4\pi G t^2} \left(\frac{a}{R}\right) \cdot \left(\frac{d}{R}\right)^2.$$

Зная отношение $(a/R)=5$ из условия задачи и $(d/R)=1/3$ из сравнения фотографий, получаем значение плотности: около 100 кг/м^3 . Отметим, что такое невысокое значение плотности, более характерное для кометных ядер, связано с предположением о сферичности астероида и вероятным завышением его размеров.



IX. 3 МНОГОЛИКАЯ ЛУНА

О.С. Угольников

? Вам предложены несколько изображений Луны, сделанных с Земли (последняя страница обложки). Определите, на каких из них происходит лунное затмение (в полутеневой или теневой фазе), а на каких затмения нет. Обоснуйте свои ответы.

! Чтобы отобрать те изображения, на которых Луна находится в затмении, выделим основные оптические свойства затмившейся Луны:

1) Красный цвет теневой части, хорошо заметный в полной теневой фазе, с белой каймой во внешней части тени. При этом Луна может иметь желто-красный цвет и вне затмения, если она находится низко над горизонтом;

2) Нерезкие, размытые края тени в частной фазе, в контрасте с резким терми-

натором обычной Луны в неполной фазе с четко заметными особенностями рельефа.

3) Граница имеет форму дуги круга, в отличие от «обычного» терминатора, имеющего форму половины эллипса, проходящего через полюса Луны.

4) Луна может попасть в тень или полутень только в полнолунии вблизи узла своей орбиты, то есть, не имея ощутимой либрации по широте.

Теперь разберем каждое из девяти изображений Луны на рисунке:

1. Луна полная, лимб нигде не содержит резких форм, связанных с рельефом. При этом слева виден край тени, имеющий круглую форму. Луна находится в полутеневом или частном теновом затмении с малой фазой.

2. Край света и тени нерезкий, не отображает рельефа и имеет форму дуги круга, не проходящего через полюса Луны. Это частное теновое затмение.

3. Серп Луны с резким терминатором, проходящим через полюса. На фото обычная растущая Луна, окрашенная в желтый цвет из-за атмосферных условий или эффектов фотосъемки.

4. Данный случай является наиболее сложным из всех представленных. Левая часть диска Луны ослаблена, но профиль не имеет круглой формы. Это потемнение может быть следствием наличия поглощения света в атмосфере или в оптической схеме фотокамеры. Главный признак того, что затмения на этой фотографии нет – ощутимая южная либрация Луны по широте. Это видно по сравнению с фото 1, а также по наличию изрезанного терминатора с формами рельефа у южного края. Такой полная Луна бывает при значительном удалении к северу от эклиптики. Затмение в таких условиях наступить не может.

5. Луна имеет ярко-оранжевый цвет, который может наступить при полном затмении. Однако в данном случае Луна располагается очень низко над горизонтом. На это указывает как далекий профиль земных гор, так и сильное сжатие лунного диска за счет явления рефракции. Луна в полном затмении (точно в противостоянии Солнцу) наблюдалась бы у горизонта на фоне сумеречного неба, и не была бы столь отчетливой (а скорее всего, была бы совершенно невидимой). Более того, Луна окрашена в оранжевый цвет однородно, чего не характерно для тени Земли. Затмения на данном фото нет, а покраснение Луны – следствие ее низкого положения над горизонтом и влияния земной атмосферы. У Луны на этом фото также заметна южная либрация по широте.

6. Луна вновь занимает невысокое положение над горизонтом (над крышей дома). При этом небо светлое, а граница света и тени на Луне не проходит через полюса (освещена южная часть диска Луны, как видно по форме морей). На этом фоне запечатлена Луна в частной фазе тенового затмения.

7. На этом фото Луна выглядит типично для полного затмения – тень красная с белой каймой с одного края. Обычная полная Луна, окрашенная локальным атмосферным ослаблением света, не могла бы быть такой из-за низкого положения над горизонтом. В этом случае ее диск был бы искажен аналогично фото 5.

8. Луна с терминатором в виде половины эллипса с отчетливо заметным рельефом. Это обычная растущая Луна с пепельным светом, вызванным ее освещением Землей. Затмения на фото нет.

9. Терминатор нерезкий. Хотя он и проходит вблизи полюсов Луны, он имеет форму дуги окружности. На фото – частное затмение Луны.

Итак, лунное затмение запечатлено на фотографиях 1, 2, 6, 7 и 9.