

Рекомендации к решению второго этапа республиканской олимпиады
по учебному предмету «Астрономия»
(всего 150 баллов)

КЕНТАВРЫ, КЕНТАВРЫ, ВЫ ВСЁ-ТАКИ БЫЛИ...

В древнегреческой мифологии кентавры — это существа с головой и торсом человека, и телом лошади. По представлениям жителей древней Эллады они обитали в горных ущельях и лесных чащах. Мудрые кентавры Фол и Хирон были друзьями и учителями легендарного Геракла.

Впоследствии своевольные и свободолюбивые кентавры (центавры) стали частью древнеримской культуры. Со временем эти полулюди-полуживотные, как и многие другие персонажи античных мифов переместились на небеса, дав свои имена небесным телам или объектам звёздного неба. Именно таким небесным кентаврам и будет посвящена наша олимпиада.

Звёздный Стрелок

Среди созвездий, описанных в «Альмагесте» Клавдия Птолемея, есть сразу два «кентавра». Один из них — это зодиакальное созвездие Стрелец. Согласно одному из мифов древней Греции, это созвездие связано с кентавром Хироном. Считалось, что именно он, специально для похода аргонавтов, изобрёл небесный глобус и на этом глобусе «зарезервировал» место для себя, выбрав участок звёздного неба, на котором и находится созвездие Стрелец. Поэтому на старых звёздных картах оно всегда изображалось в виде кентавра, вооружённого луком со стрелами.

а) ϵ Стрельца — самая яркая звезда в этом созвездии. По карте звездного неба определите (примерно) видимую звёздную величину этой звезды.

2^м. (3 балла)

б) ϵ Стрельца представлялась астрономам древности южной оконечностью лука, который держал в руках кентавр. Северную оконечность лука обозначала звезда λ Стрельца, а центральную часть — δ Стрельца. Приведите собственные имена этих звёзд.

ϵ Стрельца — *Каус Аустралис* (6 баллов)

λ Стрельца — *Каус Боргалис*

δ Стрельца — *Каус Меридионалис (Каус Медиа)*

в) Каковы экваториальные координаты ϵ Стрельца? (4 балла)

$\delta = -35^\circ$, $\alpha = 18^h 25^m$

г) Можно ли наблюдать эту звезду на широте Могилёва? Если можно, то где и когда? Если нет, то почему? (6 баллов)

С учётом атмосферной рефракции ϵ Стрельца видна прямо над точкой юга у самого горизонта в полночь 26 июня (плюс-минус пару дней)

д) В созвездии Стрельца находятся две очень примечательные для астрономов точки. О каких точках идёт речь? (4 балла)

В Стрельце находятся точка зимнего солнцестояния, а также центр нашей Галактики.

Созвездие Центавра

Созвездие Центавра — одно из больших созвездий южного полушария звёздного неба. Это созвездие также известно астрономам ещё с древних времён. Оно, например,

было описано в «Альмагесте», т.е. входило в звёздный каталог Клавдия Птолемея, который датируется 148 годом нашей эры.

а) Склонение α Центавра $\delta = -60^\circ 50'$, прямое восхождение $\alpha = 14^h 39^m$. На каких широтах эта звезда доступна для наблюдения? На какой широте эту звезду можно наблюдать в зените? (6 баллов)

Склонение Центавра

а). $\delta^{\text{II}} = -60^\circ 50'$

$h_{\text{max.1}} = 0^\circ$

$h_{\text{max.2}} = 90^\circ$

$\varphi_1 = ? \quad \varphi_2 = ?$

$|\delta| = 90^\circ - |\varphi|$

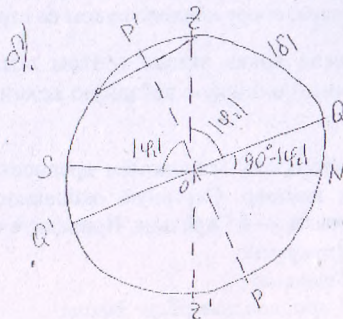
$-\delta = 90^\circ - \varphi_1$

$\varphi_1 = +\delta + 90^\circ$

$\varphi_1 = -60^\circ 50' + 90^\circ = +29^\circ 10'$

$\varphi_2 = \delta^{\text{II}}; \varphi_2 = -60^\circ 50'$

б) Выполните чертёж элементов небесной сферы в проекции на плоскость небесного меридиана для местности, на широте которой звезду α Центавра можно наблюдать в зените. Не забудьте изобразить небесную параллель этой звезды. (3 балла)



в) Воспользовавшись подвижной картой звёздного неба, определите, когда звезда α Центавра окажется в верхней кульминации на долготе города Могилёва по звёздному, местному среднему солнечному и поясному времени в день олимпиады.

$\alpha = 14^h 39^m, \lambda = 30^\circ 19' = 2^h 1^m 16^s$

(12 баллов)

$T_n = T_M - \lambda + 3^s$

Для 19.11	Для 26.11	Для 03.12
$S = 09^h 20^m$	$S = 09^h 20^m$	$S = 09^h 20^m$
$T_M = 10^h 45^m$	$T_M = 10^h 20^m$	$T_M = 09^h 50^m$
$T_n = 11^h 44^m$	$T_n = 11^h 19^m$	$T_n = 10^h 49^m$

г) Годичный параллакс звезды составляет $0,747''$. Каково расстояние до неё, выраженное в парсеках, световых годах, астрономических величинах и километрах.

(8 баллов)

$$2). \frac{\pi'' = 0,747''}{V - ?} \quad \left| \quad V = \frac{1}{\pi''} \right.$$

$$V = \frac{1}{0,747} = 1,339 \text{ (пк)}, \neq$$

$$1 \text{ пак} = 3,2616 \text{ св. лет} =$$

$$= 206265 \text{ а.е.} = 206265 \cdot 149,6 \cdot 10^6 \text{ км} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

$$V = 1,339 \text{ пак} = 4,367 \text{ св. лет} = 2,762 \cdot 10^5 \text{ а.е.} = 4,132 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

д) Звезда α Центавра является третьей по яркости звездой ночного неба. На самом деле α Центавра — тройная звёздная система, две наиболее ярких компоненты которой α Центавра А и α Центавра В, невооружённому глазу видны как одна звезда. Приведите собственные имена звезд α Центавра А и α Центавра В. (6 баллов)

α Центавра А — Ригель Кентаурус.

α Центавра В — Толиман.

е) Видимые звёздные величины компонент α Центавра А и α Центавра В равны соответственно $-0,01^m$ и $+1,34^m$. Какова видимая звёздная величина α Центавра, т.е. двух компонент вместе взятых. (8 баллов)

$$e). \frac{m_A = -0,01^m}{m_B = +1,34^m} \quad \left| \quad \frac{E_A + E_B}{E_A} = 2,512^{m_A - m_B}; \right.$$

$$\frac{m - ?}{m - ?} \quad \left| \quad 1 + \frac{E_B}{E_A} = 2,512^{m_A - m}; \quad \frac{E_B}{E_A} = 2,512^{m_A - m_B} \right.$$

$$1 + 2,512^{m_A - m_B} = 2,512^{m_A - m}; \quad \left| \quad 1,2884 = 2,512^{m_A - m} \right.$$

$$1 + 2,512^{-0,01 - 1,34} = 2,512^{m_A - m}; \quad \left| \quad \lg 1,2884 = 0,4(m_A - m) \right.$$

$$m_A - m = 0,275 \Rightarrow m = -0,285^m.$$

ж) Каковы абсолютные звёздные величины компонент α Центавра? (4 балла)

$$z). M = m + 5 + 5 \cdot \lg \pi''; \quad M = -0,285 + 5 + 5 \cdot \lg 0,747 = 4,08^m$$

$$M_A = m_A + 5 + 5 \cdot \lg \pi''; \quad M_A = -0,01 + 5 + 5 \cdot \lg 0,747 = 4,36^m$$

$$M_B = m_B + 5 + 5 \cdot \lg \pi''; \quad M_B = 1,34 + 5 + 5 \cdot \lg 0,747 = 5,71^m$$

з) Какова суммарная светимость звёзд α Центавра А и α Центавра В, выраженная в светимостях Солнца? (4 балла)

$$3). \quad \angle = \angle_A + \angle_B ; \quad \frac{\angle_A}{\angle_\odot} = 2,512^{M_\odot - M_A} ; \quad \frac{\angle_B}{\angle_\odot} = 2,512^{M_\odot - M_B}$$

$$\angle_A = 2,512^{4,83 - 4,36} \angle_\odot = 1,54 \angle_\odot.$$

$$\angle_B = 2,512^{4,83 - 5,71} \angle_\odot = 0,445 \angle_\odot.$$

и) У α Центавра есть и третий компонент. Это тусклая звездочка 11-й звездной величины. От звезд α Центавра А и α Центавра В она удалена на угловое расстояние в 2° . Как называется эта звездочка? Что означает её имя? (2 балла)

Проксима Центавра (лат. Proxima — «ближайшая»).

к) Стрелец и Центавр не единственные созвездия, связанные с античной мифологией. С персонажами древнегреческих мифов связаны имена таких созвездий как: Орион, Андромеда, Кассиопея, Цефей, Пегас, Геркулес, Близнецы. Приведите собственные имена некоторых звезд, принадлежащих этим созвездиям и их обозначения по каталогу Байера. Желательно указать не менее 10 таких звезд (если для этих звезд указаны собственные имена). (20 баллов)

Возможные варианты ответа

Обозначения Байера	Собственное имя	Обозначения Байера	Собственное имя
α Андромеды	Альферац	α Ориона	Бетельгейзе
β Андромеды	Мирах	β Ориона	Ригель
γ Андромеды	Аламак (Альмах)	γ Ориона	Беллатрикс
α Близнецов	Кастор	ϵ Ориона	Альнилам
β Близнецов	Поллукс	ζ Ориона	Альнитак
γ Близнецов	Альхена	α Пегаса	Маркаб
α Кассиопеи	Шедар	β Пегаса	Шеат
β Кассиопеи	Каф	ϵ Пегаса	Эниф
γ Кассиопеи	Нави	α Персея	Мирфак
δ Кассиопеи	Рукбах	β Персея	Алголь
ϵ Кассиопеи	Сегин	α Цефея	Альдерамин

(2060) Хирон

Кентаврами называют и группу астероидов, находящихся между орбитами Юпитера и Нептуна. Астероид (2060) Хирон, принадлежащий к группе кентавров был открыт 18 октября 1977 года. Название оказалось удачным, ибо, как и мифический получеловек-полуконь, (2060) Хирон проявляет двойственную природу. Вблизи перигелия у него появляется кома, благодаря чему этот астероид рассматривается ещё и как короткопериодическая комета.

Расстояние от астероида до Солнца в перигелии составляет 8,502 а.е., эксцентриситет орбиты 0,378784, наклонение орбиты $6,9^\circ$.

Средняя аномалия астероида на эпоху 31 мая 2020 года составляла $172,837^\circ$, аргумент перигелия на эту эпоху был равен $339,81^\circ$, а долгота восходящего узла составляла $209,24^\circ$.

а) Рассчитайте фокальный параметр орбиты астероида, её большую и малую полуоси, афелийное расстояние, а также сидерический период обращения данного «кентавра» по орбите. (10 баллов)

a). $q = 8,502 \text{ а.е.}$ | $q = a(1-e) \Rightarrow a = \frac{q}{1-e}$; $a = 13,69 \text{ а.е.}$
 $e = 0,378784$ | $Q = a(1+e)$, $Q = 18,88 \text{ а.е.}$ | $T = \sqrt{a^3}$,
 $P = ?$ $a = ?$ $b = ?$ | $P = a(1-e^2)$, $P = 11,73 \text{ а.е.}$ | $T = 50,65 \text{ года.}$
 $Q = ?$ $T = ?$ | $b = a\sqrt{1-e^2}$, $b = 12,67 \text{ а.е.}$

б) Какова средняя орбитальная скорость астероида (2060) Хирон? Рассчитайте скорость этого астероида в перигелии и афелии. (6 баллов)

б). $\langle v \rangle = ?$ | $\langle v \rangle = \frac{2\pi a}{T}$, $\langle v \rangle = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 13,69 \cdot 149,6 \cdot 10^6}{50,65 \cdot 365,26 \cdot 24 \cdot 3600} = 8,05 \text{ (км/с).}$
 $\langle v_p = ?$ | $v_p = \langle v \rangle \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$, $v_p = 12,0 \text{ км/с.}$
 $v_a = ?$ | $v_a = \langle v \rangle \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$, $v_a = 5,40 \text{ км/с.}$

в) Рассчитайте эксцентриситет и истинную аномалию астероида на эпоху 31 мая 2020 года. (10 баллов)

в). $M = 172,837^\circ$ | $M = E - e \cdot \sin E$.
 $= 3,016575 \text{ рад.}$ | Рассчитаем E поспробовагельнымч и приближеннымч;
 $E = ?$ $v = ?$ | $E_0 = M + e \cdot \sin M$; $E_0 = 3,06381$
 $E = 144,803^\circ$ | $E_1 = M + e \cdot \sin E_0$; $E_1 = 3,04601$
 $E_2 = M + e \cdot \sin E_1$; и т.д.
 $E_3 = M + e \cdot \sin E_2$ и т.д. $E_{11} = 3,05089$
 $\cos v = \frac{\cos E - e}{1 - e \cdot \cos E}$, $\sin v = \frac{\sqrt{1-e^2} \cdot \sin E}{1 - e \cdot \cos E} \Rightarrow v = 176,51^\circ$
или $\tan \frac{v}{2} = \frac{\sqrt{1+e}}{\sqrt{1-e}} \tan \frac{E}{2}$, $v = 176,51^\circ$

г) Диаметр астероида (2060) Хирон оценивается в 120 км, его масса около $2,7 \cdot 10^{18}$ кг, период вращения вокруг своей оси 6,0 часа, альbedo астероида 0,150. Оцените по этим данным среднесуточную температуру поверхности астероида на эпоху 31 мая 2020 года. (10 баллов)

2). Расстояние от Солнца до астероида на указанную эпоху

$$r = a \frac{1 - e^2}{1 + e \cdot \cos \nu}, \quad r = 18,855 \text{ а.е.}$$

$v_{\odot} = 1367 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ Светимость Солнца $L_{\odot} = v_{\odot} \cdot 4\pi a_{\odot}^2$.
 $D = 120 \text{ км}$ Солнечная постоянная у поверхности астероида $v = \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2} = \frac{v_{\odot} a_{\odot}^2}{r^2}$
 $A = 0,150$
 $t = ?$ Мощность светового излучения, поглощенного поверхностью астероида;

$$L_{\text{полн}} = (1-A) \frac{v \pi D^2}{4}, \quad L_{\text{полн}} = L_{\text{изл.}} \quad (\text{тепловое равновесие})$$

Мощность теплового излучения, испускаемого единицей площади поверхности астероида

$$e = \frac{L_{\text{изл.}}}{4\pi R^2} = \frac{L_{\text{полн}}}{\pi D^2} = \frac{(1-A) \cdot v}{4}$$

Здесь видно, что период вращения астероида не велик и астероид прогреет более-менее равномерно.

Согласно закону Стефана-Больцмана $e = \sigma T^4$.

$$T = \sqrt[4]{\frac{(1-A) v_{\odot}}{\sigma}} \cdot \sqrt{\frac{a_{\odot}}{2r}}; \quad T = 87 \text{ K} \Rightarrow t = -186^{\circ} \text{C}.$$

д) Какова видимая звездная величина этого «кентавра» на эпоху 31 мая 2020 года, если (2060) Хирон в эту эпоху был в противостоянии? (10 баллов)

г). Мощность светового излучения, отраженного астероидом

$$L_{\text{отр}} = \frac{A \cdot v \cdot \pi D^2}{4} = \frac{A \pi D^2 v_{\odot} a_{\odot}^2}{4 r^2}$$

«Астероидная постоянная» у поверхности Земли

$$v_{\text{аст.}} = \frac{L_{\text{отр.}}}{\pi (2r - a_{\odot})^2} = \frac{A D^2 v_{\odot} a_{\odot}^2}{4 r^2 (r - a_{\odot})^2}; \quad \frac{v_{\text{аст.}}}{v_{\odot}} = \frac{A D^2 a_{\odot}^2}{4 \cdot r^2 (r - a_{\odot})^2}$$

$$\frac{v_{\text{аст.}}}{v_{\odot}} = 2,129 \cdot 10^{-19}$$

Расчёт видимой звёздной величины Солнца

$$M = m + 5 - 5 \cdot \lg r, \Rightarrow m = M - 5 + 5 \cdot \lg r.$$

$$r = 1 \text{ а.е.} = \frac{1}{206265} \text{ пк.}$$

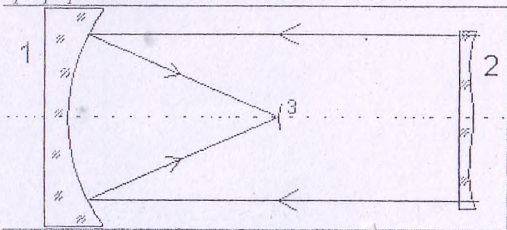
$$m = 4,83 - 5 + 5 \lg \frac{1}{206265} = -26,6^{\text{м}}.$$

$$\frac{b_{\text{асс.}}}{b_{\text{о}}} = 2,5^{12} M_{\text{о}} - M_{\text{асс.}}; \quad M_{\text{о}} = -26,6^{\text{м}};$$

$$0,4(M_{\text{о}} - M_{\text{асс.}}) = \lg(2,129 \cdot 10^{-19}); \quad M_{\text{асс.}} = 20,08^{\text{м}}.$$

е) Астероид (2060) Хирон был открыт в 1977 году с помощью 122-сантиметрового телескопа Шмидта. Опишите устройство телескопов такой системы. Нарисуйте его оптическую схему. (8 баллов)

Телескоп Шмидта — зеркально-линзовый телескоп, предназначенный для фотографирования больших областей неба.



1 — сферическое зеркало,

2 — коррекционная пластинка (устанавливается в центре кривизны главного зеркала и представляет собой стеклянную пластинку, одна поверхность которой плоская, а другая имеет сложный профиль),

3 — ПЗС-матрицы (ранее фотопластина).

Справочные данные

Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$.

Среднее расстояние от Земли до Солнца: $a_0 = 149,6 \cdot 10^6 \text{ км}$.

Сидерический период обращения Земли (звёздный год): $T_0 = 365,26 \text{ сут}$.

Солнечная постоянная: $b_{\text{с}} = 1367 \text{ Вт} / \text{м}^2$.

Абсолютная звёздная величина Солнца $M_{\text{с}} = 4,83^{\text{м}}$.

Средний радиус Земли: $R = 6371 \text{ км}$.

Звёздные сутки на Земле: $T_3 = 23 \text{ ч. } 56 \text{ мин } 4 \text{ с.} = 86164 \text{ с}$.

Угол между экватором и эклипстикой $\epsilon = 23^{\circ} 26' 21''$

Постоянная Стефана-Больцмана: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Постоянная закона Вина: $b = 0,002897 \text{ м} \cdot \text{К}$.

Координаты Могилева: $\varphi = 53^{\circ} 54'$, $\lambda = 30^{\circ} 19'$.