

# ★ III этап республиканской олимпиады ★ по астрономии

*2–6 января 2007 года*

## РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРАКТИЧЕСКОГО ТУРА

**1 «Астрономические наблюдения»** В процессе решения данной задачи участники олимпиады демонстрируют свои знания звездного неба, астрономических явлений, происходящих в течение олимпиады и подготовленность к реальным наблюдениям.

Зрительная труба с заданными параметрами (см. рисунок) на самом деле является инструментом, с помощью которого можно провести наблюдения достаточно большого количества небесных объектов и явлений. Представим, что сегодня – ясный солнечный день, поэтому начинаем наблюдения.



После момента начала данного тура олимпиады можно приступить к наблюдению солнечной активности. Несмотря на минимум 11 цикла, пятна иногда появляются, как это было, например, в начале декабря 2006 года, когда группы пятен и процессы, происходящие в них, вызвали мощную вспышку. Поэтому ожидаемым результатом таких наблюдений является нахождение на диске Солнца небольших групп пятен. При наблюдениях Солнца следует проявлять большую осторожность, т.к. безопасным видом наблюдений является только метод проекции на экран. После наблюдений Солнца есть время решить этот тур олимпиады до конца и немного отдохнуть, т.к. до захода Солнца все равно наблюдать нечего.

После захода Солнца невысоко над горизонтом (не выше  $10^\circ$ ) можно увидеть Венеру. Однако никаких подробностей (даже фазы) наш телескоп не позволит увидеть.

В день олимпиады главным украшением ночного неба станет Луна в фазе близкой к полнолунию (полнолуние – 3 января). Ее наблюдения можно начинать после ее восхода (около 18 часов). В нашу трубу на поверхности естественного спутника Земли можно увидеть моря, возвышенности и некоторые кратеры.

Следующим объектом является Сатурн. Планета видна в созвездии Льва в течение всей ночи, восходит около 22 часов. К сожалению, наблюдения колец Сатурна лежат за пределами возможностей данного телескопа.

Несмотря на красоту Луны, наблюдаемую в нашу трубу, этот объект будет сильно засвечивать небо. Это приведет к тому, что мы не сможем увидеть многие интересные звездные скопления и туманности. Из тех объектов, которые еще можно увидеть при яркой Луне можно выделить: рассеянное звездное скопление Плеяды (M45, видимая звездная величина  $1^m$ ), рассеянное звездное скопление Гиады (оба объекта

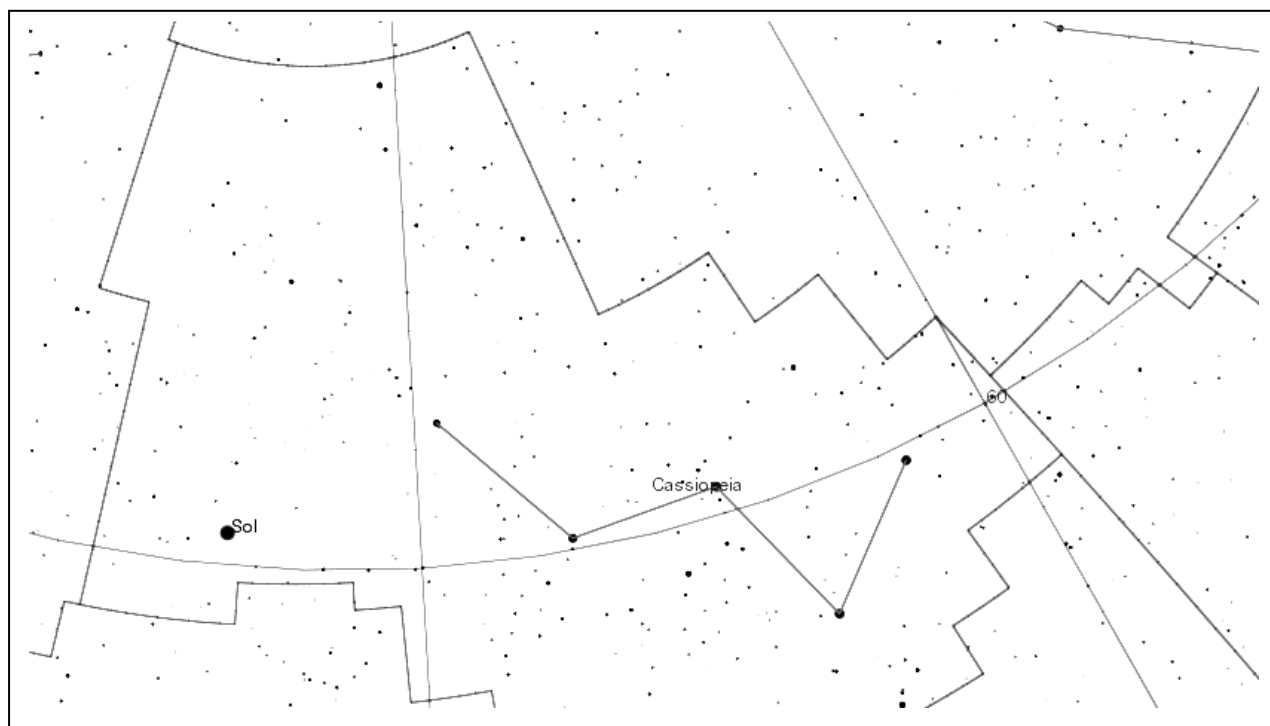
расположены в созвездии Тельца); двойное рассеянное скопление  $\chi$  и  $h$  Персея ( $2^m$ ) и спиральную галактику М31 в созвездии Андромеды ( $4^m$ ). Эмиссионную туманность М42 в созвездии Ориона увидеть не удастся из-за близкого ее углового расстояния от Луны. Все данные объекты лучше видны в первую половину ночи, когда находятся высоко над горизонтом.

Кроме звездных скоплений и галактики М31, можно наблюдать некоторые двойные звезды. В первую половину ночи будем наблюдать  $\gamma$  Андромеды ( $2,3^m$  и  $5,1^m$ ; угловое расстояние  $9,8''$ ) и  $\alpha$  Гончих Псов ( $2,9^m$  и  $5,6^m$ ; угловое расстояние  $20''$ ), ближе к утру или самым ранним вечером –  $\beta$  Лебеда ( $3,1^m$  и  $5,4^m$ ; угловое расстояние  $34,5''$ ).

Перед восходом Солнца в юго-западной части неба невысоко над горизонтом можно увидеть Юпитер. Наш инструмент позволит увидеть 4 галилеевых спутника. Астрономические наблюдения заканчиваются с восходом Солнца.

**2 «Полет к  $\alpha$  Центавра»** Будем считать, что расстояние до  $\alpha$  Центавра значительно меньше расстояний до большинства нанесенных на карту звезд, поэтому в первом приближении характерные видимые фигуры созвездий не изменятся. Исключение составят только несколько созвездий, куда входят яркие близкие звезды (например, Большой Пес).

А. С помощью карты определяем экваториальные координаты системы  $\alpha$  Центавра при наблюдении с Земли:  $\alpha = 14^h 40^m$ ,  $\delta = -61^\circ$ . Солнце при наблюдении с корабля будет иметь координаты (в земной системе экваториальных координат):  $\alpha_\odot = 12^h + \alpha = 2^h 40^m$ ,  $\delta_\odot = -\delta = 61^\circ$ . Наносим эту точку на карту и убеждаемся, что Солнце попадает в созвездие Кассиопеи. На рисунке ниже приведены данные программы *Celestia 1.4.1*, показывающие реальный вид созвездия Кассиопеи, видимой из окрестностей  $\alpha$  Центавра А. Сетка координат – земная вторая экваториальная.



В. По аналогии с солнечной постоянной  $E_{\odot}$ , постоянная  $\alpha$  Центавра А ( $E_{\alpha \text{ Cen A}}$ ) равна энергии, проходящей за единицу времени от звезды через единичную нормальную площадку, расположенную на расстоянии радиуса орбиты корабля. Т.к. данная величина пропорциональна светимости, получим:

$$E_{\alpha \text{ Cen A}} = E_{\odot} \cdot 2,512^{M_{\odot} - M_{\alpha \text{ Cen A}}} = 1,368 E_{\odot} = 1868 \text{ Вт/м}^2.$$

С. За время полета корабля (если оно не составляет несколько миллиардов лет) спектральные классы звезд не изменятся, т.е. у Солнца он равен G2 V, у  $\alpha$  Центавра А – G2 V, у  $\alpha$  Центавра В – K1 V, у  $\alpha$  Центавра С – M 5,5 V. Найдем видимую звездную величину Солнца:

$$m_{\odot} = M_{\odot} - 5 - 5 \lg \pi_{\alpha \text{ Cen A,B}} = 0,37^{\text{m}}$$

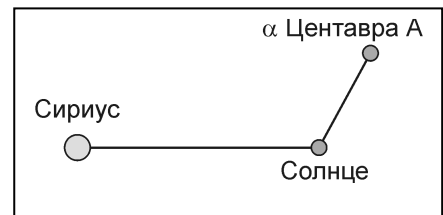
и звезд  $\alpha$  Центавра А, В, С:

$$m_{\alpha \text{ Cen A}} = M_{\alpha \text{ Cen A}} - 5 - 5 \lg 206265 = -27,2^{\text{m}},$$

$$m_{\alpha \text{ Cen B}} = M_{\alpha \text{ Cen B}} - 5 - 5 \lg \frac{206265}{11,2} = -20,6^{\text{m}},$$

$$m_{\alpha \text{ Cen C}} = M_{\alpha \text{ Cen C}} - 5 - 5 \lg \frac{206265}{15000} = 4,8^{\text{m}}.$$

Д. При ответе на предыдущий вопрос задачи мы установили, что Солнце ярче Проксимы Центавра. Будет ли оно вообще самой яркой звездой? Оценим видимую звездную величину Сириуса при наблюдении с корабля. С помощью карты определяем, что Сириус и  $\alpha$  Центавра А образуют угол более  $90^{\circ}$  с центром в Солнце (см. рисунок). Расстояние от Солнца и видимая звездная величина Сириуса при наблюдении с Земли соответственно равны 2,66 пк и  $-1,6^{\text{m}}$ . Предполагается, что участники олимпиады, хорошо разбирающиеся в астрономии, должны знать эти величины хотя бы очень приблизительно, что для наших оценок вполне достаточно. Исходя из вышесказанного можно записать следующую оценку звездной величины Сириуса при наблюдении с корабля:



$$M_{\text{Сириус}} < -1,6 + 5 \lg \frac{2,66 + 1/0,742}{2,66} \Rightarrow m_{\text{Сириус}} < -0,7^{\text{m}}.$$

Очевидно, что полученное значение  $-0,7^{\text{m}}$  соответствует звездной величине Сириуса при его расположении на одной прямой с Солнцем и  $\alpha$  Центавра (при этом Солнце – между данными звездами). Т.к. Сириус ярче  $-0,7^{\text{m}}$ , Солнце – не самая яркая звезда при наблюдении с вашего корабля.

Е. Т.к. спектральный класс  $\alpha$  Центавра А совпадает с солнечным, эта звезда будет иметь такую же температуру (5800 К).  $\alpha$  Центавра В спектрального класса K1 V имеет температуру около 4700 К, температура далекой Проксимы (спектральный класс M5,5 V) составляет 2700 К. При ответе на данный вопрос задачи необходимы знания соответствий спектральных классов температурам. В качестве правильных ответов допускаются и незначительно отличающиеся от приведенных выше.

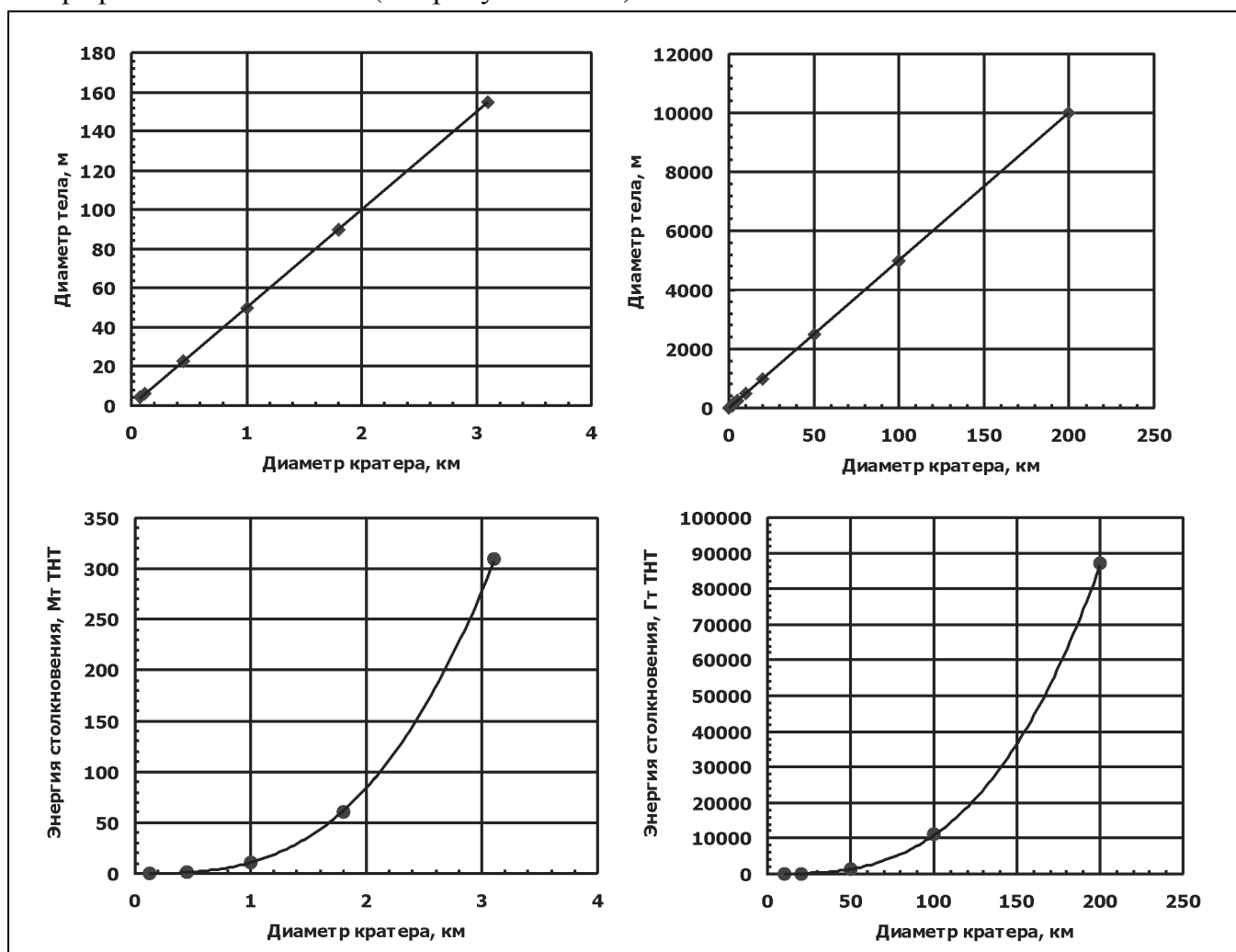
Ф. Для нахождения созвездий, в которых расположены звезды  $\alpha$  Центавра А, В и С, необходимо знать ориентацию плоскостей орбит корабля и звезд в пространстве, а также положения всех тел на своих орбитах. В условии задачи таких данных нет. По-

этому определять созвездия вам как капитану корабля придется с помощью наблюдений.

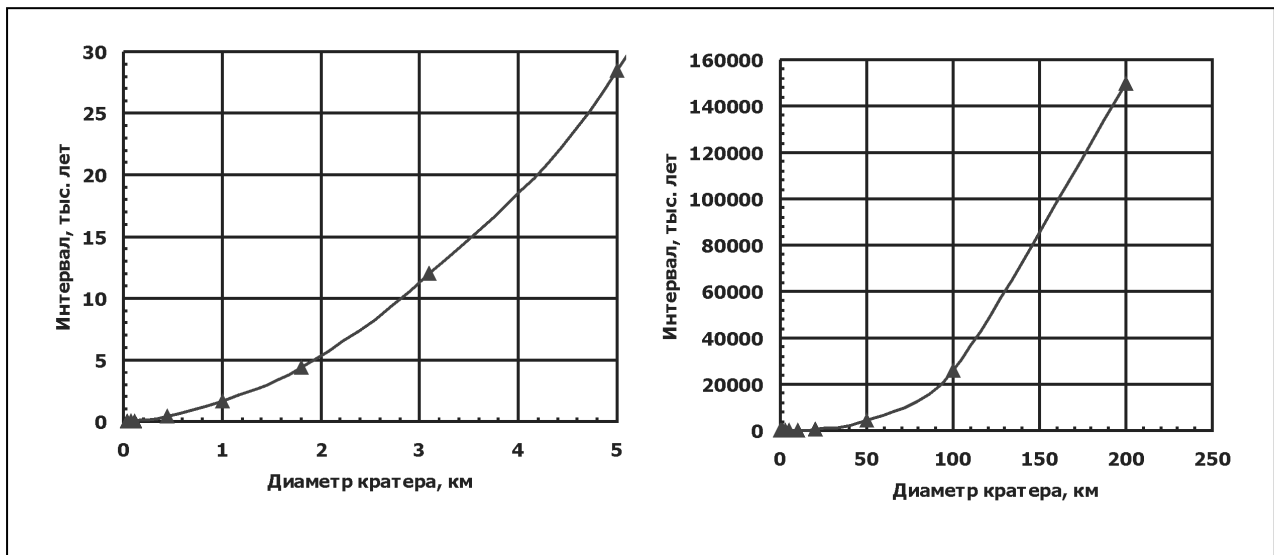
### 3 «Астероиды: удар из космоса»

А. На рисунке 1 в справочных данных изображена зависимость плотности кратеров от времени. Пунктирной кривой изображена та же зависимость, но при условии постоянства скорости образования кратеров. Несколько миллиардов лет темп падения метеорных тел был значительно выше современного значения. Это связано с присутствием большого количества таких объектов в недавно образовавшейся Солнечной системе, согласно современным теориям образования Солнца и планетной системы. Область неопределенности значений на графике соответствует трудностям в построении экспериментальной зависимости: небольшое количество данных, трудности в установлении точного возраста кратеров, неоднородность выборки и т.д.

В. Производить оценки диаметров упавших тел и энергий их столкновения можно графическим способом (см. рисунок ниже).



Данные величины для кратеров Беринджер и Чиксулуб соответственно равны: средние диаметры метеорных тел – 60 м и 8,5 км, энергии – 20 Мт ТНТ и 50 000 Гт ТНТ. К приблизительно таким же результатам можно прийти используя линейную интерполяцию (особенно для оценки размеров тел). Определим вероятности столкновений похожих тел с Землей в 2007 году. С помощью графиков ниже, построенных как и в предыдущих случаях по таблице справочных данных определяем средние ин-



тервалы, через которые данные метеорные тела сталкиваются с Землей: 2 тыс. лет (Беринджер) и 105 млн. лет (Чиксулуб). Тогда статистические вероятности будут равны:  $1/2000 = 0,0005$  (Беринджер) и  $(105 \times 10^6)^{-1} = 9,5 \times 10^{-9}$ . При этом выпадение астероидов на Землю считается достоверным событием за каждый из определенных выше промежутков времени, а скорость выпадения – равномерной.

С. Т.к. 2001 YE4 в момент ближайшего пролета не столкнется с Землей, ему соответствует число баллов по Туринской шкале – 0. При уменьшении расчетного расстояния максимального сближения в 1000 раз, оно станет меньше радиуса Земли, поэтому по Туринской шкале астероид получит оценку 8-10 в зависимости от его диаметра.

Д. Для оценки диаметра астероида рассмотрим несколько случаев: астероид класса С (альbedo в среднем 0,05) и астероид классов S и М, которые по экспериментальным данным имеют близкие значения альbedo; для классов S и М будем рассматривать два характерных значения альbedo – 0,1 и 0,2. При решении данной задачи можно также использовать весь диапазон данных в условии альbedo. Астероид 2001 YE4 имеет абсолютную звездную величину 20,9. Это превышает максимальное значение в таблице 3, поэтому необходимо использовать методы экстраполяции. Самый оптимальный метод в данной ситуации – графический (см. рисунок ниже). Верхние графики изображают зависимости абсолютной звездной величины астероидов от диаметров для различных табличных значений альbedo. При этом правый рисунок приведен с экстраполированием данных до нужных нам значений абсолютной звездной величины. Участники олимпиады могут это сделать графически, продолжая гладкие кривые. Следующий шаг – относительно построенных графиков (правый рисунок внизу) необходимо провести новые кривые с нужными значениями альbedo. Проще всего это сделать так. Снимаем точки с графика, соответствующие абсолютной звездной величине –20,9 для табличных значений альbedo, затем эти точки наносим на новый график диаметр-альbedo. Соединяем гладкой кривой. Для углистого астероида класса С получаем диаметр 650 м, для скалистого S или металлического М с низким значением альbedo (0,1) – 450 м, для тех же классов но с высоким значением альbedo (0,2) – 320 м, для максимального и заданных альbedo – 300 м. Таким образом, мы можем утверждать, что диаметр астероида составляет 300-650 м. Данная область отмечена серым цветом на нижнем графике.

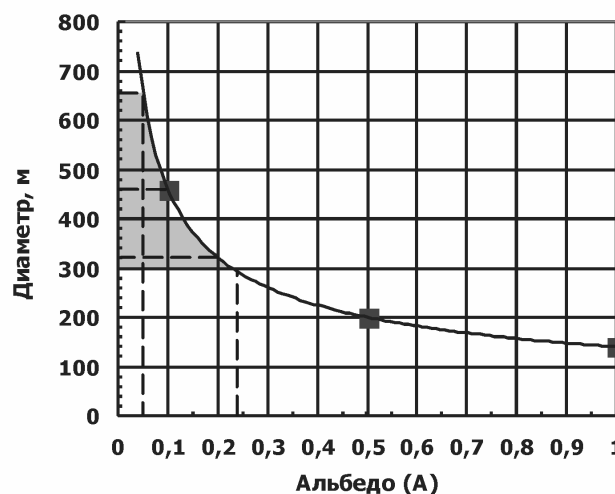
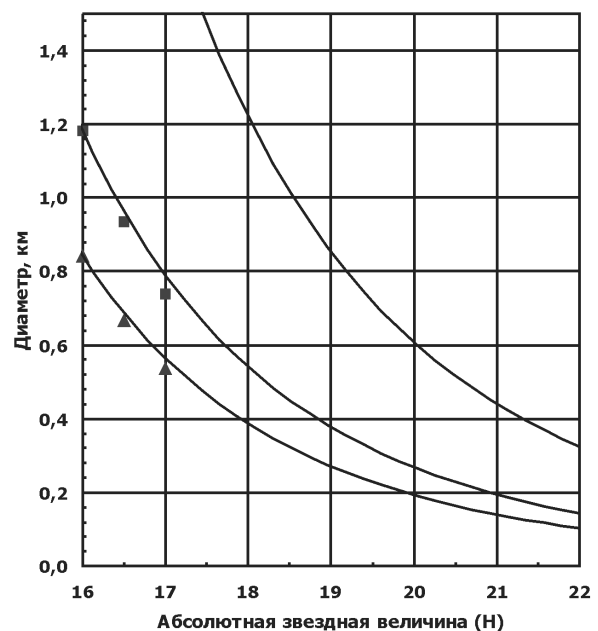
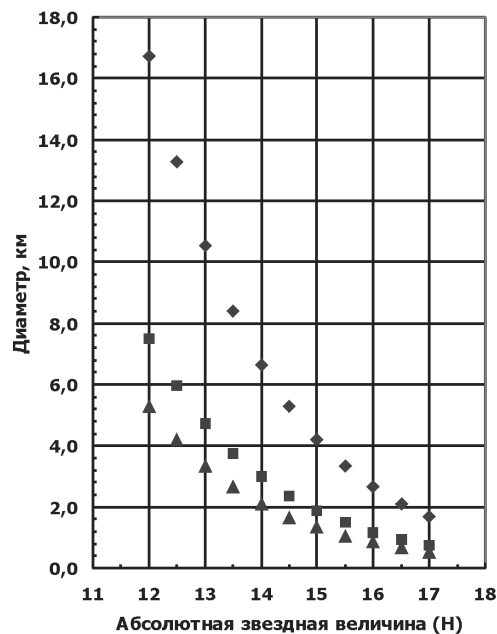
Найдем видимую звездную величину астероида:

$$m = H + 5 \lg r_{\text{a.e.}}^{\min} = 20,9 + 5 \lg 0,033 = 13,5^{\text{m}}.$$

При расчетах фаза астероида не учитывалась, т.е. считалась равной единице. Поэтому на самом деле астероид может быть слабее данного результата.

Е. Если столкновение все-таки произойдет и астероид столкнется с сушей, размер кратера будет около 10 км, что значительно превышает известный кратер Беринджер (Аризонский). Полученное с помощью таблицы 1 значение является оценочным, т.к. в таблице 1 используются данные для средней плотности астероидов. Сопутствующие падению явления следующие (см. таблицу 5): горение в области падения, пыль в стратосфере ниже катастрофического уровня, локальные повреждения грунта. При падении в океан волна цунами затопит все побережья океана.

Примечание к задаче: предлагаемые методы решения заданий В и D не являются единственно возможными.



### Баллы по задачам

Задача 1	Объект		Ожидаемый результат	11 баллов	
	Солнце 0,5		0,5		
	Луна 0,5		0,5		
	Венера 0,5		0,5		
	Сатурн 0,5		0,5		
	Звездные скопления и галактики 2		1		
	Двойные звезды 1,5		0,5		
	Юпитер 0,5		0,5		
	Порядок наблюдений и общая оценка (например, указания о засветке неба Луной) 1				
	Допускаются отрицательные баллы за неверные объекты				
Задача 2	А – 2			13 баллов	
	В – 2				
	С – 3				
	D – 3				
	Е – 2				
	F – 1				
Задача 3	A	2		16 баллов	
	B	расчет диаметра и энергии 2			
		расчет вероятности 2			
	C	2			
	D	диаметр	метод экстраполирования 1		
			выбор диапазона значений альбедо 1		
			построение зависимости диаметра от альбедо и нахождение диаметра 1		
			оценка результата 1		
		звездная величина 2			
E	2				
40 баллов					
Полученное значение умножается на нормировочный коэффициент 5/8, таким образом, максимальная оценка за практический тур – 25 баллов					

Дорогие друзья!

Мы рады сообщить Вам об открытии официального сайта Белорусских астрономических олимпиад. Ждем Вас на нашем сайте.

Ассоциация «Белорусские астрономические олимпиады»

[www.belastro.org](http://www.belastro.org)



**А.А. Поплавский**