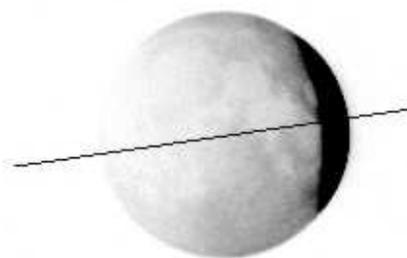


XI. 2 ТЕМНАЯ ЛУНА

О.С. Угольников

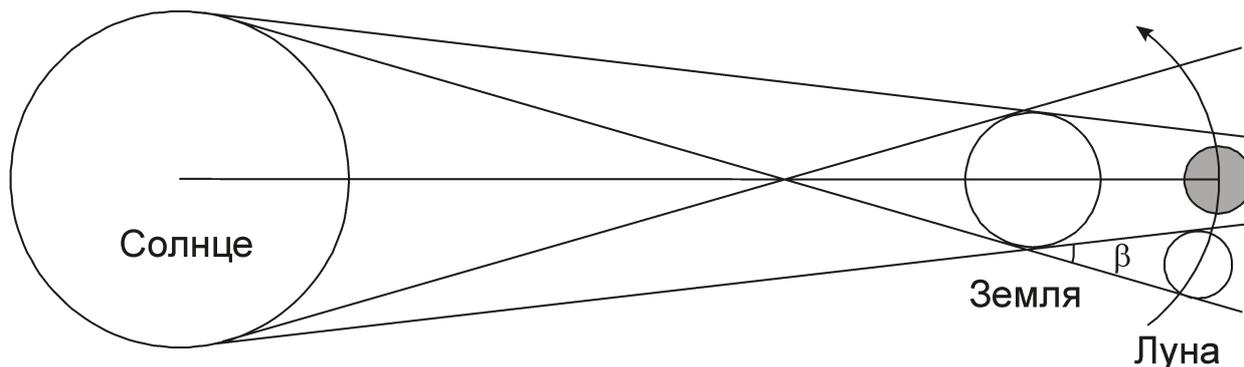
? Вам предложены фотография (негатив) и «фотометрический срез» диска Луны по диаметру (вдоль линии, показанной на фотографии), одновременно полученные С.А. Коротким в САО РАН незадолго до начала полной фазы лунного затмения 15 июня 2011 года. Для удобства срез представлен в двух масштабах по относительной 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.

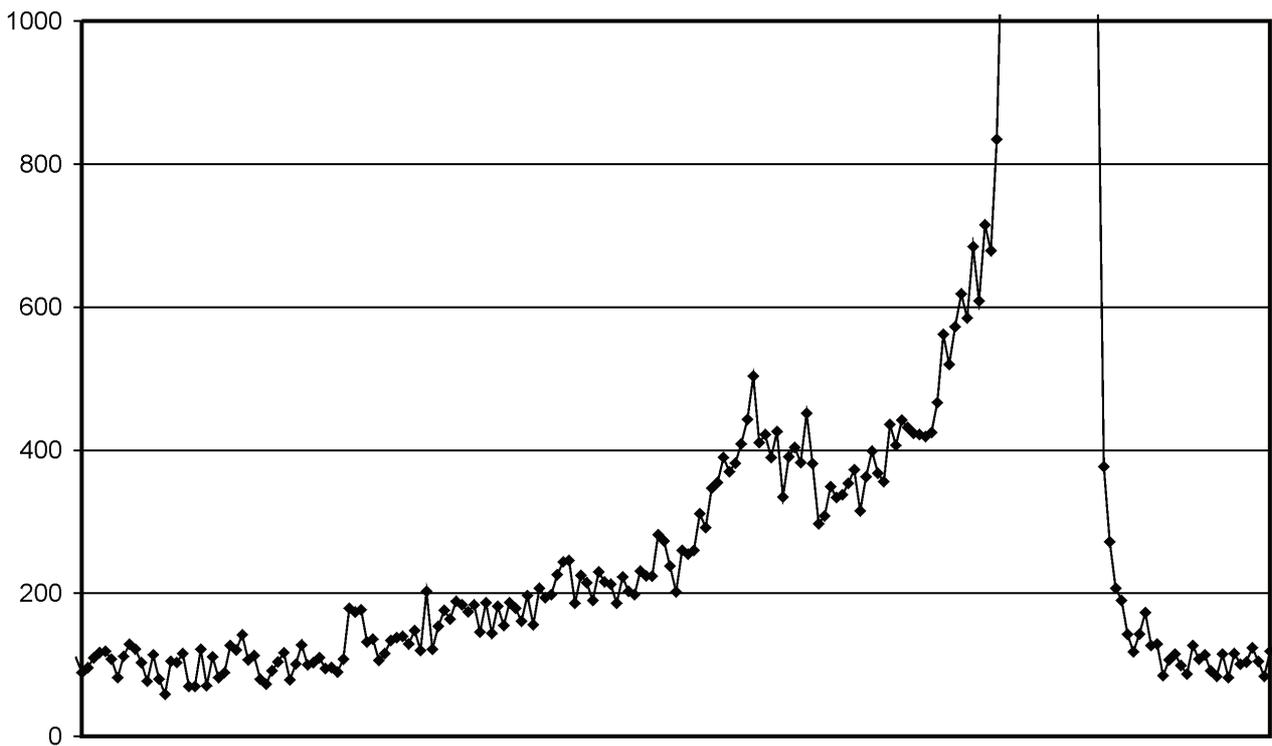
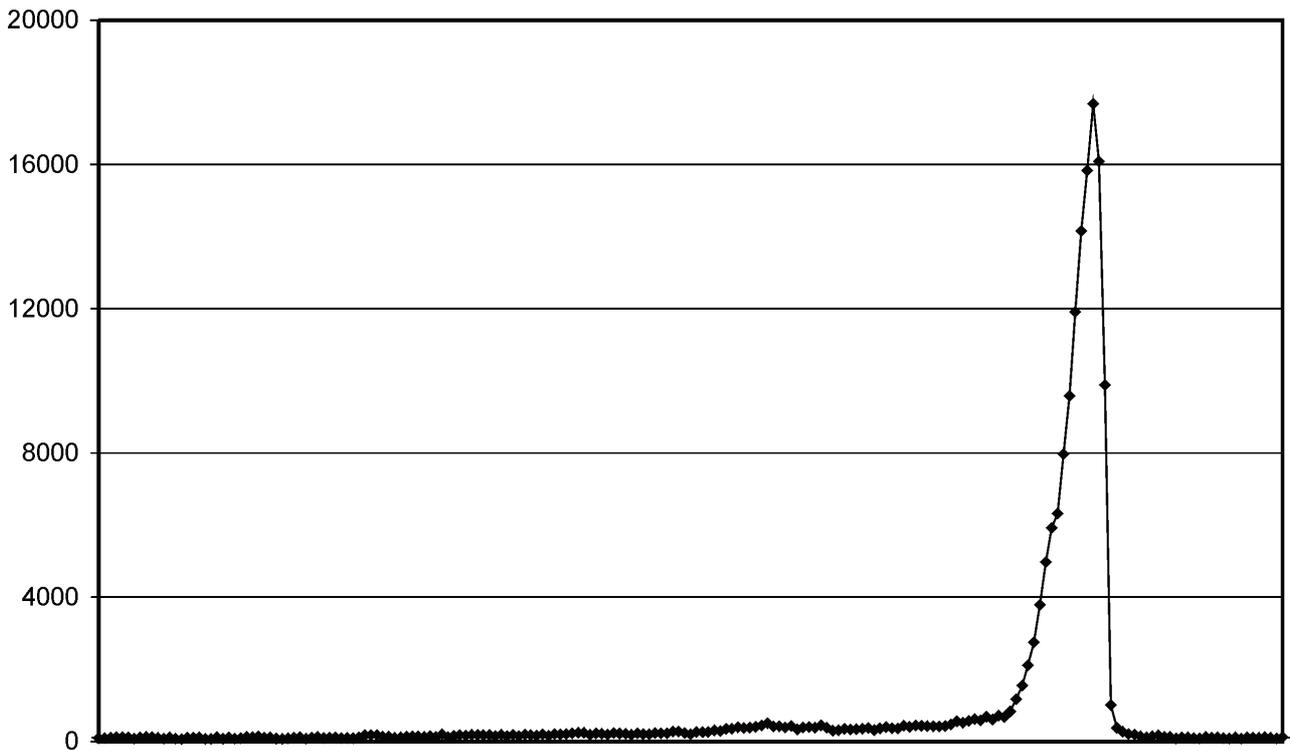
! Рассмотрим схему лунного затмения. Земля отбрасывает конус тени в сторону, противоположную Солнцу. Этот конус окружен полутенью, в которой солнечный свет ослаблен частично, его количество (по предположению в условии задачи) линейно возрастает от края тени к внешнему краю полутени. Как видно из рисунка, 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 погружена 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



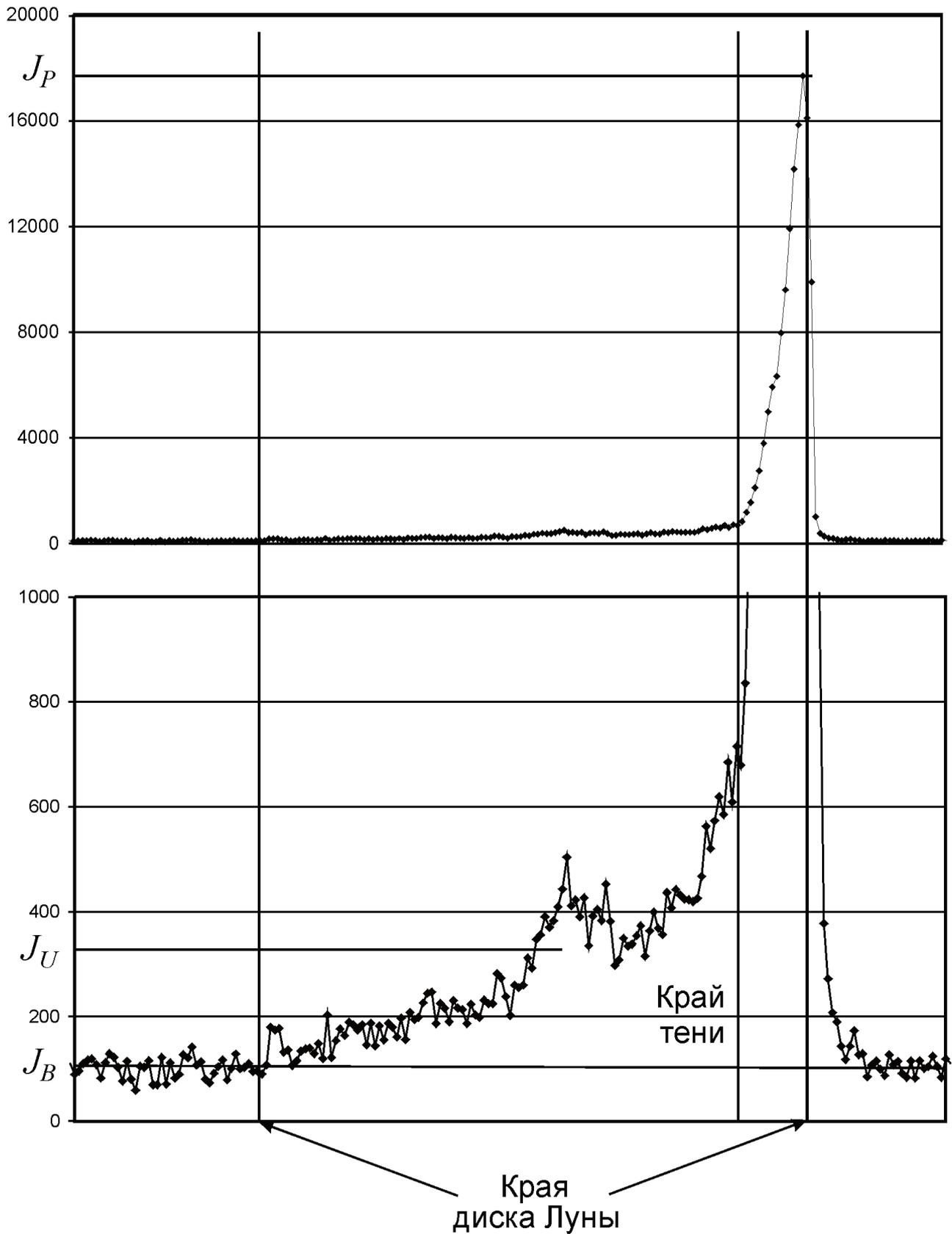


$$J_p = J_0(1 - F),$$

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.

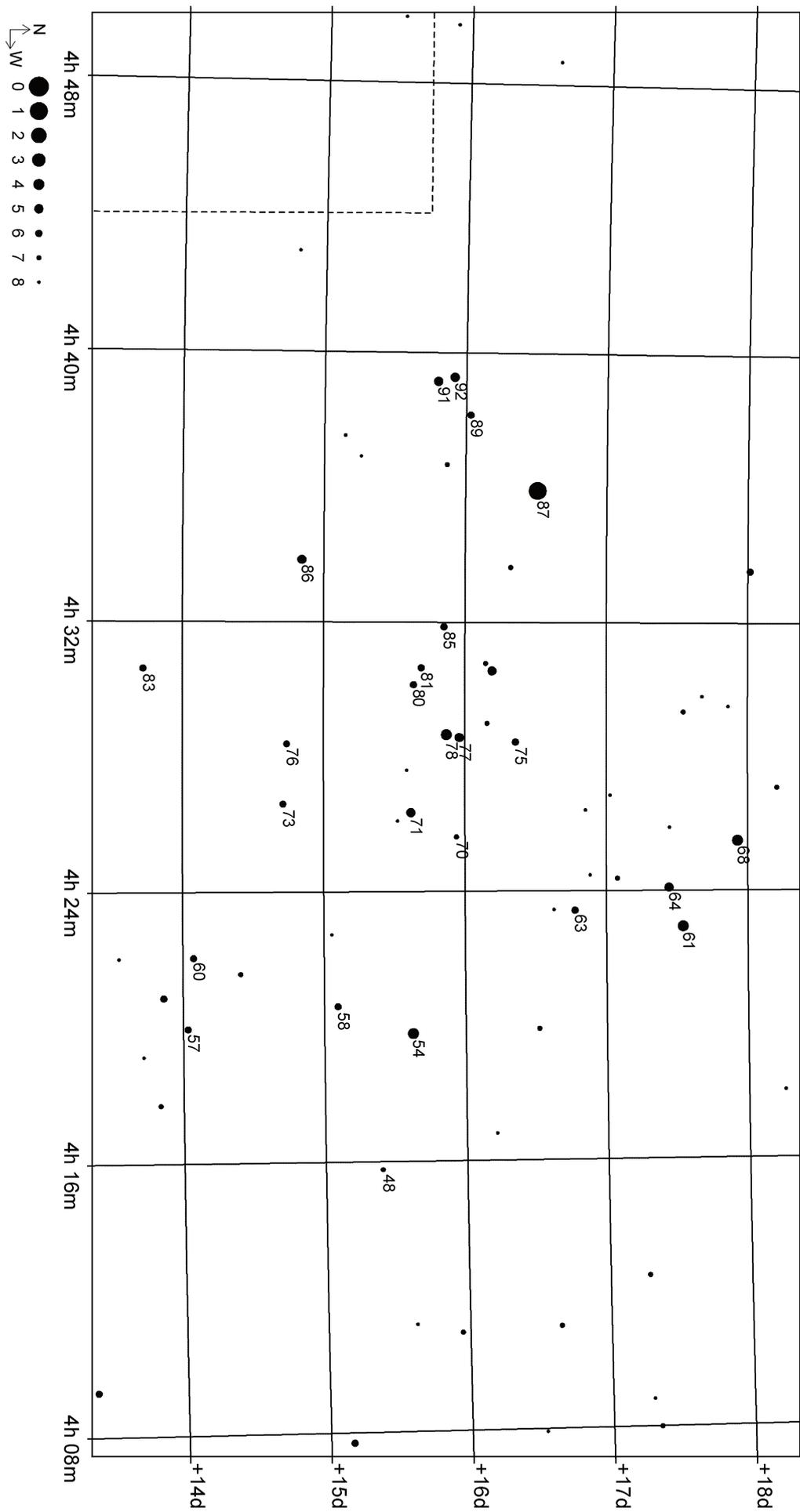
XI. 3 ЛЕТЯЩИЕ ГИАДЫ

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.

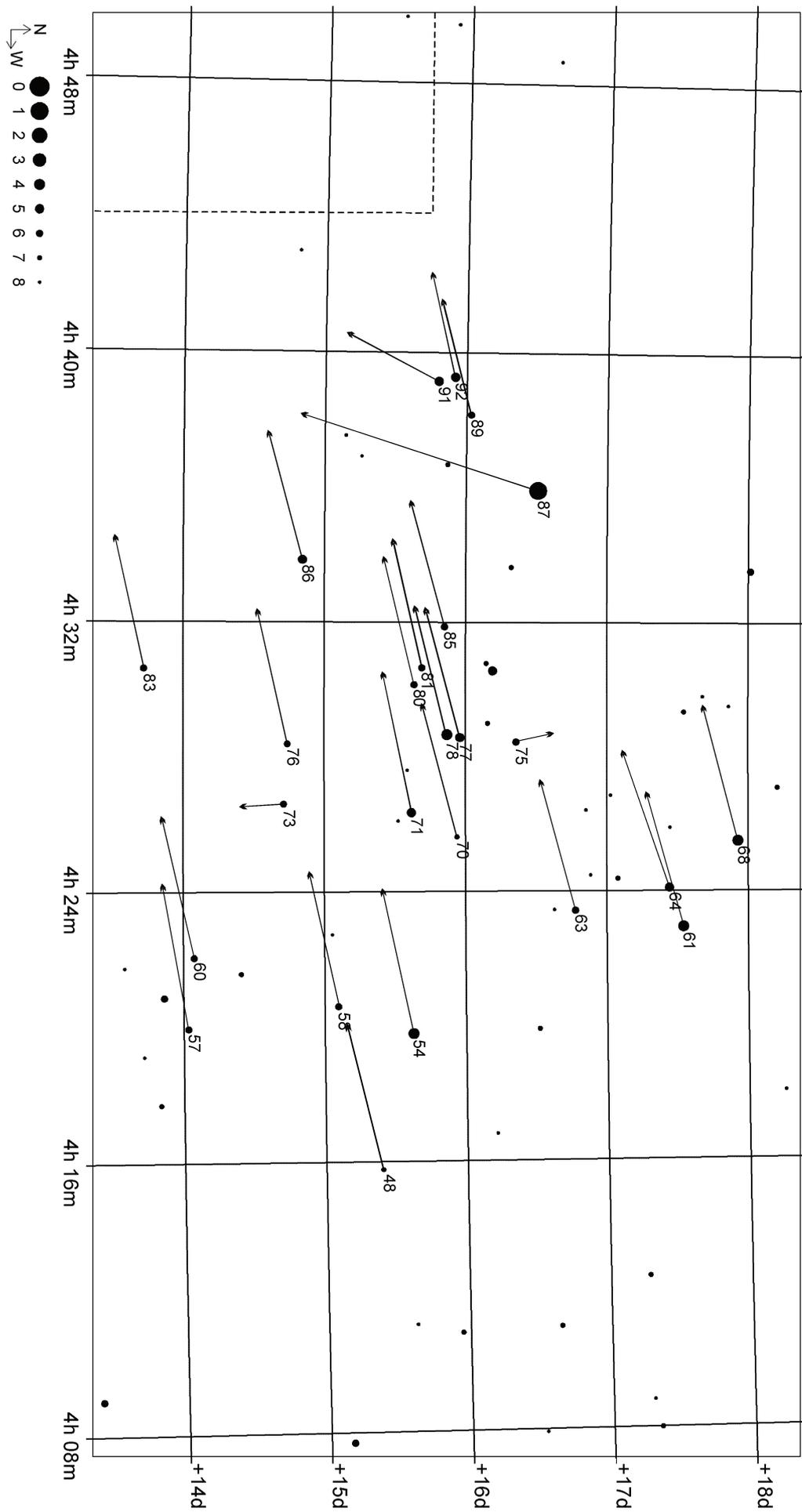
Положение антиапекса на небе можно определить графически, продолжая линии собственного движения звезд на карте. В данном случае это не совсем удобно, так как антиапекс будет располагаться далеко за пределами карты. Более того, все собственные движения звезд, строго говоря, не сходятся в одной точке, 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.

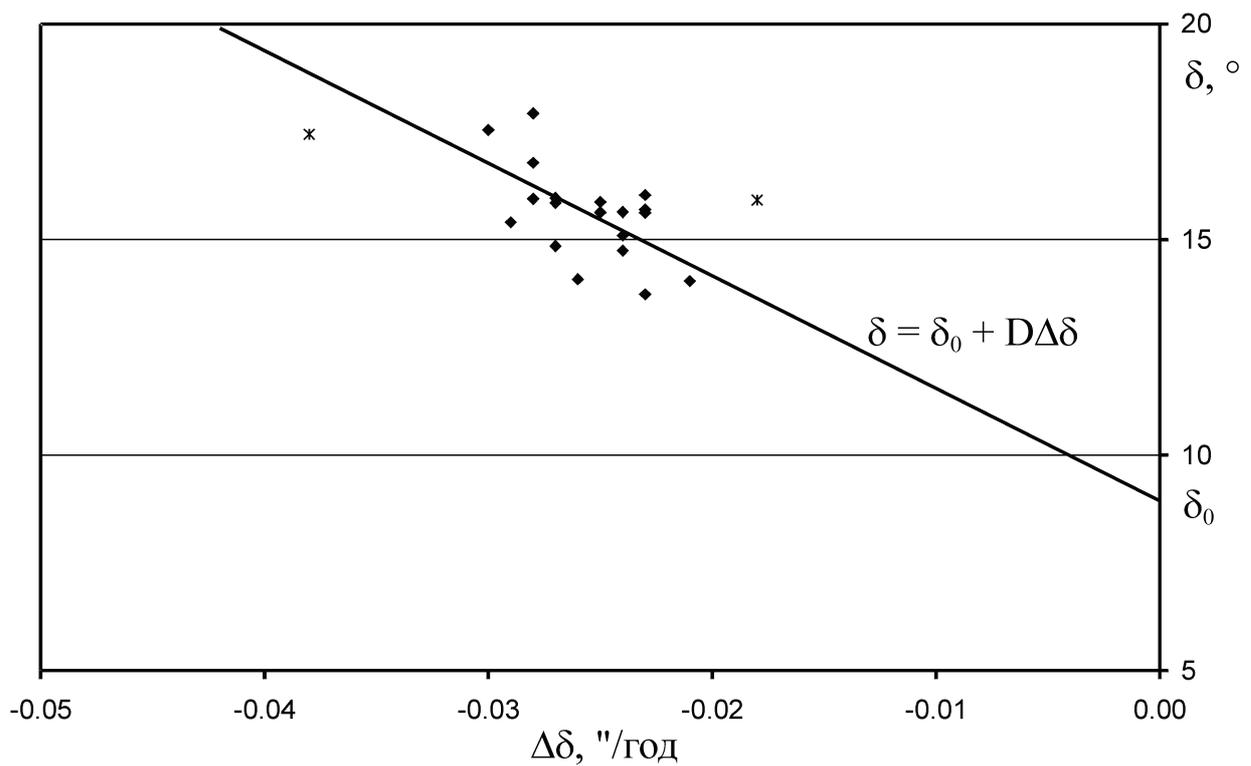
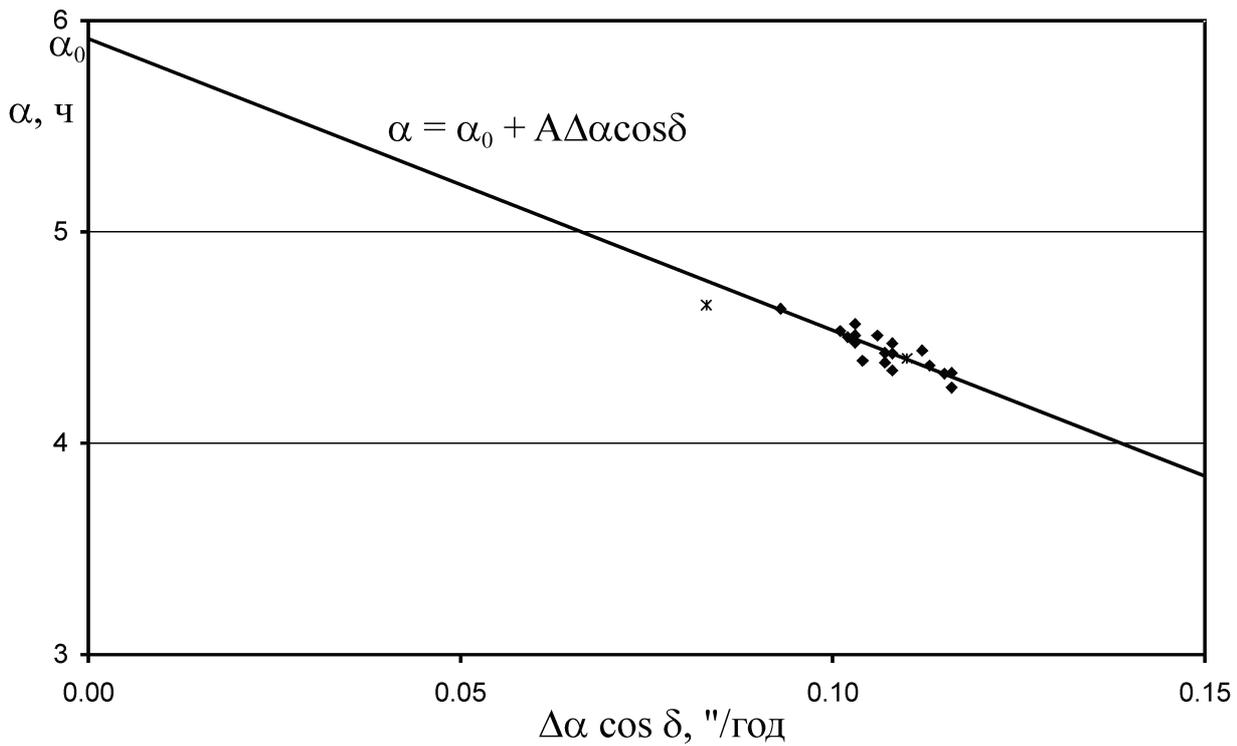
Эту задачу можно решить более строго, без графических построений за пределами карты. Нанесем на диаграмму значения прямых восхождений звезд и их собственных движений по прямому восхождению (см. оборот). Аналогичная диаграмма строится и для склонений. Мы видим, что большинство звезд располагаются вблизи 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

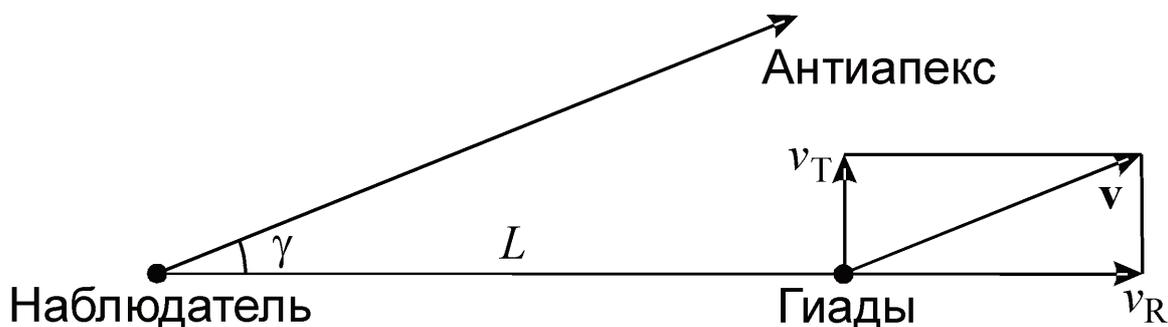




ниями. Приняв в качестве видимого центра Гиад точку с координатами $\alpha = 4.5\text{ч}$; $\delta = +16^\circ$, определим расстояние между центром Гиад и антиапексом:

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

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 Гиалды, 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 Гиалды получается равным 30 пк. Это в полтора раза меньше истинного значения, что связано с большой ошибкой определения координат антиапекса по малому количеству звезд.