



ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР



✎ 9 класс ✎

IX / XI - 1

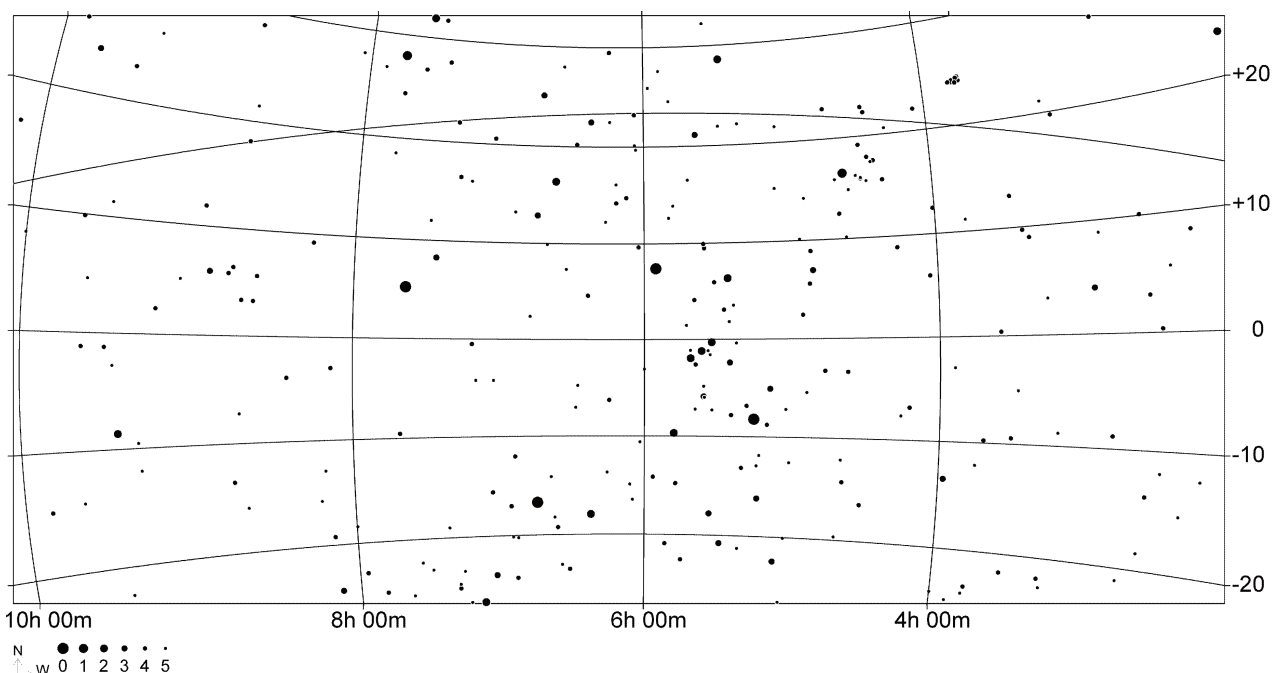
ГОРЫ И ЗВЕЗДЫ

А.М. Татарников

? Выданный вам снимок (негатив, автор – А.Б. Горшков) получен где-то в северном полушарии. Оцените широту места наблюдения, азимут середины кадра, поглощение у горизонта (11 кл). При решении Вы можете воспользоваться прилагаемой звездной картой той же области неба.

! Центральную часть фотографии занимает восходящее созвездие Ориона, расположенное на небесном экваторе. Для ответа на вопрос задачи нужно найти на фотографии линию небесного экватора, пользуясь звездной картой и примечательными объектами, расположенными вблизи экватора (например, звездами Пояса Ориона). Можно также заметить, что в левом верхнем углу снимка, на границе созвездий Тельца и Близнецов, расположена точка летнего солнцестояния S – самая северная точка эклиптики. Участок эклиптики, проходящей через эту точку, параллелен небесному экватору, располагаясь на угловом расстоянии 23.4° от него. Это расстояние обозначим как ε .

Проведем вертикальную линию, проходящую через центр фотографии. Эта линия образует с небесным экватором угол φ , равный 26° . Очевидно, это и есть широта места наблюдения. Будем считать, что математический горизонт совпа-



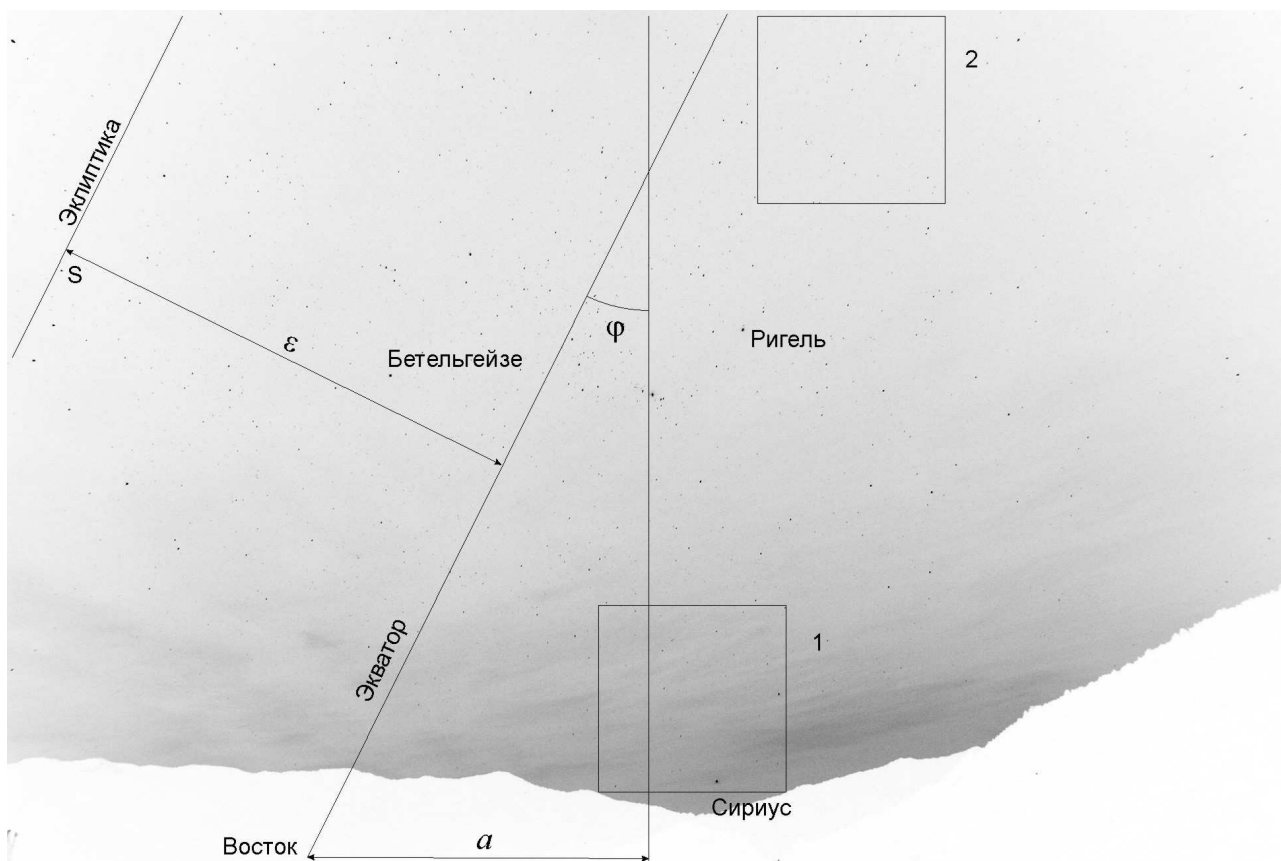


дает с нижним краем снимка. Отложим отрезок горизонта между точками пересечения с вертикальной линией и небесным экватором. Обозначим его как a . Соответствующее угловое расстояние можно определить, сравнив отрезок a с каким-либо другим известным отрезком, например, отрезком ε между экватором и эклипстикой. Угловое расстояние a составляет 16° . Точка пересечения горизонта и небесного экватора – точка востока с азимутом -90° . Соответственно, азимут центра фотографии равен

$$A = -90^\circ + a = -74^\circ.$$

Поглощение у горизонта можно также определять разными способами. Основой для этого можно взять звезду Сириус, восходящую между горами. Сириус – самая яркая звезда ночного неба, с блеском около -1.5^m . Тем не менее, она выглядит на фотографии слабее Ригеля (β Ориона, около 0^m), и примерно так же, как Бетельгейзе (α Ориона, около 0.5^m). Поэтому можно оценить поглощение у горизонта рядом с Сириусом в 2^m .

Если значения блеска звезд неизвестны, то можно использовать и другие методы. Возьмем квадратный участок небесной сферы рядом с Сириусом (квадрат 1) и такой же по размеру квадрат на большой высоте над горизонтом (квадрат 2). Важно, что данные квадраты располагаются на одинаковом угловом расстоянии от Млечного Пути, проходящего через созвездие Ориона. Поэтому можно считать, что при отсутствии поглощения число звезд, видимых в этих квадратах, будет одинаковым. Их примерный подсчет на реальном снимке дает $N_1=40$ для первого квадрата и $N_2=100$ для второго квадрата. Считая, что число звезд с яркостью, большей некоторой величины j пропорционально $1/j$ (что весьма близко



к действительности), получаем, что звезды в квадрате 1 ослаблены в 2.5 раза, то есть на 1^m .

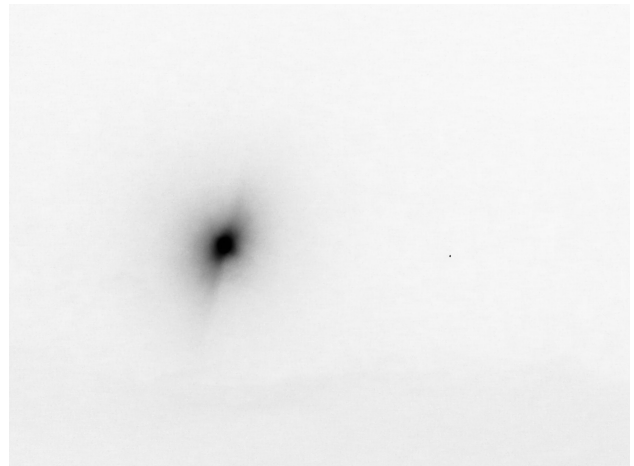
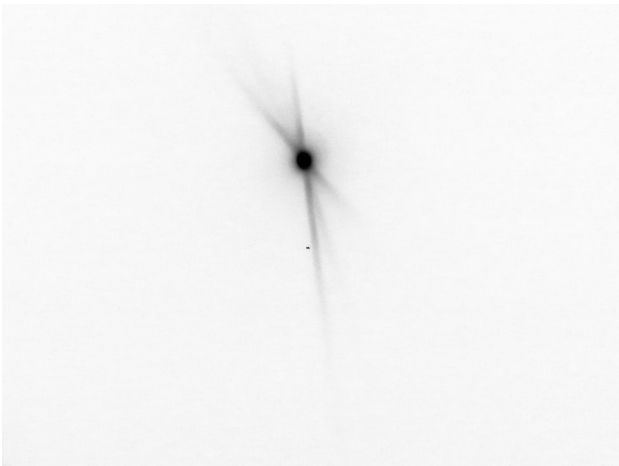
Разница результатов двух методов вычисления поглощения не должна вызывать удивления. Первый метод относится к Сириусу, только появившемуся у горизонта, а второй – усредняет данные по квадрату, центр которого находится на $4-5^\circ$ выше Сириуса. Очевидно, значение поглощения вблизи горизонта существенно зависит от высоты.

IX. 2 ВСТРЕЧА ЛУНЫ И ЮПИТЕРА

О.С. Угольников

? Перед Вами две фотографии Луны и Юпитера (негатив), сделанные в одном масштабе из одного и того же пункта с интервалом в одни сутки. На первом фото Юпитер располагается точно под Луной, на втором – справа от нее. Могло ли где-нибудь на Земле в эти дни наблюдаться покрытие Юпитера Луной?

! Планета Юпитер – достаточно далекая, и ее положение среди звезд за одни сутки меняется мало. Суточное параллактическое смещение Луны на обоих снимках примерно одинаково, так как снимки сделаны с интервалом в целые сутки. Изменение взаимного расположения Луны и Юпитера определяется только движением Луны. Изобразим положения Луны в оба дня и положение Юпитера на рисунке (справа):



По фотографиям (с учетом их одинакового масштаба) мы можем измерить отрезки d_1 и d_2 и определить угол наклона видимой траектории Луны:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{d_1}{d_2} = 21^\circ.$$

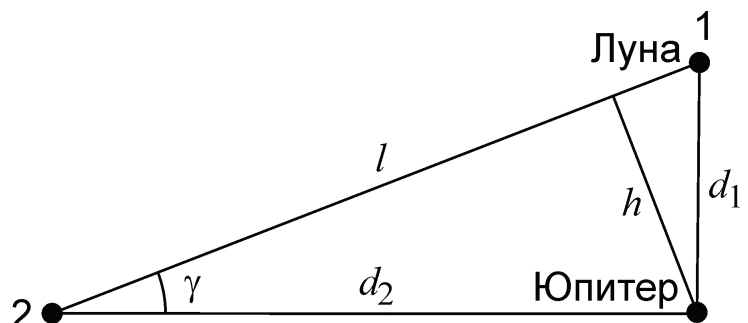
С учетом близости параллактического смещения Луны на двух снимках, ее угловое перемещение за одни сутки составляет

$$l = \frac{360^\circ}{T \text{ (сут)}} = 13.2^\circ.$$

Отсюда мы можем определить минимальное угловое расстояние между Юпитером и точками траектории движения Луны:

$$h = d_2 \cos \gamma = l \sin \gamma \cos \gamma = 4.4^\circ.$$

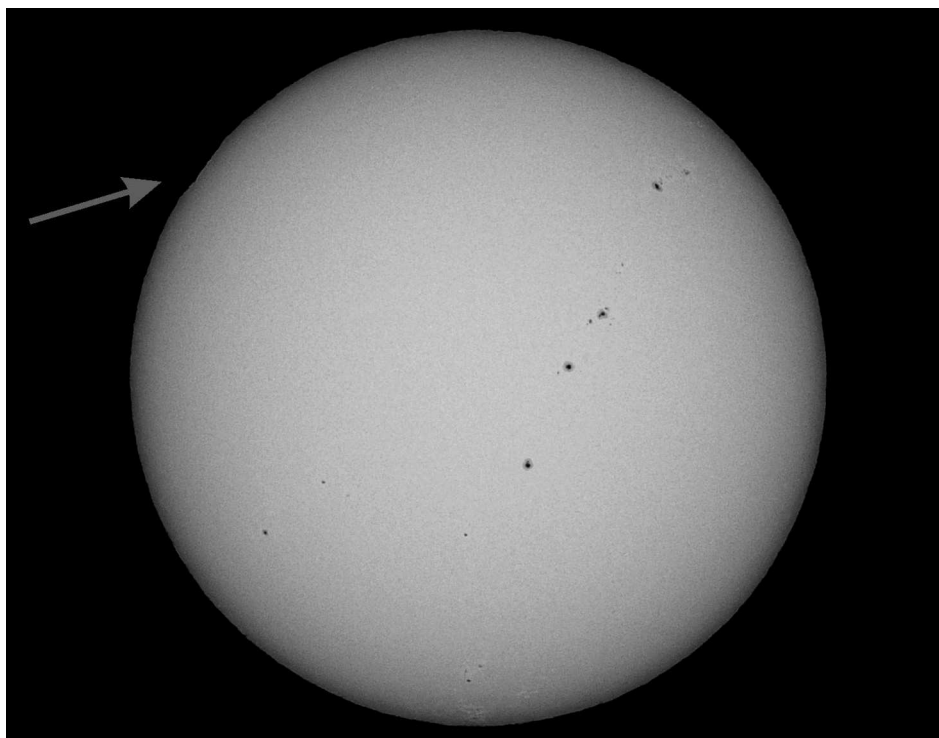
Примерно такое угловое расстояние разделяло Луну и Юпитер во время соединения. Оно значительно больше удвоенного суточного параллакса Луны (около 2°), поэтому вне зависимости от пункта наблюдения покрытие Юпитера Луной в эти дни на Земле не наблюдалось.



IX. 3 МИКРОЗАТМЕНИЕ

О.С. Угольников

? 25 ноября 2011 года Питер Сейерс (Австралия) получил фотографию солнечного затмения с малой фазой на острове Тасмания (см. оборот). Используя наиболее точный, по Вашему мнению, метод, определите по этой фотографии величину фазы частного затмения Солнца.



! По определению, величина фазы частного затмения Солнца равна

$$F = \frac{x}{D},$$

где D – видимый диаметр Солнца, а x – закрытый Луной отрезок диаметра Солнца, лежащий на прямой, проходящей через центры дисков Солнца и Луны.

В ситуации, изображенной на фотографии, отрезок x крайне мал, он сопоставим с размером неровностей изображения Солнца, вызванных, прежде всего, атмосферным искажением. Кроме этого, на фотографии он меньше 1 мм – цены деления линейки. Его можно попытаться измерить напрямую, но точность таких измерений, а значит и оценки фазы затмения, будет низкой.

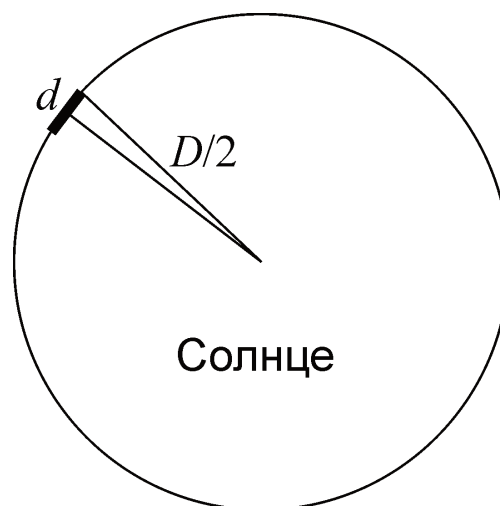
Тем не менее, фазу затмения можно измерить достаточно точно. На фотографии четко видны «зубцы» – места пересечения краев дисков Солнца и Луны. Можно измерить расстояние между ними d , оно получается равным 0.10 от видимого диаметра Солнца.

Рассмотрим также увеличенную схему области контактов дисков Солнца и Луны (справа) и учтем, что их видимые размеры практически одинаковы. В этом случае для половины отрезка x справедливо равенство

$$\frac{x}{2} = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}.$$

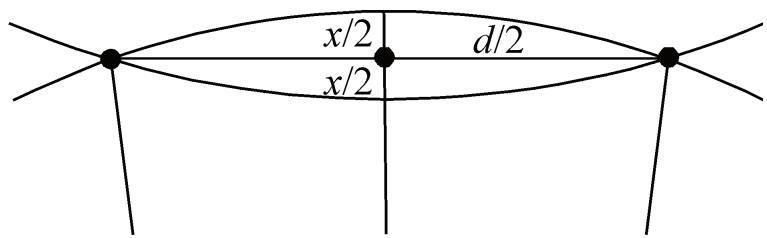
Отсюда

$$x = D - \sqrt{D^2 - d^2} \approx \frac{d^2}{2D}.$$



Фаза частного солнечного затмения равна

$$F = \frac{x}{D} \approx \frac{d^2}{2D^2} = 0.005.$$

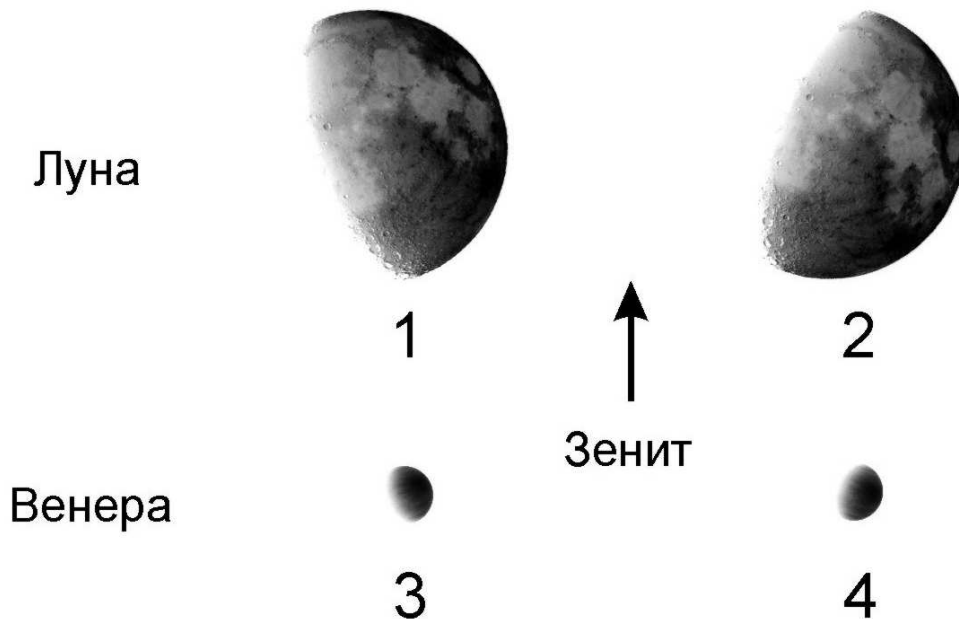


X. 1

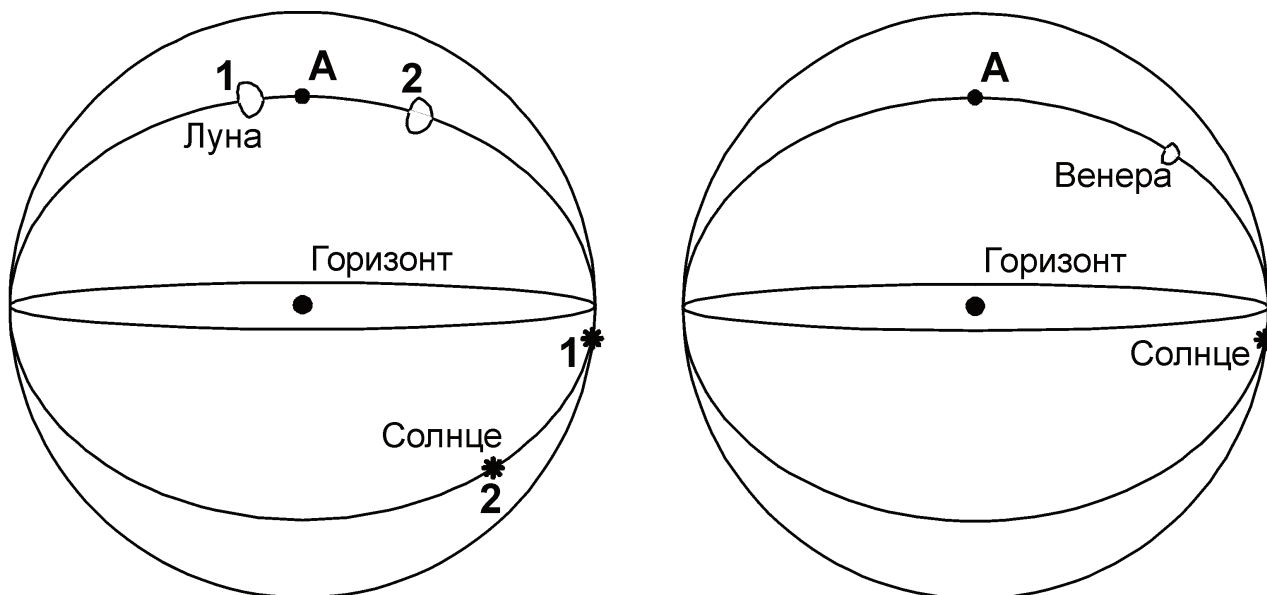
ЛИК ЛУНЫ И ЛИК ВЕНЕРЫ

О.С. Угольников

? Вам предложены четыре фотографии Луны и Венеры (негатив) в фазе, большей 0.5, ориентированные горизонтально (направление на зенит соответствует стрелке вверх). Какие из этих четырех конфигураций могут иметь место на темном небе (Солнце под горизонтом), а какие – нет?



! На рисунке показаны Луна и Венера в практически одинаковых фазах, больших 0.5, яркая выпуклость дисков которых наклонена вверх или вниз. Луна – естественный спутник Земли, находящийся значительно ближе к нам, чем Солнце. Луна имеет фазу 0.5, располагаясь практически точно в 90° на небе от Солнца. Если же фаза больше 0.5 – угловое расстояние от Солнца до Луны превышает 90°, но меньше 180°, если только фаза не равна единице. Венера – внутренняя планета, находящаяся существенно дальше от Земли. На нашем небе она не уходит от Солнца дальше, чем на 47°.



Рассмотрим взаимное расположение Солнца, Венеры и Луны на небе Земли. Проведем большой круг через Солнце и Луну, которые не находятся на горизонте. Этот круг (близкий к эклиптике) будет пересекать горизонт в некоторых двух точках. Посередине между ними, в самой высокой точке этого круга (точке А) он будет перпендикулярен вертикали – направлению на зенит. Угловое расстояние между Солнцем и Луной больше 90° , поэтому она может находиться на небе как левее точки А (ранним вечером, положение 1), так и правее нее (положение 2). А вот Венера находится на небе недалеко от Солнца, и в темное время суток будет находиться правее точки А. Поэтому ночью возможно увидеть конфигурации, показанные на фото цифрами 1, 2 и 4, но нельзя увидеть Венеру в конфигурации 3.

Х. 2 ПОЛЯРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

А.Н. Акинъчиков

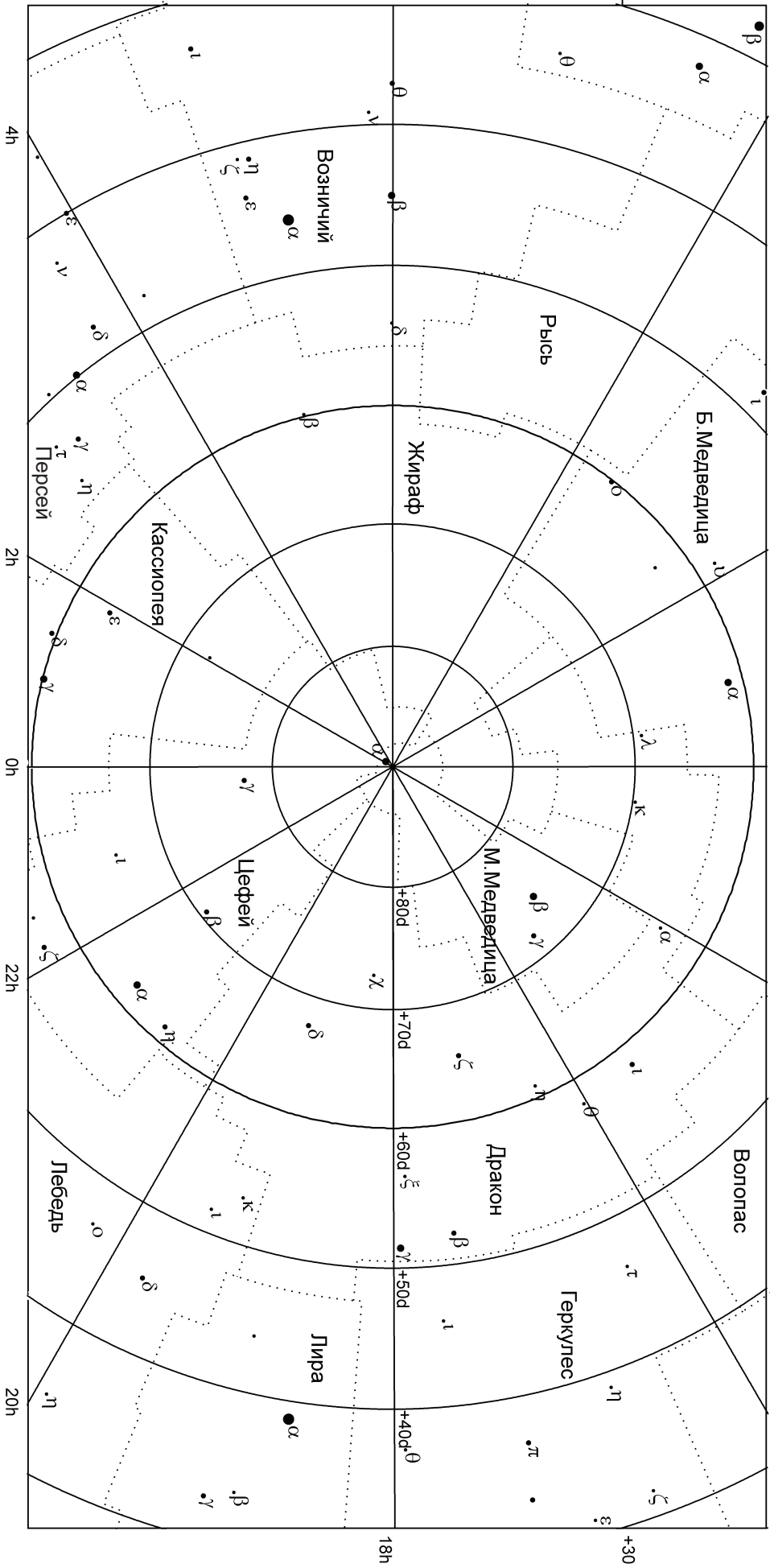
? Перед Вами звездная карта околополярной области неба со звездами до 4^м. Определите, какие из этих звезд и в какое время в пределах ближайших 10 тысяч лет в прошлом и будущем можно назвать «Полярными»? «Полярной» считается звезда, ближайшая из всех звезд карты к текущему положению Северного полюса мира. Считать величину прецессии и наклона экватора к эклиптике постоянными. Собственными движениями звезд пренебречь.

! Изменение текущего положения полюса мира обусловлено прецессией – вращением оси Земли вокруг оси орбиты Земли. Если считать прецессию и наклон экватора к эклиптике постоянными величинами, то полюс мира будет описывать окружность вокруг полюса эклиптики. Зная координаты полюса эклиптики (прямое восхождение 18ч, склонение $+66.6^\circ$), изобразим эту окружность.

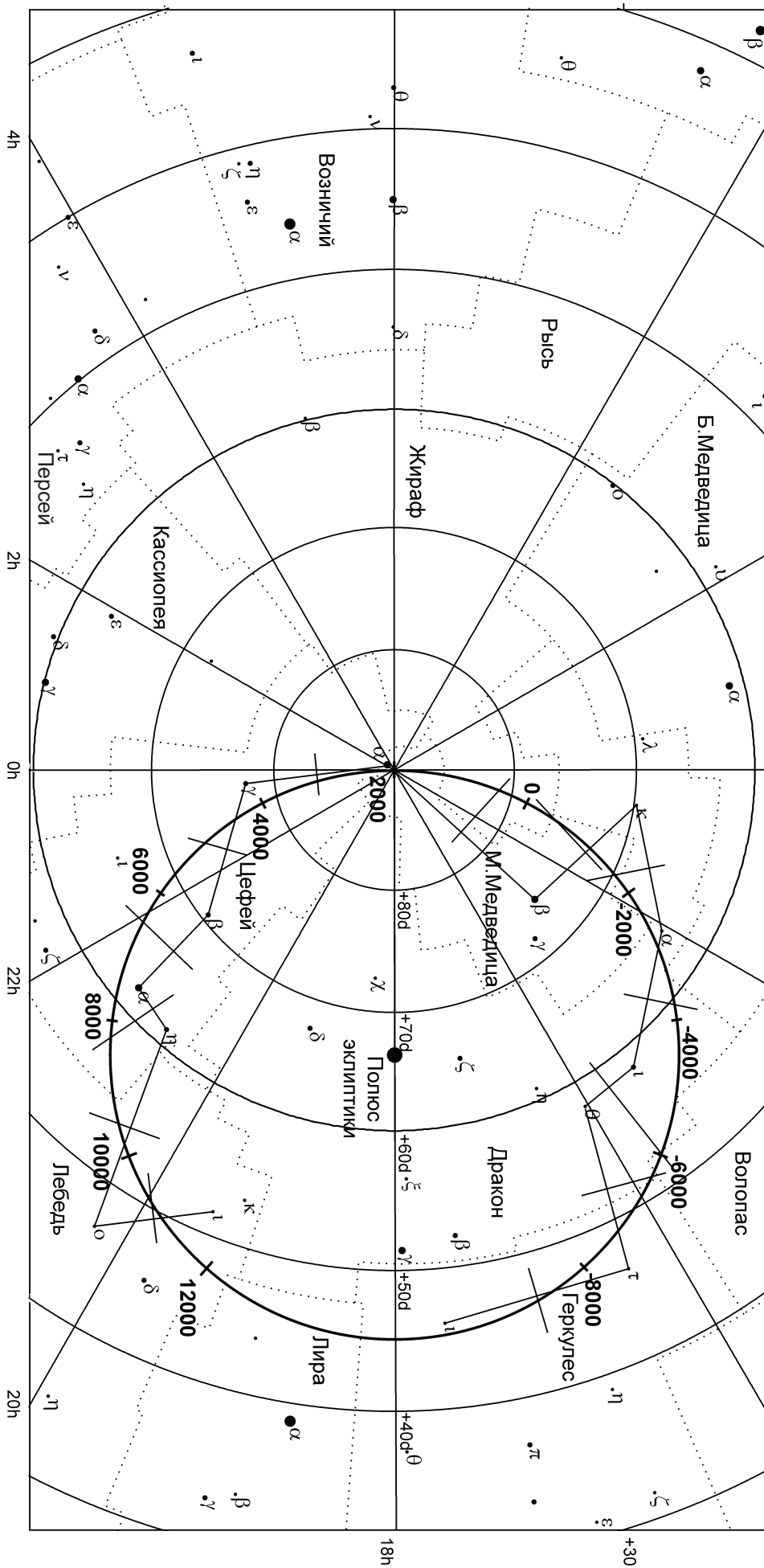
Полюс мира движется против часовой стрелки с периодом в 26000 лет. Исходя из этого, мы можем отметить его положения в интересующий интервал времени (10 тысяч лет в прошлое и будущее, т.е. от -8000 до 12000 года).

Практический тур – 10 класс

- -
 -
 -
 -
- 0 1 2 3 4



- ● ● ● ●
- 1 2 3 4



В задаче нам нужно узнать, какая из приведенных на карте ярких звезд будет ближайшей к полюсу мира в тот или иной момент времени. Это достаточно просто сделать графически. Для этого нужно определить те звезды, которые являются ближайшими к разным частям выделенной окружности. Далее эти звезды последовательно соединяются отрезками, к которым проводятся серединные перпендикуляры. Пересечение этих перпендикуляров с окружностью, показывающей движение полюса мира, указывает моменты, когда роль «Полярной» будет переходить от одной звезды к другой. Сделав измерения на карте, мы получаем временные интервалы, во время которых различные звезды являются «Полярными»:

С	До	Звезда
–8000 г.	–6300 г.	τ Геркулеса
–6300 г.	–6000 г.	θ Дракона
–6000 г.	–3800 г.	ι Дракона
–3800 г.	–1600 г.	α Дракона
–1600 г.	–500 г.	κ Дракона
–500 г.	400 г.	β Малой Медведицы
400 г.	3100 г.	α Малой Медведицы
3100 г.	5000 г.	γ Цефея
5000 г.	6500 г.	β Цефея
6500 г.	8200 г.	α Цефея
8200 г.	9600 г.	η Цефея
9600 г.	10700 г.	\omicron Лебеда
10700 г.	12000 г.	ι Лебеда

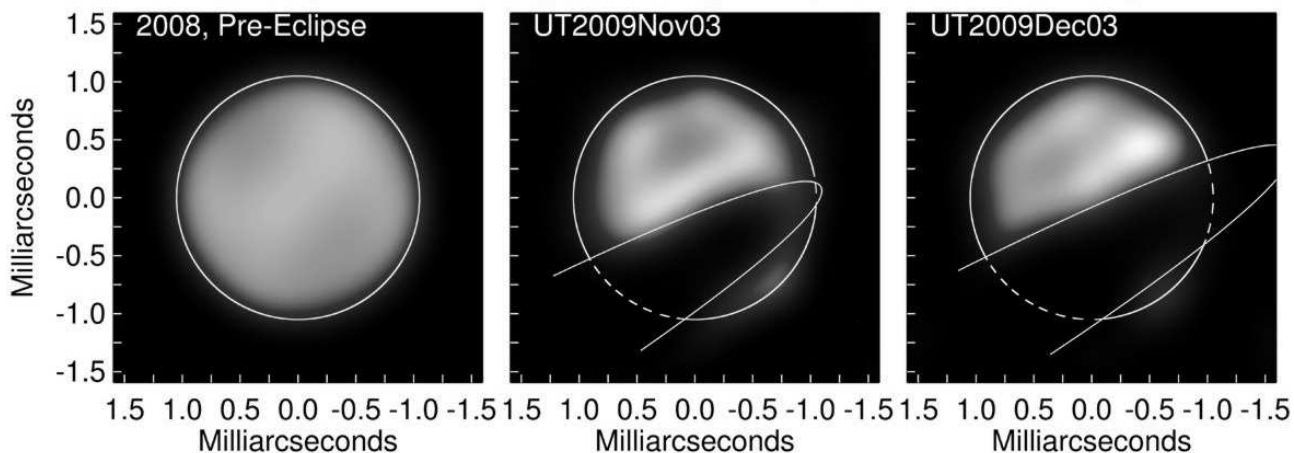
Х. 3

ПЫЛЕВОЙ ДИСК

А.М. Татарников, О.С. Угольников

? Затменная переменная система ϵ Возничего состоит из звезды 3^m и невидимого компонента, окруженного тонким пылевым диском цилиндрической формы (высота цилиндра существенно меньше его радиуса). Звезда удалена от Солнца на 600 пк. С 17 августа 2009 года до 13 мая 2011 года продолжалось затмение оптической звезды диском. На фотографиях (на обороте) показаны изображения звезды в 2008 году (до затмения), 3 ноября и 3 декабря 2009 года. Изображения получены на основе интерферометрических наблюдений на оптической сети телескопов CHARA (США). На картину наложены положения краев пылевого диска. Угловые единицы по координатным осям – миллисекунды дуги ($10^{-3}''$). Исходя из этой картины, оцените минимальную массу пылевого диска. Считать, что диск состоит из черных пылинок радиусом 1 мкм и плотностью 1 г/см^3 , пылинки задерживают свет по законам геометрической оптики.

Epsilon Aurigae Eclipse (CHARA-MIRC)



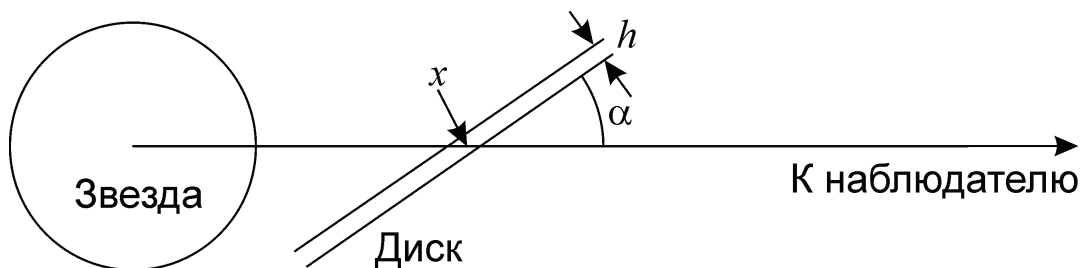
По интерферометрическим изображениям мы можем определить видимый диаметр оптического компонента системы звезды δ , он составляет $2.2 \cdot 10^{-3}''$. Умножая его на расстояние до звезды (600 пк), получаем ее диаметр d , выраженный в астрономических единицах – 1.3 а.е.

По изображениям 3 ноября и 3 декабря 2009 года мы видим, что диск виден с Земли как эллипс и движется практически вдоль своей большой оси. В реальности диск круглый, и его видимая эллиптическая форма объясняется эффектом проекции на небесную сферу. Сравнивая положения диска на двух фотографиях, получаем величину его перемещения относительно звезды за 1 месяц. Оно составляет примерно $1/3$ от видимого диаметра звезды. 3 ноября правый край диска практически совпадает с лимбом звезды. В конце затмения (13 мая 2011 года), эта же точка лимба совпадет с левым краем диска. Следовательно, вся видимая большая ось диска пройдет через данную точку лимба за 18 месяцев, и его длина составляет 6 угловых диаметров звезды. Из этого следует, что пространственный диаметр диска L в 6 раз больше диаметра звезды и составляет около 8 а.е.

Области звезды, закрытые пылевым диском, выглядят существенно потемневшими (или даже совсем черными). Из этого мы можем сделать вывод, что лучи звезды, идущие к нам сквозь пыль, встречаются как минимум с одной пылинкой. Рассмотрим взаимное расположение звезды, пылевого диска и наблюдателя.

Зная, что диск имеет круглую форму и измерив малую ось его изображения на небе l ($0.6d$ или $0.1L$, соответствующая пространственная длина составляет 0.8 а.е.), получаем величину угла наклона плоскости диска к лучу зрения:

$$\alpha = \arcsin \frac{l}{L} = 6^\circ.$$



Практический тур – 10 класс

Обозначим толщину диска через h . Тогда длина пути лучей сквозь диск составит

$$x = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{hL}{l}.$$

Если радиус пылинки равен r , то число пылинок на луче зрения будет равно их числу в цилиндрической трубке длиной x и радиусом основания r . Если концентрация пылинок равна n , то данное число составит

$$T = nx \cdot \pi r^2 = \frac{\pi nhLr^2}{l}.$$

Как было сказано выше, число T не меньше единицы. Тогда для концентрации справедливо неравенство:

$$n \geq \frac{l}{\pi hLr^2}.$$

Диск имеет радиус $(L/2)$ и толщину h . Общее число пылинок в нем:

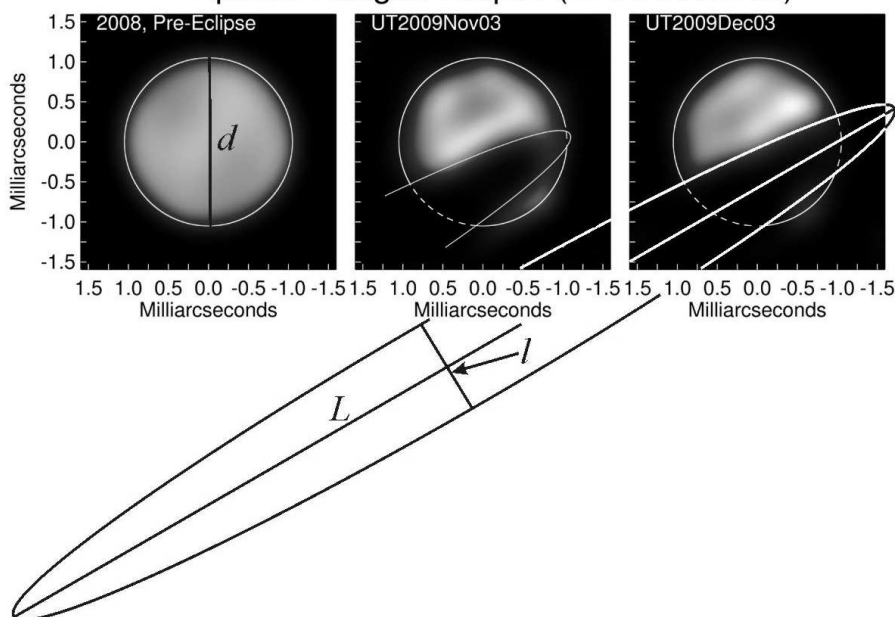
$$N = \frac{\pi L^2 h}{4} n \geq \frac{lL}{4r^2}.$$

Интересно, что число в правой части неравенства не зависит от толщины диска и составляет лишь отношение его видимой площади к видимой площади пылинки. Данное неравенство можно было также получить, считая, что видимых площадей всех пылинок должно быть достаточно, чтобы покрыть весь диск по отношению к лучу зрения. Наконец, масса диска не меньше, чем

$$M = \frac{4}{3} \pi r^3 N \geq \frac{\pi \rho l L r}{3}.$$

Минимальная масса равна всего $1.5 \cdot 10^{20}$ кг или $2.5 \cdot 10^{-5}$ масс Земли. Реальная масса диска на несколько порядков больше, так как он еще менее прозрачен, и на луче зрения оказывается большое число пылинок.

Epsilon Aurigae Eclipse (CHARA-MIRC)

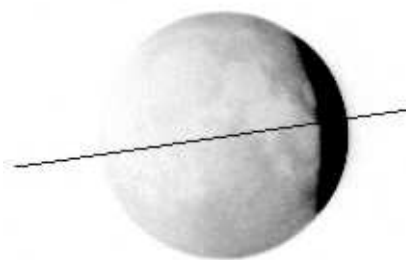


XI. 2 ТЕМНАЯ ЛУНА

О.С. Угольников

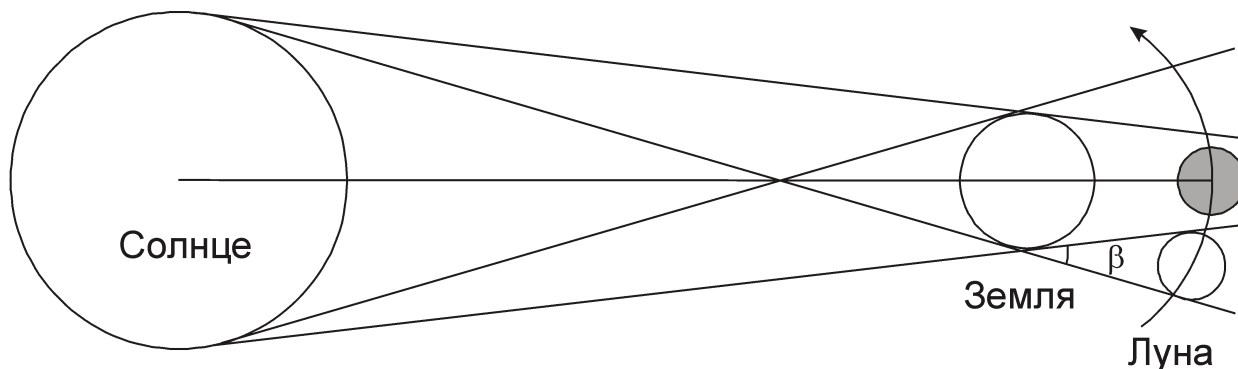
? Вам предложены фотография (негатив) и «фотометрический срез» диска Луны по диаметру (вдоль линии, показанной на фотографии), одновременно полученные С.А. Коротким в САО РАН незадолго до начала полной фазы лунного затмения 15 июня 2011 года. Для удобства срез представлен в двух масштабах по относительной яркости. Считая, что яркость диска Луны в полутени линейно возрастает от внутренней до внешней границы, оцените звездную величину Луны в тот момент, когда она полностью войдет в тень Земли.

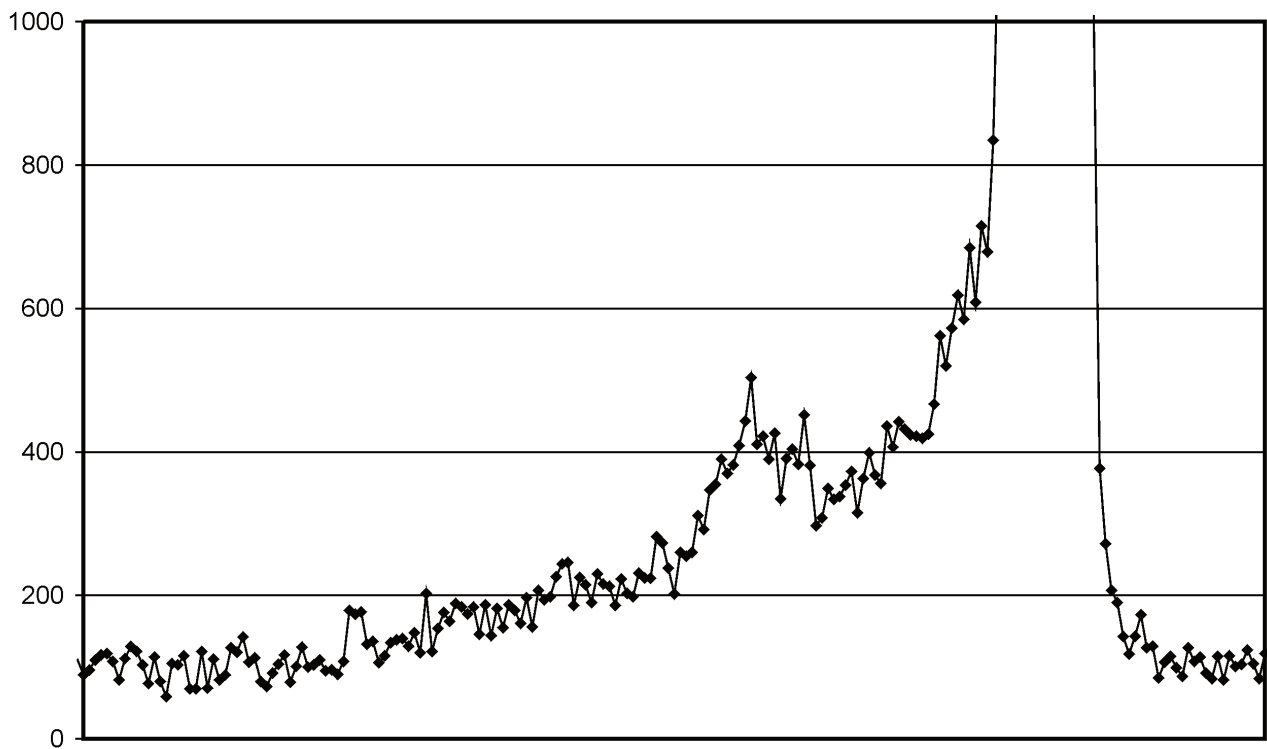
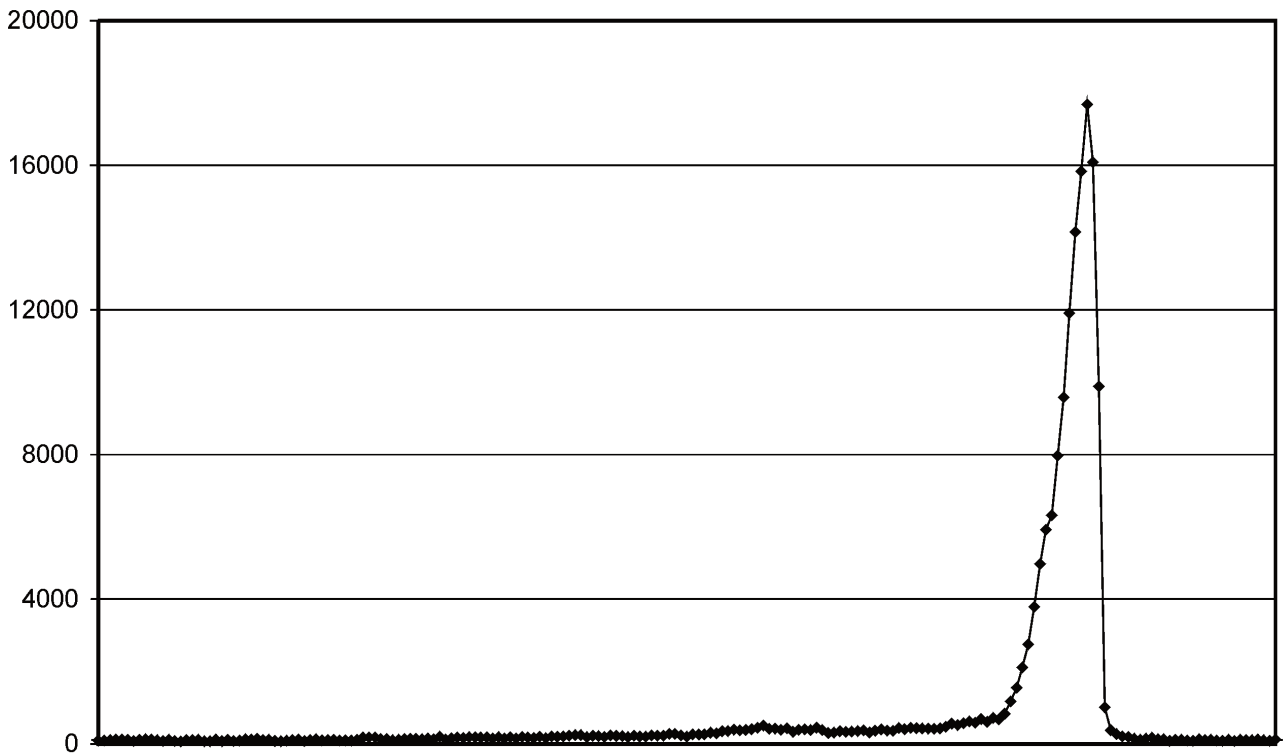
! Рассмотрим схему лунного затмения. Земля отбрасывает конус тени в сторону, противоположную Солнцу. Этот конус окружен полутенью, в которой солнечный свет ослаблен частично, его количество (по предположению в условии задачи) линейно возрастает от края тени к внешнему краю полутени. Как видно из рисунка, кольцо полутени при наблюдении с Земли имеет угловую толщину β , равную видимому диаметру Солнца. Видимый диаметр Луны, видимый с Земли, примерно такой же, поэтому начало теневой фазы лунного затмения практически совпадает с полным вступлением Луны в полутень Земли.



В ситуации, описанной в условии задачи, Луна в значительной степени погрузилась в тень Земли, и только ее западная часть остается во внутренних областях полутени. Определим фазу теневого затмения. Это можно сделать по самой фотографии, но подобные измерения затруднены сильной засветкой полутеневой части Луны. Более точно это можно сделать по графикам.

Отмечая края диска Луны и тени, получаем, что фаза теневого затмения F составляет 0.87. Яркий край Луны отстоит от тени на $(1-F)$, т.е. на 0.13 часть диаметра Луны и такую же часть толщины полутени. В соответствии с предположением в условии задачи, поверхностная яркость этого края равна



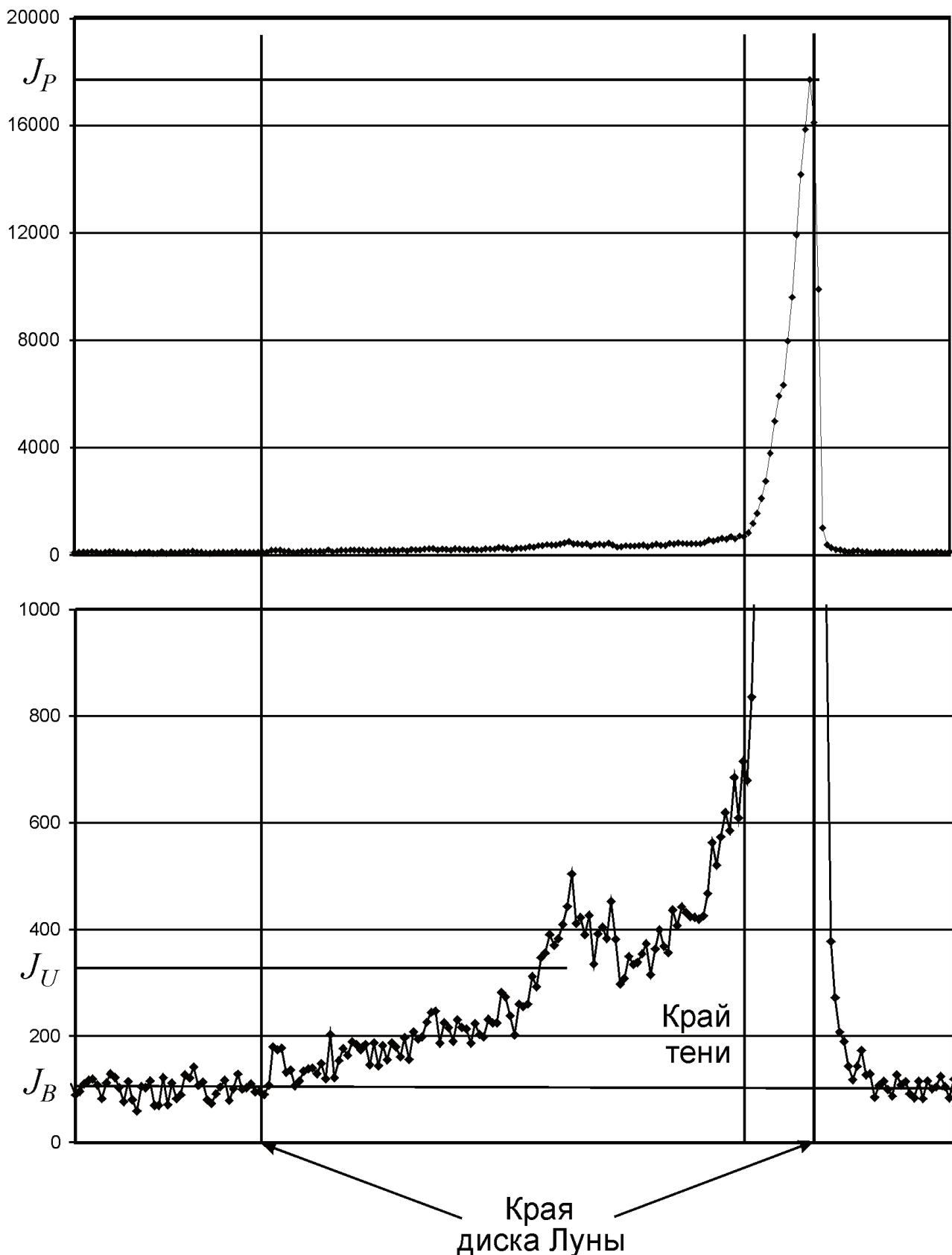


$$J_p = J_0(1 - F),$$

где J_0 – поверхностная яркость Луны вне затмения. Отсюда мы можем оценить эту величину в единицах, указанных в графиках:

$$J_0 = \frac{J_p}{1 - F} = 140000.$$

Здесь мы пренебрегли фоном J_B , поскольку он значительно слабее свечения Луны в полутени. Для поверхности Луны, погружившейся в тень, влияние фона уже ве-



лико. Поверхностная яркость Луны в тени существенно меняется, но для оценки мы можем взять характерную среднюю величину J_U , указанную на рисунке. После вычитания фона получаем

$$J_{U0} = J_U - J_B = 230.$$

Зная блеск полной Луны, вычисляем ее звездную величину в полной фазе затмения по формуле Погсона:

$$m_U = -12.7 - 2.5 \lg \frac{J_{U0}}{J_0} \approx -6.$$

К ответу необходимо добавить, что реальные измерения проводились в красной области спектра, где блеск Луны ослабляется не так сильно, как для более коротких длин волн, и даже в полной фазе затмения Луна остается достаточно яркой.

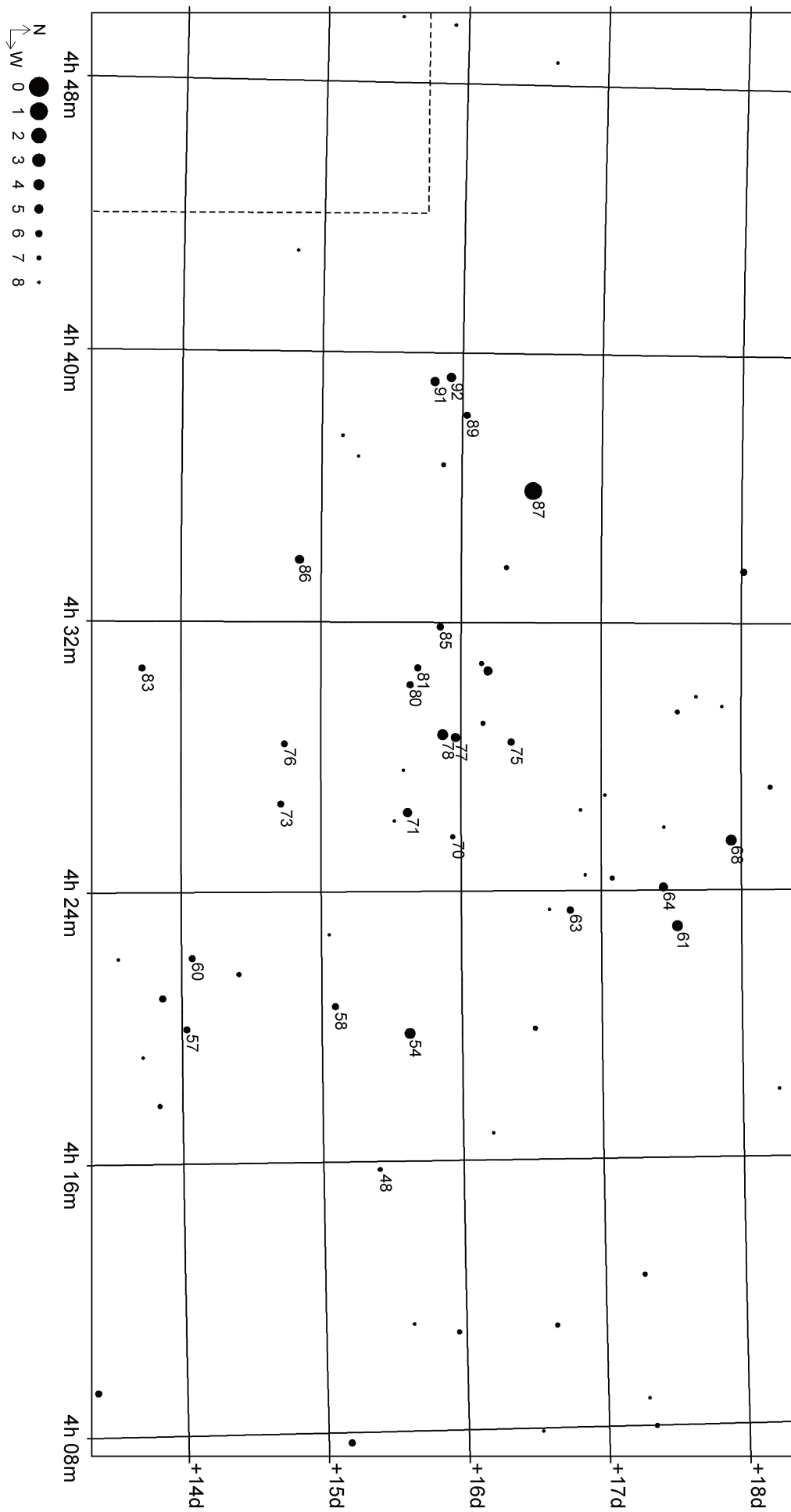
XI. 3 ЛЕТЯЩИЕ ГИАДЫ

А.Н. Акинъчиков

? Перед Вами карта части созвездия Тельца со звездным скоплением Гиалды (см. оборот). Наиболее яркие звезды подписаны номерами по каталогу Флемстида. В таблице для некоторых звезд приведены координаты, величины собственных движений и лучевых скоростей. Обозначьте звезды, не принадлежащие скоплению, а также определите расстояние до Гиалды.

Номер по Флемстиду	$\alpha(2000.0)$			$\delta(2000.0)$			$\Delta\alpha \cos\delta$	$\Delta\delta$	v_R
	ч	м	с	°	'	"	"/год	"/год	км/с
48	04	15	46.3	+15	24	02	+0.116	-0.029	+36
54	04	19	47.6	+15	37	39	+0.115	-0.025	+39
57	04	19	57.7	+14	02	07	+0.116	-0.021	+42
58	04	20	36.3	+15	05	43	+0.108	-0.024	+36
60	04	22	03.5	+14	04	38	+0.113	-0.026	+41
61	04	22	56.1	+17	32	33	+0.107	-0.030	+39
63	04	23	25.0	+16	46	38	+0.104	-0.028	+35
64	04	24	05.8	+17	26	38	+0.110	-0.038	+39
68	04	25	29.4	+17	55	41	+0.108	-0.028	+35
70	04	25	37.3	+15	56	27	+0.107	-0.028	+38
71	04	26	20.8	+15	37	06	+0.112	-0.023	+38
73	04	26	36.4	+14	42	49	-0.002	-0.033	+32
75	04	28	26.4	+16	21	35	+0.006	+0.028	+18
76	04	28	23.4	+14	44	27	+0.108	-0.024	+44
77	04	28	34.5	+15	57	44	+0.103	-0.027	+40
78	04	28	39.7	+15	52	15	+0.103	-0.025	+40
80	04	30	08.6	+15	38	17	+0.102	-0.024	+30
81	04	30	38.9	+15	41	31	+0.103	-0.023	+39
83	04	30	37.3	+13	43	28	+0.106	-0.023	+39
85	04	31	51.8	+15	51	06	+0.101	-0.027	+36
86	04	33	50.9	+14	50	40	+0.103	-0.027	+40
87	04	35	55.2	+16	30	33	+0.063	-0.190	+54
89	04	38	09.4	+16	02	00	+0.093	-0.023	+38
91	04	39	09.2	+15	47	59	+0.039	-0.072	+19
92	04	39	16.5	+15	55	05	+0.083	-0.018	+36

XIX Всероссийская олимпиада школьников по астрономии



Изобразим стрелками на звездной карте направления собственных движений звезд, сделав длины стрелок пропорциональными модулям собственных движений (см. оборот). По этому рисунку видно, что собственные движения большинства звезд близки друг к другу, лишь у четырех звезд они заметно отличаются. Это звезды 73 Тельца, 75 Тельца, 87 Тельца (она же Альдебаран или α Тельца) и 91 Тельца. По таблице мы можем видеть, что и лучевые скорости данных звезд заметно отличаются от лучевых скоростей остальных звезд. Эти четыре звезды не являются членами звездного скопления Гиады, и проецируются на их фон лишь случайно.

У остальных звезд собственное движение похоже как по направлению, так и по величине. Близкие значения имеют и лучевые скорости звезд. Из этого мы можем сделать вывод, что они принадлежат звездному скоплению Гиады. Лучевые скорости звезд положительны, то есть Гиады от нас удаляются.

При более внимательном рассмотрении можно увидеть, что собственные движения не совсем параллельны, они сходятся под небольшим углом. Это есть следствие эффекта перспективы, аналогичного метеорному потоку, только в данном случае объекты удаляются, и их видимые движения сходятся в точке антиапекса, показывающего направление движения звезд относительно наблюдателя в пространстве.

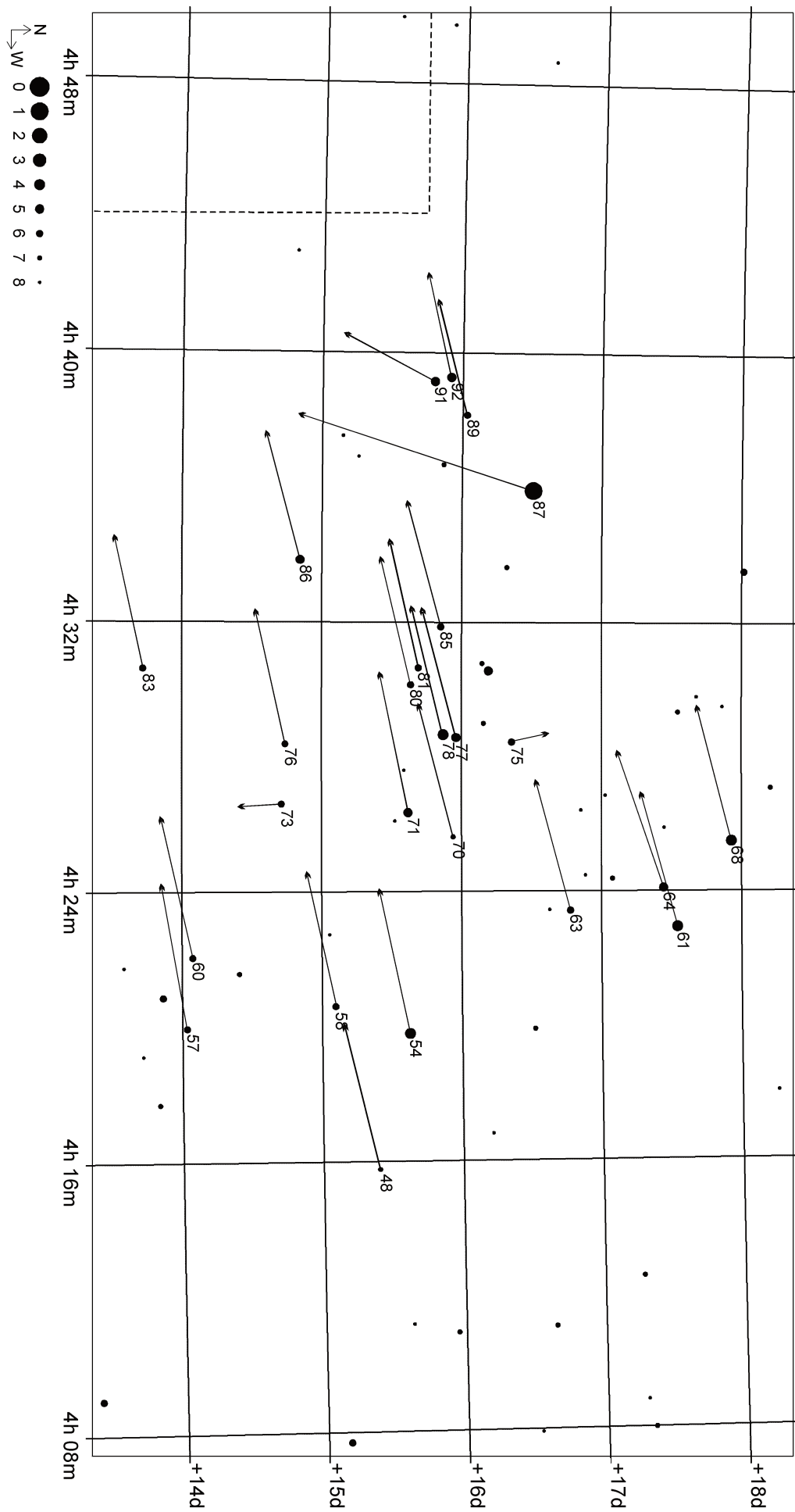
Положение антиапекса на небе можно определить графически, продолжая линии собственного движения звезд на карте. В данном случае это не совсем удобно, так как антиапекс будет располагаться далеко за пределами карты. Более того, все собственные движения звезд, строго говоря, не сходятся в одной точке, так как кроме движения со всем скоплением в пространстве, звезды имеют собственные («пекулярные») скорости внутри скопления. Они могут быть особенно заметными для нескольких звезд, возможно испытавших тесные сближения с соседними звездами в ходе своей эволюции. Поэтому мы можем определить лишь характерное положение антиапекса на основе данных о движении указанных звезд.

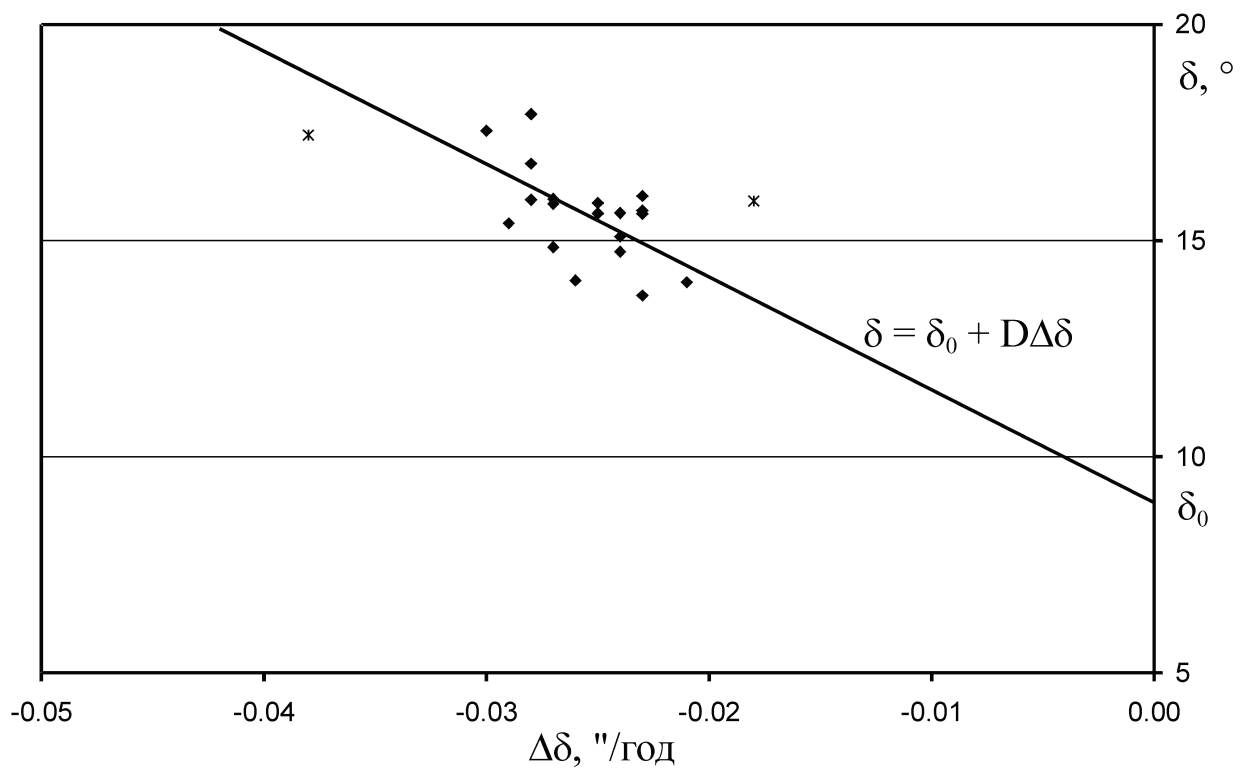
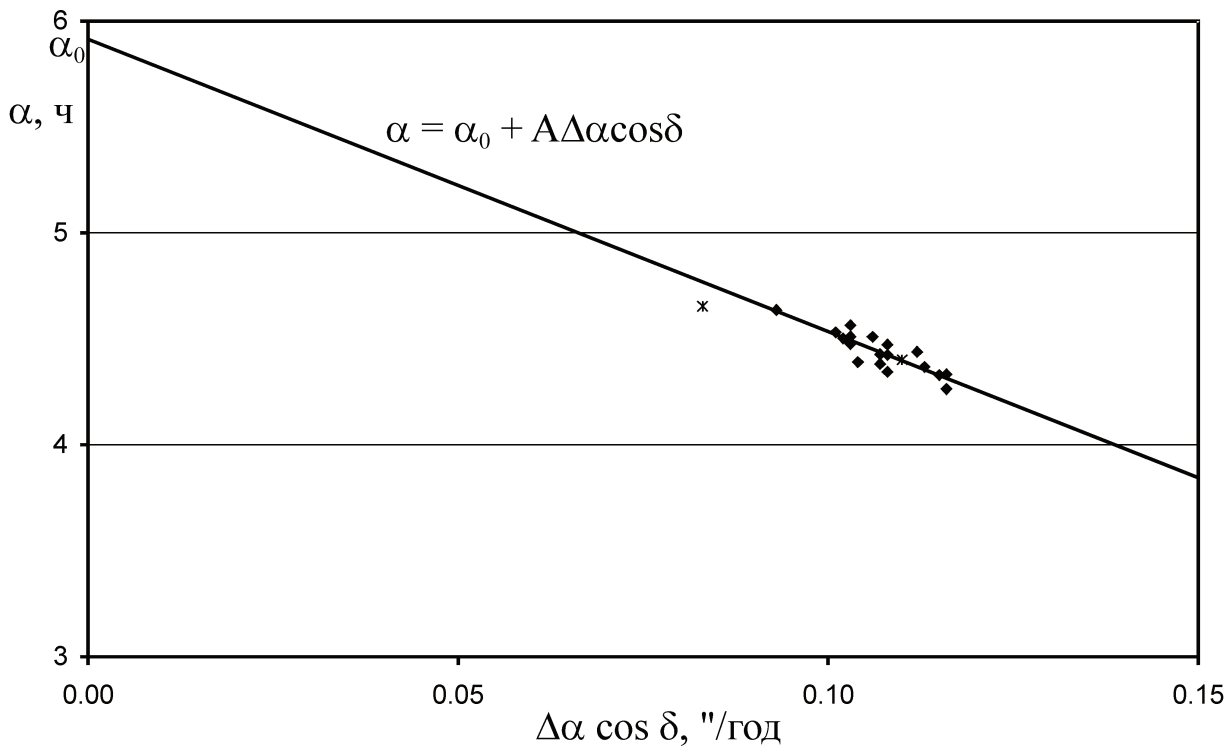
Эту задачу можно решить более строго, без графических построений за пределами карты. Нанесем на диаграмму значения прямых восхождений звезд и их собственных движений по прямому восхождению (см. оборот). Аналогичная диаграмма строится и для склонений. Мы видим, что большинство звезд располагаются вблизи прямой линии, однако две из них заметно отклоняются (64 и 92 Тельца, собственное движение первой из них характеризуется заметным отличием по обеим координатам). Данные, соответствующие этим звездам, обозначены звездочками. Через остальные точки (ромбики) проводятся прямые линии, соответствующие линейным зависимостям, также записанным на диаграммах. Из них мы получаем координаты α_0 и δ_0 , соответствующие нулевым собственным движениям:

$$\alpha_0 = 5.9\text{ч}; \delta_0 = +9^\circ.$$

Это есть координаты антиапекса, который можно найти и графическим путем. Данная точка находится вблизи продолжений линий собственных движений звезд. Она располагается на небе недалеко от самих Гиад, что позволяет нам рассматривать картину как плоскую и пользоваться подобными линейными соотноше-

XIX Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

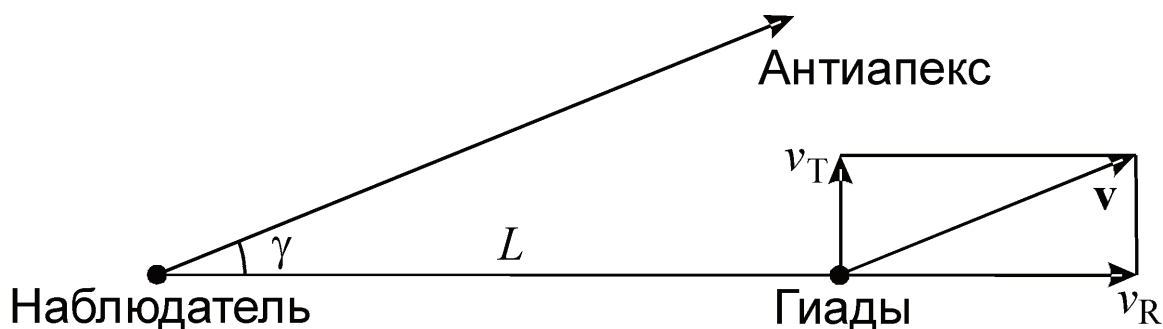




ниями. Приняв в качестве видимого центра Гиад точку с координатами $\alpha = 4.5\text{ч}$; $\delta = +16^\circ$, определим расстояние между центром Гиад и антиапексом:

$$\gamma = \sqrt{(\alpha - \alpha_0)^2 \cos^2((\delta + \delta_0)/2) + (\delta - \delta_0)^2} = 22^\circ.$$

Изобразим схему движения Гиад относительно наблюдателя. Обозначим полное собственное движение центра Гиад как μ . Для него справедливо соотношение:



$$\mu = \sqrt{(\Delta\alpha \cos \delta)^2 + \Delta\delta^2} = \frac{v_T}{L},$$

где v_T – тангенциальная скорость центра Гиад, а L – расстояние до него. С другой стороны,

$$v_T = v_R \operatorname{tg} \gamma.$$

Отсюда получаем:

$$L = \frac{v_R \operatorname{tg} \gamma}{\mu}.$$

Нам удобно выразить величину L в парсеках ($206265 \cdot 1.5 \cdot 10^8$ км), v_R – в километрах в секунду, а μ – в угловых секундах (206265^{-1} радиан) в год ($3.156 \cdot 10^7$ секунд). Тогда получаем:

$$L(\text{пк}) \cdot 206265 \cdot 1.5 \cdot 10^8 = \frac{v_R(\text{км/с}) \operatorname{tg} \gamma \cdot 206265 \cdot 3.156 \cdot 10^7}{\mu(\text{''/год})};$$

$$L(\text{пк}) = \frac{v_R(\text{км/с}) \operatorname{tg} \gamma \cdot 3.156 \cdot 10^7}{\mu(\text{''/год}) \cdot 1.5 \cdot 10^8} = \frac{v_R(\text{км/с}) \operatorname{tg} \gamma}{4.74 \cdot \mu(\text{''/год})};$$

Лучевая скорость центра скопления составляет +39 км/с, собственное движение – 0.106''/год. Расстояние до Гиад получается равным 30 пк. Это в полтора раза меньше истинного значения, что связано с большой ошибкой определения координат антиапекса по малому количеству звезд.