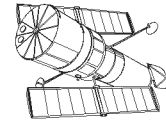


# ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР



## Калейдоскоп объектов (А.М. Татарников)

Класс:

**9 10 11**

Задача:

**1**

**?** На рисунке (цветная вкладка) представлены фотографии известных небесных объектов. Составьте таблицу из 4 колонок:

1. Номер объекта на рисунке.
2. Название объекта или его номер по каталогам, если они Вам известны.
3. Тип объекта.
4. Созвездие, в котором находится объект, если оно Вам известно.



Данные об объектах на фотографии приведены в таблице.

№	Название объекта	Тип объекта	Созвездие
1	M17 («Омега», «Лебедь»)	Диффузная туманность	Скорпион, Змея
2	NGC6960 («Вуаль», «Рыбачья сеть»)	Остаток сверхновой	Лебедь
3	NGC 2024 («Пламя»)	Диффузная туманность	Орион
4	Плеяды (Стожары, M45)	Рассеянное скопление	Телец
5	M104 («Сомбреро»)	Галактика	Дева
6	M13	Шаровое скопление	Геркулес
7	M57 («Кольцо»)	Планетарная туманность	Лира
8	NGC 7293 («Улитка»)	Планетарная туманность	Водолей
9	$\zeta$ и $h$ Персея	Двойное рассеянное скопление	Персей
10	M20 («Трифид»)	Диффузная туманность	Стрелец
11	«Конская голова»	Темная туманность	Орион
12	Уран (с кольцами)	Планета	
13	M42 (Большая Туманность Ориона)	Диффузная туманность	Орион
14	M81, M82	Спиральная и неправильная галактики	Большая Медведица
15	NGC 2244 («Розетка»)	Диффузная туманность, рассеянное скопление	Единогорг
16	NGC 7000 («Северная Америка»), «Пеликан»	Диффузные туманности	Лебедь
17	NGC 6543 («Кошачий глаз»)	Планетарная туманность	Дракон
18	M51 («Водоворот»)	Спиральная галактика	Гончие Псы
19	M101 («Булавочное Колесо»)	Спиральная галактика	Большая Медведица
20	Марс	Планета	
21	NGC 5128 (Центавр-А)	Пекулярная галактика	Центавр
22	M33 («Туманность Треугольника»)	Спиральная галактика	Треугольник
23	M16 («Орел»)	Диффузная туманность, рассеянное скопление	Змея
24	M31 («Туманность Андромеды») со спутниками	Спиральная галактика, эллиптические галактики	Андромеда

## Практический тур

№	Название объекта	Тип объекта	Созвездие
25	Большое красное пятно на Юпитере	Вихревое образование в атмосфере Юпитера	Телец
26	M1 («Крабовидная туманность»)	Остаток сверхновой	
27	Комета LINEAR (C/2000 WM1)	Комета	Печь Лисичка Муха
28	NGC 1365	Галактика с баром (перемычкой)	
29	M27 («Гантель»)	Планетарная туманность	
30	«Песочные часы»	Планетарная туманность	



### Аналемма (А.М. Татарников, М.Е. Прохоров)

Класс:

**9**

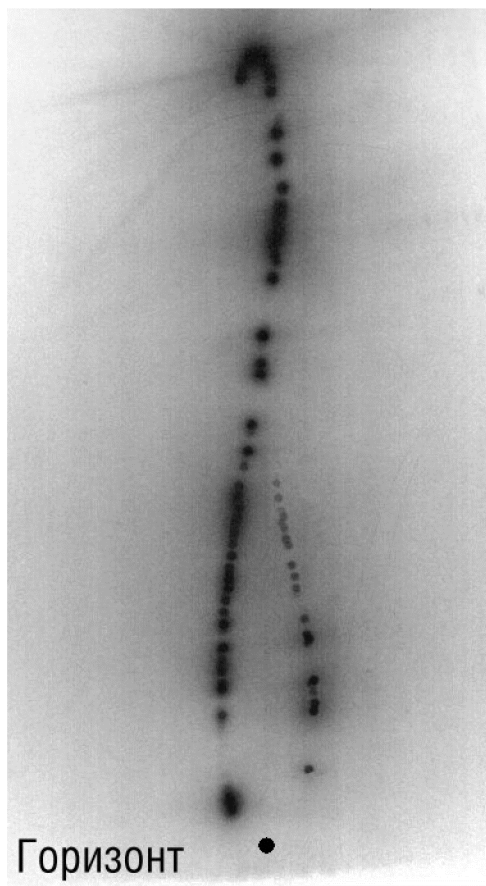
Задача:

**2**

**?** На фотографии изображена так называемая аналемма. Съемка Солнца производилась в одно и то же местное время в разные дни в течение 2004 года. Положение горизонта показано линией. Определите по снимку широту места. Обозначьте положения Солнца в дни солнцестояний и равноденствий, и покажите стрелкой направление перемещения Солнца вдоль аналеммы.

**!** Аналемма на фотографии располагается практически вертикально, следовательно, съемка производилась вблизи местного полудня. Как известно, южная часть аналеммы, которую Солнце проходит в осенне-зимний (для северного полушария) период, шире северной вследствие эксцентриситета земной орбиты и больших вариаций уравнения времени вблизи зимнего солнцестояния. И хотя на рисунке часть аналеммы отсутствует (вероятно, из-за плохой погоды в некоторые периоды времени), очевидно, что более широкая часть аналеммы находится внизу (в этом мы сможем точно убедиться чуть позже). Таким образом, аналемма была получена в северном полушарии Земли.

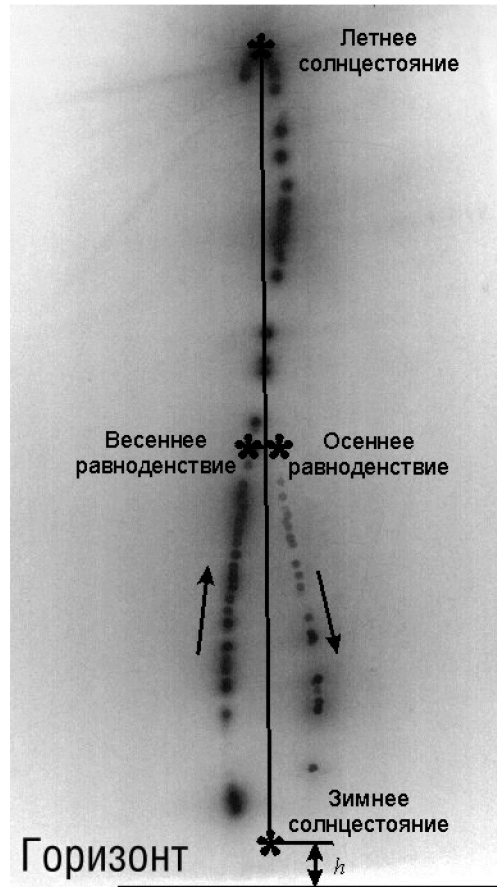
Нижняя точка аналеммы — точка зимнего солнцестояния, верхняя — точка летнего солнцестояния. Соединим их отрезком и найдем его середину. Перпендикуляр, проведенный через середину отрезка, есть ни что иное, как небесный экватор. Он пересекает аналемму в двух точках,



## XIV Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

лежащих на ее нижней петле — мы убеждаемся, что внизу действительно находится южная петля аналеммы. Точки пересечения экватора и аналеммы есть точки, соответствующие равноденствиям. Чтобы определить, какое из них весеннее, а какое осеннее, установим направление движения Солнца по аналемме. Вспомним, что в начале года уравнение времени положительно, истинный солнечный полдень наступает на несколько минут позже среднего полудня, и в средней полдень Солнце располагается чуть восточнее, то есть левее небесного меридиана. Следовательно, путь Солнца по аналемме происходит в направлении, указанном на рисунке стрелками, а точка, соответствующая весеннему равноденствию, располагается чуть левее точки осеннего равноденствия.

Для определения широты места вспомним, что длина отрезка, соединяющего положения Солнца в моменты солнцестояний, есть удвоенная величина наклона экватора к эклиптике, то есть  $46.9^\circ$ . Отрезок, соответствующий высоте Солнца в день зимнего солнцестояния  $h$ , в 18.8 раз короче, и высота  $h$  составляет  $2.5^\circ$ . Следовательно, аналема была снята на широте  $+64^\circ$ .



### ★ Радуга (Е.Н. Фадеев)

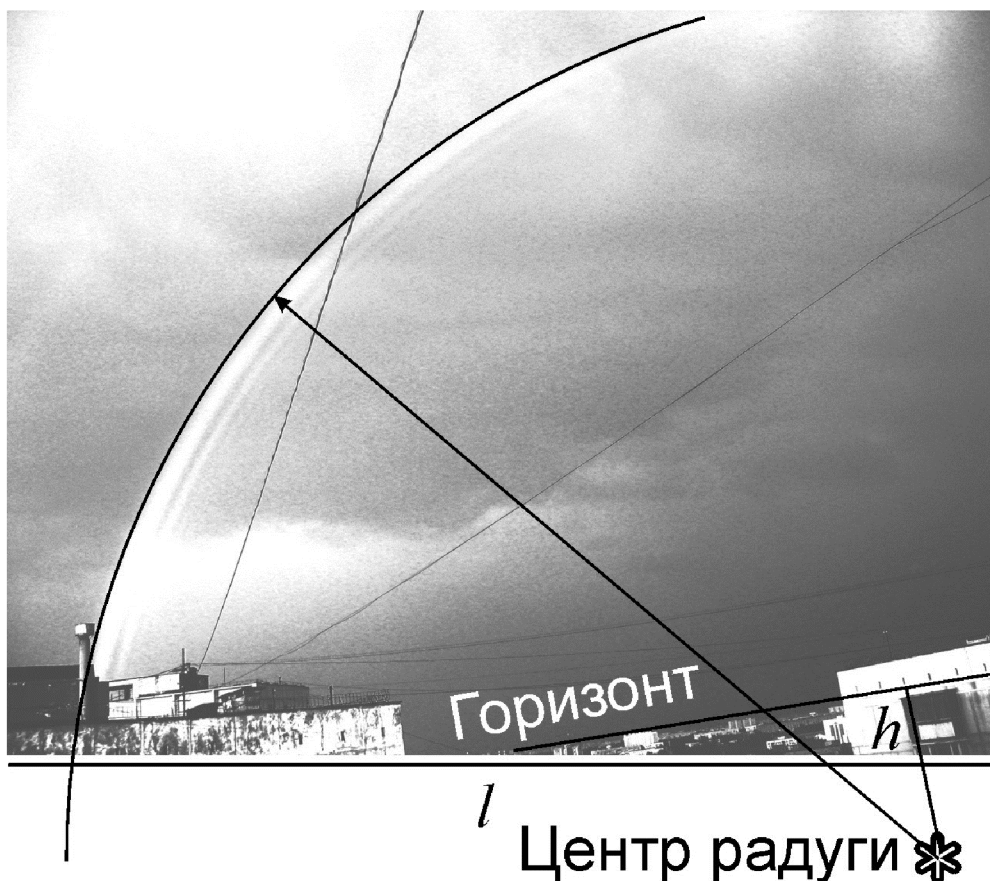
Класс: **9 10**      Задача: **3**

**?** Вам предоставлена фотография с изображением радуги. Объектив фотоаппарата имеет фокусное расстояние 7 мм. Матрица имеет размер 4.5 на 6 мм. Определить высоту Солнца в момент съемки. На какой высоте должно находиться Солнце, чтобы радугу этого типа увидеть с земли было уже нельзя? Рефракцией пренебречь.

**!** Возьмем за условную единицу длины горизонтальный размер снимка. Пренебрегая кривизной поля оптической схемы, определим угол, соответствующий данной единице длины на фотографии:

$$\varphi = 2 \arctg \frac{l}{2F} = 46.4^\circ.$$

## Практический тур



Здесь  $l$  — длина светочувствительной матрицы,  $F$  — фокусное расстояние объектива. Радиус радуги  $r$  по отношению к величине  $l$  получается равным 0.88 единиц. Учитывая, что центр радуги находится под правым нижним краем радуги, мы можем вычислить ее радиус по формуле:

$$r = 2 \arctg \frac{0.88 \cdot l}{2F} = 41^\circ.$$

Центр радуги располагается в 0.16 единицах ниже горизонта, который также виден на фотографии. Это расстояние невелико, и его можно перевести в радианную меру более простым способом:

$$h = \frac{0.16 \cdot l}{F}.$$

Переводя эту величину в градусную меру, получаем  $8^\circ$ . Как известно, радуга образуется из-за рассеяния солнечного света на капельках воды, которое происходит, в основном, под некоторым фиксированным углом, слегка зависящим от длины волны (цвета), из-за чего солнечный свет в радуге распадается на разные цвета. Центр радуги совпадает с антисолнечной точкой на небе, из чего можно сделать вывод, что высота Солнца над горизонтом в момент съемки составляла  $8^\circ$ . Чем выше Солнце над горизонтом, тем ниже под горизонт опускается центр окружности-радуги, и тем меньшую ее дугу мы сможем наблюдать. При высоте Солнца над горизонтом в  $41^\circ$  и выше радугу наблюдать невозможно.



**Выбор окуляров** (А.М. Татарников)

Класс: **10 11**      Задача: **2**

**?** Астроном приобрел телескоп диаметром объектива 150 мм с фокусным расстоянием 1 метр. Посоветуйте, окуляры с какими фокусными расстояниями ему выбрать, и для наблюдений каких объектов они подойдут. Диаметр поля зрения всех окуляров считать равным  $45^\circ$ .

Предположим, наблюдения с этим телескопом проводятся в плохих условиях с большой засветкой неба. Невооруженным глазом видны звезды только до  $4^m$ , средний размер звездных изображений –  $3''$ . Какое максимальное поле зрения будет иметь данный телескоп с окуляром, позволяющим наблюдать предельно слабые звезды? Разрешающая способность человеческого глаза –  $2'$ , диаметр зрачка 6 мм, звезда становится видна при блеске, равном фоновому.

**!** Очевидно, что для наблюдения различных небесных светил необходимы различные окуляры. Первый окуляр нужен для наблюдений слабых протяженных объектов – комет, диффузных туманностей, галактик. Для увеличения видимой яркости этих объектов необходимо уменьшить их видимые размеры, то есть уменьшить увеличение телескопа, однако при этом весь свет, собранный объективом, должен попадать в глаз наблюдателя. Оптимальным является равнозрачковое увеличение, при котором диаметр выходного светового пучка равен диаметру зрачка человеческого глаза:

$$\Gamma_1 = \frac{D}{d} = 25.$$

Здесь  $D$  – диаметр объектива,  $d$  – диаметр зрачка. Фокусное расстояние окуляра будет равно

$$f_1 = \frac{F}{\Gamma_1} = 40 \text{ мм.}$$

Для наблюдений тесных двойных звезд, деталей на поверхности Луны и планет часто необходимо применять максимально возможные с данным объективом увеличения и выбирать ночи с хорошими атмосферными условиями. Поэтому будем считать, что атмосфера не ограничивает разрешение, и оно определяется дифракционным размером изображения звезд:

$$\delta = 1.22 \frac{\lambda}{D} = \frac{0.14''}{D} = 0.93''.$$

Увеличение телескопа составит

$$\Gamma_2 = \frac{\delta_0}{\delta} = 130,$$

где  $\delta_0$  – угловое разрешение глаза. Фокусное расстояние окуляра должно быть равным

## Практический тур

$$f_2 = \frac{F}{\Gamma_2} = 7.7 \text{ мм.}$$

Опытные наблюдатели с хорошим зрением предпочтут выбрать для подобных целей окуляры, дающее примерно в полтора большее увеличение (около 300), с фокусным расстоянием около 3 мм. Поле зрения телескопа будет равно

$$\alpha_{1,2} = \frac{2f_{1,2}}{F} \operatorname{tg} \frac{\omega}{2},$$

где  $\omega$  — диаметр поля зрения окуляра. Для двух выбранных нами окуляров поле зрения составит  $2^\circ$  и  $22'$ . Для удобства наблюдений желательно иметь также промежуточный окуляр с фокусным расстоянием около 15 мм и полем зрения около  $0.7^\circ$ .

Чтобы ответить на второй вопрос задачи, учтем, что при увеличениях, меньших некоторого значения, звезда будет оставаться точечным объектом, яркость которого не зависит от увеличения. В то же время яркость фона неба будет тем меньшей, чем больше увеличение телескопа. Поэтому большее увеличение будет способствовать наблюдению все более слабых звезд. Но как только увеличение достигнет такого значения, что у звезд станут различимы диски атмосферного дрожания, их поверхностная яркость также начнет уменьшаться, и проникающая способность телескопа далее увеличиваться не будет. При этом будет уменьшаться поле зрения телескопа. Следовательно, для ответа на второй вопрос задачи нам нужно выбрать такое увеличение, при котором размер диска дрожания  $\delta_A$  соответствовал бы разрешающей способности глаза  $\delta_0$ :

$$\Gamma_3 = \frac{\delta_0}{\delta_A} = 40.$$

Поле зрения телескопа с таким окуляром составит

$$\alpha_3 = \frac{2}{\Gamma_3} \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = 1.2^\circ.$$

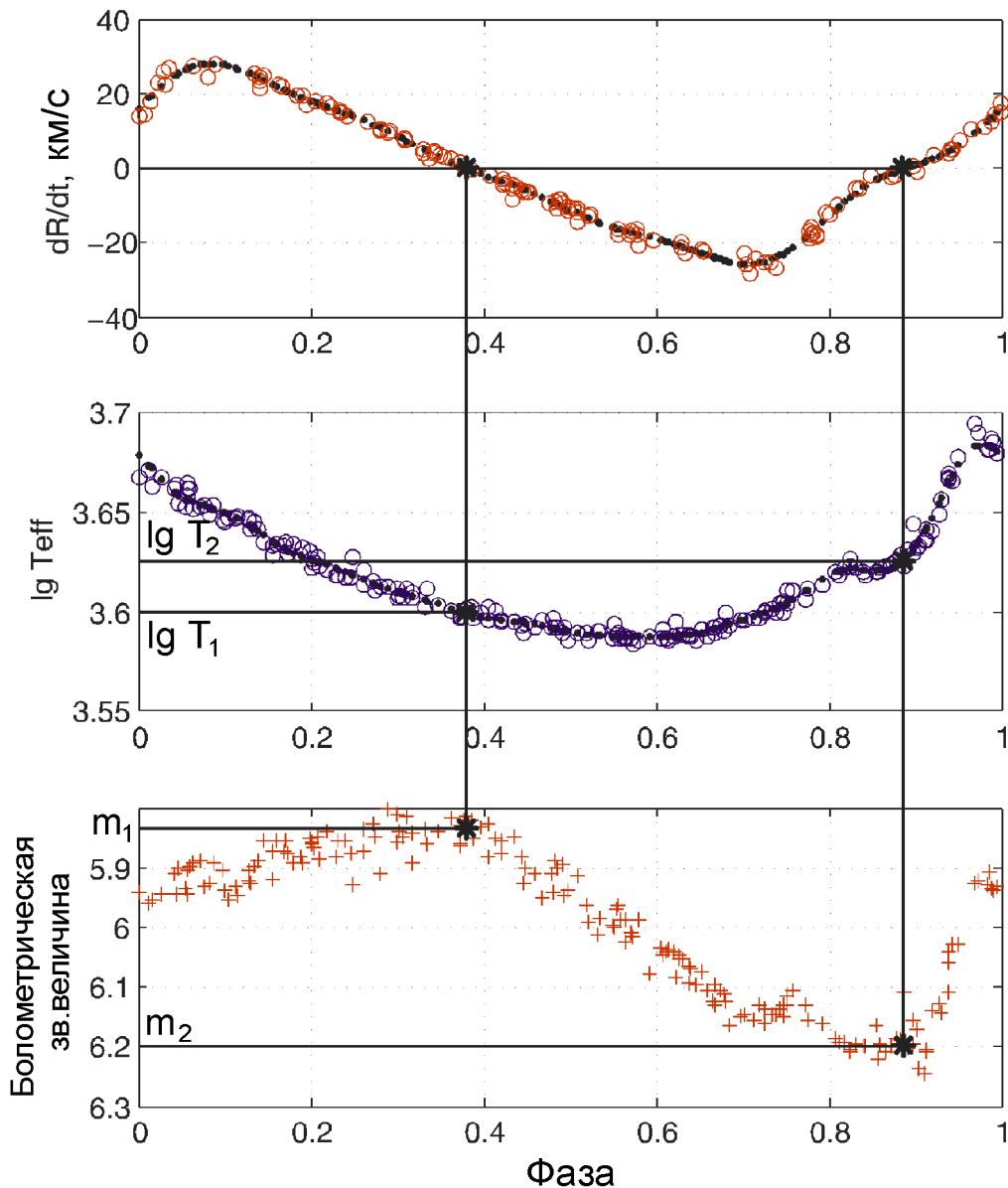


### Цефеида (А.С. Расторгуев)

Класс: **11**

Задача: **3**

**?** Цефеиды представляют собой переменные сверхгиганты, периодически меняющие свой блеск и цвет вследствие радиальных пульсаций оболочки. На трех панелях (сверху вниз) показаны зависимости скорости расширения оболочки  $dR/dt$  в км/с (измеряемой по спектру), логарифм эффективной температуры  $\lg T_{\text{эф}}$  и болометрической видимой величины  $m_{\text{bol}}$  от фазы пульсаций (доли периода) цефеиды ТТ Орла. Найдите максимальное и минимальное значение радиуса цефеиды, если известно, что ее средний радиус составляет 85 солнечных радиусов. Сведения о периоде цефеиды при решении не использовать.



! Рассмотрим верхний график, иллюстрирующий изменение скорости оболочки цефеиды. Нетрудно сообразить, что в моменты, когда радиус цефеиды максимален и минимален, скорость оболочки проходит через нулевое значение. В точке максимума скорость переходит из положительных значений в отрицательные, а в точке минимума — наоборот. Из верхнего рисунка видно, что максимум радиуса (обозначим его  $R_1$ ) достигается при фазе кривой блеска около 0.38, а минимум радиуса  $R_2$  — при фазе около 0.88. Проведем через две соответствующие точки верхнего графика вертикальные линии и определим по двум другим графикам значение температуры и болометрической звездной величины в эти моменты:

$$\lg T_1 = 3.60, \lg T_2 = 3.625, \\ m_1 = 5.83, m_2 = 6.20.$$

Разность звездных величин в максимуме и минимуме связана с отношением светимостей звезды в эти моменты:

## Практический тур

$$m_1 - m_2 = -2.5 \lg \frac{E_1}{E_2}.$$

В то же время, по закону Стефана-Больцмана

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = \lg \frac{R_1^2 T_1^4}{R_2^2 T_2^4} = 2 \lg \frac{R_1}{R_2} + 4 \lg \frac{T_1}{T_2}.$$

В итоге,

$$m_1 - m_2 = -5 \lg \frac{R_1}{R_2} - 10 \lg \frac{T_1}{T_2}.$$

Из этого уравнения мы можем получить величину отношения максимального и минимального радиуса:

$$\lg \frac{R_1}{R_2} = 2(\lg T_2 - \lg T_1) + 0.2(m_2 - m_1) = 0.124; \quad \frac{R_1}{R_2} = 1.33.$$

Из условия задачи нам известно среднее значение радиуса цефеиды:

$$\frac{R_1 + R_2}{2} = 85 R_0,$$

где  $R_0$  — радиус Солнца. Последние два уравнения образуют систему относительно величин  $R_1$  и  $R_2$ . Решая ее, получаем

$$R_1 = 97 R_0, \quad R_2 = 73 R_0.$$