

ВАРИТАНТ 1

ЗАДАНИЕ 1

Ниже в таблице приведен перечень ярких звезд на русском языке.
Дополните таблицу, запишите их имена собственные на русском языке и
обозначения по каталогу Байера-Флемстида по аналогии с примером.

	α -Большого Пса	Сириус	α СМа
--	------------------------	--------	--------------

№	Название на русском языке	Собственное имя	обозначение по каталогу Байера-Флемстида
1	α Льва		
2	α Девы		
3	α Лиры		
4	α Эридана		
5	α Южной Рыбы		
6	α Возничего		
7	α Орла		
8	α Персея		
9	α М. Пса		
10	α Ориона		
11	α Киля		
12	α Тельца		
13	α Б. Медведицы		
14	α Волопаса		
15	α Андромеды		
16	α Лебедя		
17	α Скорпиона		
18	α Гидры		
19	α Кассиопеи		
20	β Близнецов		
21	β Ориона		
22	β Центавра		
23	β Льва		
24	β Б. Медведицы		
25	β М. Медведицы		
26	β Рыбы		

27	ε Б. Пса		
28	ξ Б. Медведицы		
29	λ Скорпиона		
30	γ Ориона		

Решение:

№	Название на русском языке	Собственное имя	обозначение по каталогу Байера-Флемстида
1	α Льва	Регул	α Leo
2	α Девы	Спика	α Vir
3	α Лиры	Вега	α Lyr
4	α Эridана	Ахернар	α Eri
5	α Южной Рыбы	Фомальгаут	α PsA
6	α Возничего	Капелла	α Aur
7	α Орла	Альтаир	α Aql
8	α Персея	Мирфак	α Per
9	α М. Пса	Процион	α CMi
10	α Ориона	Бетельгезе	α Ori
11	α Киля	Канопус	α Car
12	α Тельца	Альдебаран	α Tau
13	α Б. Медведицы	Дубхе	α UMa
14	α Волопаса	Арктур	α Boo
15	α Андромеды	Альферац	α And
16	α Лебедя	Денеб	α Cyg
17	α Скорпиона	Антарес	α Sco
18	α Гидры	Альфард	α Hyd
19	α Кассиопеи	Шедар	α Cas
20	β Близнецов	Поллукс	β Gem

21	β Ориона	Ригель	β Ori
22	β Центавра	Хадар	β Cen
23	β Льва	Денебола	β Leo
24	β Б. Медведицы	Мерак	β UMa
25	β М. Медведицы	Кохаб	β UMi
26	β Рыбы	Фумальсамаках	β Psc
27	ε Б. Пса	Адара	ε CMa
28	ξ Б. Медведицы	Мицар	ζ UMa
29	λ Скорпиона	Шаула	λ Sco
30	γ Ориона	Беллатрикс	γ Ori

ЗАДАНИЕ 2

Луна. Единственное небесное тело (кроме Солнца), которое мы можем хорошо рассмотреть невооруженным глазом в ночное время. Столь близкое соседство с древнейших времен вызывало пристальный интерес жителей нашей планеты к Луне. Что и кто там? Луна покрыта золотом или сыром? Там живут люди или демоны? Самые невообразимые теории и множество вопросов...

Конечно, когда более полувека назад люди впервые ступили на поверхность Луны, многие вопросы отпали, да и интерес к спутнику Земли поугас. Только фантасты за долгие годы не раз выстраивали причудливые версии и концепции использования Луны.

Уважаемые участники олимпиады! Вы, наверное, также неоднократно наблюдали за Луной и хорошо ее изучили. Ответьте тогда на следующие вопросы:

1. В какой фазе мы можем наблюдать Луну утром сразу после восхода Солнца?
2. Что такое Сарос?
3. Что такое пепельный цвет Луны и когда его можно наблюдать?
4. Что такое терминатор? У какого небесного тела его можно наблюдать невооруженным глазом?
5. Как называется самый крупный кратер на Луне и каковы его размеры?
6. Почему Луна обращена к Земле одной стороной?
7. Где расположен центр масс системы Земля-Луна?

8. Известна такая загадка о Луне: «Всю ночь за облаками светил фонарь с рожками». Найдите в загадке астрономическую ошибку.
9. Что такое либрация Луны?
10. В какое время суток мы видим Луну неделю спустя после новолуния?
11. Почему Луна у горизонта кажется более красной?
12. Почему во время лунных затмений Луна приобретает красный (кровавый) вид?
13. Что такое суперлуние?
14. На фоне звезд Луна движется с запада на восток, а заходит ежесуточно в западной части неба. Почему?
15. Если бы Луна не вращалась вокруг своей оси, то к какому наблюдательному эффекту это могло бы привести?
16. Чем отличаются лунные кратеры от лунных цирков?
17. Как образовались лунные моря?
18. Как изменяется температура поверхности Луны в разных точках лунного диска?
19. Какова максимальная высота гор на видимой стороне Луны?
20. На приведенном ниже рисунке художник изобразил убывающую Луну на фоне звездного неба. Что на этом рисунке изображено неправильно и почему?



Решение.

1. Утром после восхода Солнца мы можем наблюдать старую Луну (в последней четверти, перед новолунием).
2. Сарос (18,03 тропического года) промежуток времени, по прошествии которого затмения Луны и Солнца приблизительно повторяются в прежнем порядке.
3. Пепельный свет Луны — явление, когда мы видим Луну целиком, хотя Солнцем освещена только её часть. При этом неосвещённая прямым солнечным светом часть поверхности Луны имеет характерный пепельный цвет. Свечение неосвещённой прямым солнечным светом поверхности

Луны происходит за счет света, рассеянного Землей, а затем вторично отраженного Луной на Землю. Таким образом, маршрут фотонов пепельного света Луны таков: Солнце → Земля → Луна → Земля (наблюдатель на Земле). Наблюдается после новолуния и в конце последней четверти.

4. Линия светораздела, отделяющая освещённую (светлую) часть небесного тела от неосвещённой (тёмной) части. Терминатор наблюдается невооруженным глазом на Луне.
5. Самый крупный кратер расположен на обратной стороне Луны и называется Герцшпрунг. Его диаметр составляет 591 км, а глубина достигает 4,5 км.
6. Потому что Луна вращается вокруг своей оси с периодом равным периоду обращения Луны вокруг Земли.
7. Центр масс системы Земля-Луна расположен на расстоянии от центра Земли равном 4670 км, т.е. он расположен внутри Земли.
8. «Рогатой» Луна бывает в начале и в конце лунного месяца. Молодая Луна видна по вечерам и заходит вслед за Солнцем. Старая Луна восходит перед рассветом и видна утром. Чтобы светить всю ночь, Луна должна располагаться на небесной сфере напротив Солнца и быть полной, а не «рогатой».
9. Либрация Луны это медленное колебание (покачивание) спутника, наблюдаемое с поверхности Земли. Хотя период обращения Луны вокруг Земли равен периоду её обращения вокруг своей оси, либрация позволяет наблюдателю с Земли видеть в разные моменты времени лунный диск в несколько различающихся положениях. Таким образом, всего с Земли может наблюдаваться 59 % лунной поверхности.
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Либрация>.
10. Луну можно начать наблюдать перед заходом Солнца (она проявляется на небосводе по мере уменьшения интенсивности солнечного излучения). Смотреть надо на юг. Также в течение первой половины ночи, покуда Луна не зайдет за горизонт на западе.
11. У горизонта Луна более красная так в этом случае ее свет проходит через более плотные и толстые слои нашей атмосферы. Происходит поглощение и рассеяние коротковолновой, голубой части спектра. Красные лучи - более длинноволновые, рассеиваются значительно слабее.
12. При полном затмении Луна слегка подсвечивается солнечным светом, прошедшим через земную атмосферу и преломившимся в ней. А поскольку коротковолновое излучение поглощается и рассеивается более сильно чем коротковолновое, то именно красные лучи и будут подсвечивать Луну и придавать ее красный цвет.

13. Суперлуние это полнолуние во время нахождения Луны в перигелии своей орбиты. В это время угловой диаметр Луны на несколько процентов больше обычного.
14. Угловая скорость вращения небесной сферы, вызванная вращением Земли, больше угловой скорости движения Луны по орбите вокруг Земли.
15. С Земли можно было бы наблюдать всю поверхность Луны.
16. Лунные кратеры имеют центральные горки, а лунные цирки их не имеют.
17. Лунные моря представляют собой углубления, заполненные застывшей лавой.
18. Температура поверхности Луны зависит от высоты Солнца над горизонтом. В полнолуние, для наблюдателя в центре видимого диска Луны Солнце стоит в зените и температура поверхности наибольшая – больше 100-120 °С. У горизонта (на лимбе лунного диска) температура значительно ниже –50 °С. На обратной стороне Луны температура еще ниже (-170) – (-190) °С.
19. Пик Гюйгенса в лунных горах Апеннинах. Высота 5,5 км над уровнем Моря Дождей
20. На рисунке изображен серп старой Луны на фоне звезд. Наочной стороне Луны (не освещенной Солнцем) изображена звезда. Этого не может быть, т.к. звезды расположены очень далеко (за орбитой Луны), и Луна не прозрачна для света, идущего от звезд.

ЗАДАНИЕ 3

Наиболее крупным в обозримом будущем будет Чрезвычайно Большой Телескоп (*Extremely Large Telescope, ELT*) диаметр зеркала которого составит 39,3 метра. Его полная стоимость превысит 1,5 млрд. долларов, а строительство займет более 10 лет. Строительные работы начались в 2014 году на горе Армасонес в пустыне Атакама в Чили. 12 ноября 2015 года прошла церемония закладки первого камня в сооружение телескопа.

а) Определить увеличение, светосилу, разрешающую способность, проникающую силу, поле зрения этого телескопа если фокусное расстояние главного зеркала будет находиться в диапазоне 420-840 метров для 20 миллиметрового окуляра.

б) Во сколько раз светособирающая площадь этого телескопа больше светособирающей площади объектива космического телескопа «Хаббл» ($D=2,5$ м)? 10-метрового телескопа «Кека»?

- в) Во сколько раз возрастёт объём пространства, в котором ELT сможет наблюдать те же типы объектов, что телескопы «Хаббл» и «Кека»?
- г) Как изменится разрешающая способность телескопа ELT при переходе с зеленых лучей ($\lambda_3 = 550$ нм) на красные ($\lambda_K = 700$ нм) ?
- д) От звезды 5-й звездной величины на 1 см² земной поверхности падает ежесекундно около 10^4 фотонов. Сколько фотонов падает на фотоприемник телескопа ELT за 2 часа от звезды 25-й звездной величины? Потери в оптике не учитывать.
- е) Сможет ли разрешить телескоп ELT двойную звездную систему используя ПЗС матрицу с размером пикселей в 40 мкм если угловое расстояние между компонентами составляет 0,04”.

Решение.

а) Увеличение: $n = F / f$. Максимальное увеличение: $n_{max} = 2D$, где D – выражен в миллиметрах.

Светосила – $A = D / F$

Разрешающая способность телескопа $a = 1,22l/D$, где l - длина волны света. l и D – выражены в одних и тех же единицах, а - выражена в радианах. Или $a'' = 138 / D$ выражен в миллиметрах.

Проникающая сила телескопа (оптическая мощь) : $m = 2,1 + 5\lg D$, D – выражен в миллиметрах.

Более точной является формула Боуэна: $m_B = 5,5 + 2,5\lg D + 2,5\lg n$, где n – увеличение, D – выражен в миллиметрах.

Поле зрения телескопа: $\Pi = 2000 / n$, где n – увеличение телескопа.

$$n = 21000-42000$$

$$n_{max} = 78600$$

$$A = 0,094-0,047$$

$$a'' = 0,0035''$$

$$m = 25$$

$$m_B = 27,8-28,5$$

$$\Pi = 0,095-0,0475$$

б) $S_{ELT} / S_H = D_{ELT}^2 / D_H^2 = 247$.

$$S_{ELT} / S_K = D_{ELT}^2 / D_K^2 = 15,4$$

в) Объём пространства, в котором телескоп может наблюдать объекты $V \sim R^3$. Регистрируемый световой поток будет: $\Phi = E \times S$.

Освещенность, создаваемая объектом $E \sim 1/R^2$.

Тогда $R = E^{-0.5} = (\Phi / S)^{-0.5}$, а объем пространства $V \sim (\Phi / S)^{-1.5} \sim (S / \Phi)^{1.5}$.

$$V_{ELT} / V_H = S_{ELT} / S_H = (247)^{1.5} = 3881 \text{ раз.}$$

$$V_{ELT} / V_K = S_{ELT} / S_K = (15,4)^{1,5} = 60,4 \text{ раз.}$$

г) Разрешающая способность телескопа $a=1,22 l / D$. Тогда $a_K/a_3 = 700 / 550 = 1.27$. Разрешающая способность телескопа при наблюдениях в красных лучах уже в 1,27 раз.

д) Разница в 20 звездных величин уменьшает поток фотонов в $2,512^{25-5} = 10^8$ раз. Время экспозиции увеличивает поток фотонов в 7200 раз. Площадь главного зеркала увеличивает поток фотонов в $\pi D^2/4 = 11,94 \times 10^6$ раз. На фотоприемник телескопа ELT за 2 часа от звезды 25-й звездной величины будет падать $10^4 \times 7200 \times 11,94 \times 10^6 / 10^8 = 8,59 \times 10^6$ фотонов.

е) Разрешение телескопа составляет $0,0035''$ (смотри выше пункт **а** настоящей задачи). Этого достаточно для разрешения компонент двойной звезды.

Однако, при фотографировании астрономических объектов или ПЗС регистрации важное значение имеет масштаб (M) изображения в фокальной плоскости. Это отношение линейных размеров изображения объекта в фокальной плоскости к его угловым размерам на небе. Чтобы найти масштаб изображения, нужно знать линейные размеры l изображения и его угловые размеры a . Тогда масштаб изображения будет $M = l / a$. $l = 2 F \operatorname{tga}/2$, а при малых угловых размерах объекта $l = Fa$, если a выражено в радианах. Если a выражено в угловых секундах, то $l = Fa/206265\}$.

Тогда $M = F/206265'' = 840 \text{ (метров)} / 206265'' = 4,07 \text{ мм}''$.

В обратных величинах $0,24''/\text{мм}$ или $0,00024''/\text{мкм}$.

Значит на одном пикселе, ограничивающем разрешающую способность телескопа, уложится $40 \text{ мкм} \times 0,00024''/\text{мкм} \sim 0,01''$.

Это означает, что изображения компонент попадут на разные пиксели и телескоп ELT эту двойную звездную систему разрешит.

ЗАДАНИЕ 4

Транзитный метод, используемый телескопом Kepler при поиске экзопланет, позволил подтвердить существование у звезды Kepler-90 (G0V, $\pi = 0,00117''$) планетной системы с рекордным на сегодняшний день количеством экзопланет. В таблице ниже приведены значения больших полуосей a и периодов обращения P планет системы Kepler-90.

- Определите массу M звезды (в массах Солнца).
- Считая звезду Kepler-90 желтым карликом главной последовательности, вычислите температуру T поверхности звезды.

в) Вычислите расстояние (в а.е.) от звезды, на котором 1 m^2 поверхности, ориентированной перпендикулярно световым лучам, будет получать мощность излучения, равную солнечной постоянной $W_C = 1361 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

i	Экзопланета	$a, \text{ а.е.}$	$P, \text{ сут}$
1	Kepler-90 b	0,074	7,008
2	Kepler-90 c	0,089	8,719
3	Kepler-90 d	0,320	59,737
4	Kepler-90 e	0,420	91,939
5	Kepler-90 f	0,480	124,914
6	Kepler-90 g	0,710	210,594
7	Kepler-90 h	1,010	331,601
8	Kepler-90 i	0,118	14,449

Решение

а) 1-й вариант решения (среднее значение).

С использованием 3-го закона Кеплера вычисляем массу звезды Kepler-90 по параметрам a_i и P_i каждой i -ой планеты и находим среднее значение массы:

$$\langle M \rangle = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \frac{4\pi^2 a_i^3}{G T_i^2} = 1,13 M_C.$$

2-й вариант решения (метод наименьших квадратов – МНК).

Из 3-го закона Кеплера $a^3/T^2 = GM/4\pi^2$ путем логарифмирования получим зависимость

$$\lg T = 0,5 \lg(4\pi^2/GM) + 1,5 \lg a.$$

Обозначим $\lg T = y$, $\lg a = x$. На графике зависимости $y(x)$ отметим точки, соответствующие планетам системы Kepler-90. С помощью метода наименьших квадратов определим параметр сдвига $b = 0,5 \lg(4\pi^2/GM)$ линейной функции, наилучших образом описывающей точки на графике, согласно выражению

$$b = \langle y \rangle - k \langle x \rangle = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i - \frac{k}{8} \sum_{i=1}^8 x_i = 6,640 - 1,5 \cdot 10,619 = -9,2885,$$

где $k = 1,5$ – угловой коэффициент линейной функции. По значению b вычисляем массу звезды:

$$M = \frac{4\pi^2}{G} 10^{-2b} = 1,123 M_C.$$

б) Для звезд главной последовательности выполняются соотношения $L \sim M^{3,9}$ и $L \sim R^{5,2}$. Поэтому можно записать

$$\left(\frac{M}{M_C}\right)^{3,9} = \left(\frac{R}{R_C}\right)^{5,2}, \text{ а также } \frac{L}{L_C} = \left(\frac{R}{R_C}\right)^2 \left(\frac{T}{T_C}\right)^4 = \left(\left(\frac{M}{M_C}\right)^{\frac{3,9}{5,2}}\right)^2 \left(\frac{T}{T_C}\right)^4 = \left(\frac{M}{M_C}\right)^{3,9},$$

откуда легко получить

$$T = T_C \left(\frac{M}{M_C}\right)^{0,6} = 6200 \text{ K},$$

если масса звезды $M = 1,123M_C$ (определена по МНК), $T_C = 5780 \text{ K}$ – эффективная температура поверхности Солнца.

в) Светимость звезды Kepler-90 составляет $L = (M/M_C)^{3,9} L_C = 1,572L_C$.
Искомое расстояние найдем из выражения

$$\frac{L}{4\pi a_x^2} = W_C,$$

где $W_C = 1360 \text{ Вт}/\text{м}^2$ – солнечная постоянная. В итоге получим $a_x = 1,254 \text{ а.е.}$