

ВАРИАНТ 2

ЗАДАНИЕ 1 ЯРКИЕ ЗВЕЗДЫ

Ниже перечислены в произвольном порядке 10 ярких звезд, наблюдаемых на звездном небе: Бетельгейзе, Вега, Прокцион, Ригель, Сириус, Капелла, Толиман, Канопус, Ахернар, Арктур.

А) Составьте таблицу, в которой расположите их в порядке возрастания яркости с указанием значения звездной величины для каждой звезды.

Б) Запишите их принадлежность к созвездию на русском языке и обозначения по каталогу Байера-Флемстида (по аналогии с приведенной ниже таблицей).

№	Собственное название	Принадлежность к созвездию на русском языке	Обозначение по каталогу Байера-Флемстида
1	Регул	α Льва	α Leo
2	Спика	α Девы	α Vir

В) Какие из этих звезд можно наблюдать из города Минск, а какие нет? Широту Минска принять равной 54° . Рефракцию не учитывать. Ответ обосновать.

Г) Какая из этих звезд восходит в городе Минск раньше всего. Ответ обосновать.

Д) Какие из этих звезд наблюдаются, а какие нет в городе Дубай, ОАЭ (широта 25°)? Ответ обосновать.

Решение (20 баллов):

А) (4 балла) Из запроса в Гугл «звездные величины 10 наиболее ярких звезд» следует:

Бетельгейзе $m=0,50$,

Ахернар $m=0,46$,

Прокцион $m=0,38$,

Ригель $m=0,12$,
Капелла $m=0,08$,
Вега $m=0,03$,
Арктур $m=-0,05$,
Толиман $m=-0,27$,
Канопус $m=-0,72$,
Сириус $m=-1,46$.

Б) (4 балла)

№	Собственно е название	Принадлежност ь к созвездию на русском языке	Обозначени е по каталогу Байера- Флемстида
1.	Бетельгейзе	α Ориона	α -Ori
2.	Вега	α Лиры	α -Lyr
3.	Процион	α Малого Пса	α -CMi
4.	Ригель	β Ориона	β -Ori
5.	Сириус	α Большого Пса	α -CMa
6.	Капелла	α Возничего	α -Aur
7.	Толиман	α Центавра	α -Cen
8.	Канопус	α Киля	α -Car
9.	Ахернар	α Эридана	α -Eri
10	Арктур	α Волопаса	α -Bao

В) (4 балла) Наблюдаются те звезды, у которых склонение больше -36° .

Наблюдаются:

Сириус,
Арктур,
Вега,
Капелла,
Ригель,
Процион,
Бетельгейзе.

Не наблюдаются:

Ахернар,
Толиман,
Канопус.

Г) (4 балла) Раньше всего в городе Минск восходит Арктур.

Д) (4 балла) Из города Дубай будут наблюдаться все перечисленные звезды.

ЗАДАНИЕ 2

НАБЛЮДЕНИЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Готовясь к настоящей олимпиаде, участники изучали звездное небо и его наблюдали. Рассмотрите представленные ниже ситуации и ответьте на несколько вопросов.

А) Ночью в конце июля недалеко от полной Луны был виден яркий красно-оранжевый объект. Он был похож на Альдебаран, однако он также был похож и на Марс. Какой наблюдался объект.

Б) Одна из ярких звезд наблюдалась в некоторый момент в городе Минск ($\varphi \sim 54^\circ$) в зените. На какой высоте над горизонтом ее можно будет наблюдать через 12 часов?

В) В ночь с 18 на 19 сентября необходимо пронаблюдать четыре звезды: α Орла, α Волопаса, ζ Тельца, θ Водолея. В каком порядке их можно пронаблюдать в эту ночь и почему.

Г) В записках путешественника находятся такие строки: «Море спокойно. Орион погружается в его теплые воды, согреты жарким июльским солнцем. Еще можно долго наблюдать звездное небо, ведь до восхода Солнца еще шесть часов». В чем ошибка описанной ситуации.

Решение (20 баллов):

А) (5 баллов) В июле Солнце может находиться в созвездиях Близнецов и Рака. Альдебаран находится в созвездии Тельца, которое расположено вблизи указанных созвездий. Значит, Альдебаран в момент наблюдения находился недалеко от Солнца. Но в момент полнолуния Луна находится с противоположной стороны от Солнца, так что не может оказаться рядом с Альдебараном. Значит наблюдался Марс.

Б) (5 баллов) Поскольку высота полюса мира над горизонтом равна широте места наблюдения, то угол между Северным полюсом мира и звездой составляет 36° . Так, как цефеида была в зените, то она находилась в верхней кульминации. Через 12 часов она будет в нижней кульминации и будет на 38° ниже Северного полюса мира. Ее высота над горизонтом будет равна $54^\circ - 36^\circ = 18^\circ$.

В) (5 баллов) Рассматриваемая ночь находится вблизи даты осеннего равноденствия. Можно принять, что Солнце расположено около точки осеннего равноденствия, т.е. в созвездии Девы. На востоке созвездие Дева граничит с созвездием Весы, а на севере с созвездием Волопас. Значит, сразу после захода Солнца можно будет пронаблюдать α Волопаса. Двигаясь по эклипке на восток после Весов идут Скорпион, Змееносец, Стрелец,

севернее которого расположено созвездие Орел, в котором наблюдается α Орла. После Скорпиона идет Козерог, а потом Водолей где будет наблюдаться звезда θ Водолея. Далее расположены созвездия Рыбы, Овен и Тельца в котором наблюдается ζ Тельца.

Г) (5 баллов) В июле Солнце находится в созвездиях Близнецы и Рак. Эти созвездия расположены на небе близко к созвездию Ориона, причем восточнее и севернее него. Это означает, что во время наблюдения Солнце находилось вблизи Ориона к северо-востоку от него.

Если путешественник находился в северном полушарии, то в момент погружения Ориона за горизонт Солнце еще не зашло. В связи с этим наблюдать созвездие Орион на заходе будет невозможно.

Если путешественник находился в южном полушарии, то Орион некоторое время после захода Солнца находится над горизонтом, т.к. Орион южнее Солнца (выше над горизонтом) и находится над горизонтом больше времени, чем Солнце. Однако это возможно только в высоких широтах Южного полушария. Там в это время зима и нет теплых вод.

ЗАДАНИЕ 3 БОЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОПРАВКА

Через фильтр V , используемый в широкополосной фотометрической системе UBV , проходит лишь часть полной световой энергии от звезды. Для горячих звезд это лишь небольшая часть, поскольку максимум их спектра располагается в УФ-области. Поэтому для получения правильного значения светимости звезды необходима корректировка измеряемой с помощью фильтра V звездной величины, которая выполняется введением болометрической поправки. В таблице представлены значения болометрической поправки BC_V и эффективной температуры поверхности $T_{\text{эфф}}$ горячих звезд класса светимости III.

Спектральный класс	$T_{\text{эфф}}$, К	BC_V
O3	50 000	— 4,58 ^m
O5	42 500	— 4,05 ^m
O7	37 000	— 3,58 ^m
O9	32 000	— 3,13 ^m

B0	29 000	— 2,88 ^m
B2	20 300	— 2,02 ^m
B3	17 100	— 1,60 ^m
B5	15 000	— 1,30 ^m
B7	12 300	— 0,97 ^m
B8	12 400	— 0,82 ^m

А) Определите параметры линейной модели, описывающей зависимость BC_V от $\lg(T_{\text{эфф}}/T_{\text{эфф}\odot})$ наилучшим образом, и запишите полученное калибровочное уравнение.

Б) С использованием полученного калибровочного уравнения определите болометрическую абсолютную звездную величину M_{bol} звезды η Тау (B7IIIe, $V = +2,87^m$, $\pi = 0,008''$), эффективная температура поверхности которой равна $T_{\text{эфф}} = 12\,300$ К.

В) Вычислите радиус R звезды η Тау в единицах радиуса Солнца.

Примечание: принять болометрическую абсолютную звездную величину Солнца равной $M_{\text{bol}\odot} = +4,74^m$, а эффективную температуру поверхности Солнца равной 5780 К.

Решение (20 баллов):

А) (8 баллов) Метод наименьших квадратов позволяет найти линейную зависимость, которая наилучшим образом описывает данные.

Угловой коэффициент:

$$a = \frac{\langle \lg \theta \cdot BC_V \rangle - \langle \lg \theta \rangle \cdot \langle BC_V \rangle}{\langle \lg^2 \theta \rangle - \langle \lg \theta \rangle^2} = -5,92,$$

где $\theta = T_{\text{эфф}}/T_{\text{эфф}\odot}$.

Коэффициент сдвига $b = \langle BC_V \rangle - a \langle \lg \theta \rangle = 1,144$.

Калибровочное уравнение: $BC_V = -5,92 \lg \left(\frac{T_{\text{эфф}}}{T_{\text{эфф}\odot}} \right) + 1,144$.

Б) (6 баллов) Подставляя значение температуры звезды η Тау, равное $T_{\text{эфф}} = 12\,300\text{ K}$, в калибровочное уравнение, получаем $BC_V = -0,80^{\text{m}}$.

Абсолютная звездная величина звезды в V -лучах: $M_V = V + 5 + 5 \lg \pi = -2,61^{\text{m}}$.

Болометрическая абсолютная звездная величина звезды:
 $M_{\text{bol}} = M_V + BC_V = -3,41^{\text{m}}$.

В) (6 баллов) Светимость звезды: $\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{M_{\text{bol}\odot} - M_{\text{bol}}} \approx 1820$.

Радиус звезды в радиусах Солнца: $\frac{R}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L}{L_{\odot}} \left/ \left(\frac{T_{\text{эфф}}}{T_{\text{эфф}\odot}} \right)^4 \right.} = 9,42$.

ЗАДАНИЕ 4 МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

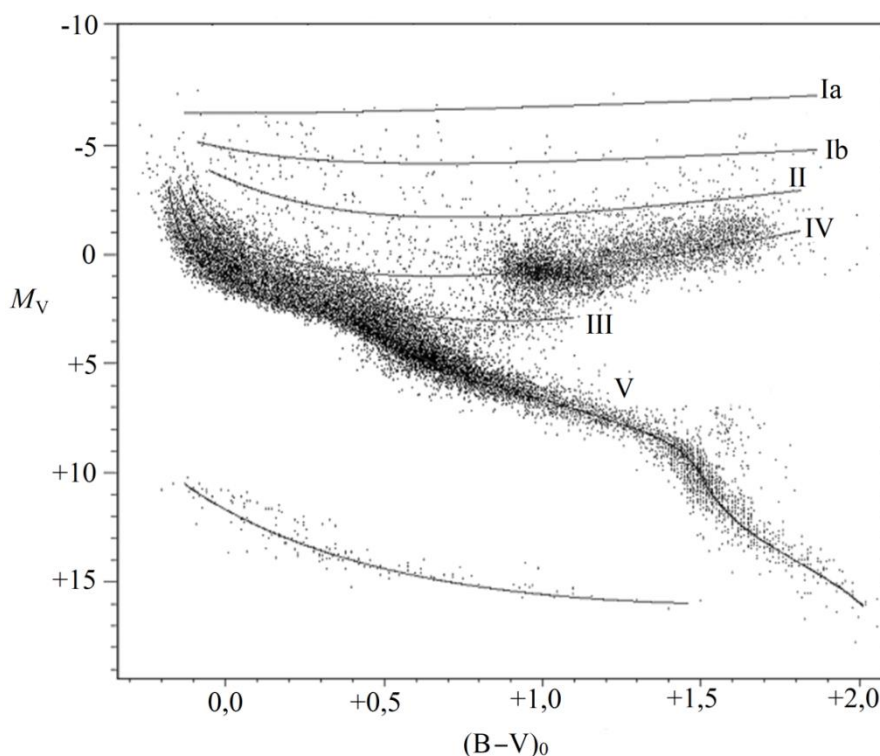
Звезда гигант (F3II, $V = +2,6^{\text{m}}$) имеет наблюдаемый показатель цвета ($B-V$) = $+0,61$. Межзвездное поглощение A_V света этой звезды оценено в $0,8^{\text{m}}$.

А) Вычислите видимую звездную величину V_0 , которую имела бы данная звезда при отсутствии межзвездного поглощения.

Б) Учитывая, что отношение полного поглощения к селективному поглощению $A_V/E(B-V)$ в среднем для Млечного Пути равно 3,1, найдите собственный показатель цвета $(B-V)_0$ для этой звезды.

В) Вычислите расстояние d до звезды (в килопарсеках).

Г) В рамках модели однородной поглощающей среды определите быстроту a_V ослабления света звезды с увеличением расстояния (в единицах $\text{m}/\text{кпк}$).



Решение (20 баллов):

А) (5 баллов) Межзвездное поглощение $A_V = V - V_0$, следовательно, $V_0 = V - A_V = +1,8^m$.

Б) (5 баллов) По условию $A_V/E(B-V) = 3,1$, значит избыток цвета равен $E(B-V) = A_V/3,1$. По определению избыток цвета есть разность $E(B-V) = (B-V) - (B-V)_0$, откуда находим

$$(B-V)_0 = (B-V) - E(B-V) = (B-V) - A_V/3,1 = +0,35.$$

В) (5 баллов) Из диаграммы Герцшпрунга-Рассела, представленной в координатах $(B-V)_0$ и M_V , для класса светимости II определим абсолютную звездную величину M_V звезды в фильтре V через найденное значение собственного показателя цвета. Получается значение $M_V = -2,0^m$. Из формулы $M_V = V_0 + 5 - 5 \lg d$ определим расстояние до звезды: $d = 0,058$ кпк.

Г) (5 баллов) Быстроту a_V ослабления света с увеличением расстояния l есть отношение $a_V = \Delta A_V / \Delta l$, которое в случае однородной поглощающей среды будет иметь вид $a_V = A_V / d = 13,8^m/\text{кпк}$.

ЗАДАНИЕ 5

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

В таблице приведены результаты наблюдения некоторых галактик. В первом столбце указано красное смещение, во втором – расстояние до соответствующих галактик, определенное альтернативным методом.

Красное смещение, z	Расстояние до галактики, D , Мпк
0,135	545
0,142	582
0,155	619
0,174	697
0,172	724
0,191	791
0,221	820
0,241	935
0,295	1148
0,448	1685
0,462	1792
0,512	1915

А) Составьте модель линейной регрессии, позволяющую определить постоянную Хаббла и параметр замедления, вида:

$$Y = aX + b,$$

где X и Y выражаются через данные из таблицы, а параметры a и b подлежат определению.

Указание: для не очень больших красных смещений зависимость между красным смещением z и расстоянием D можно описать с помощью формулы:

$$z = \frac{HD}{c} + \frac{1}{2c^2}(1+q)H^2D^2.$$

Здесь $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме, H – постоянная Хаббла, а q – параметр замедления.

Б) Используя метод наименьших квадратов, найдите параметры модели и с их помощью значения постоянной Хаббла и параметра замедления.

В) Определите, с какой скоростью удаляется наиболее дальняя из представленных в таблице галактик.

Решение (20 баллов)

А) (5 баллов)

Перегруппируем данное нам уравнение таким образом, чтобы получилась линейная зависимость от данных:

$$\frac{cz}{D} = \frac{1}{2c}(1+q)H^2D + H.$$

Таким образом,

$$X = D; \quad Y = \frac{cz}{D}; \quad a = \frac{1}{2c}(1+q)H^2; \quad b = H.$$

Б) (10 баллов)

Проведем вычисления по методу наименьших квадратов.

$$S_X = \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x}) = 227478,4 \text{ Мпк}^2;$$

$$S_{XY} = \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = 954,1447 \text{ км/с}.$$

Таким образом $a = S_{XY}/S_X = 0,004194 \text{ км/с} / \text{Мпк}^2$, $b = 71,77 \text{ км/с} / \text{Мпк}$.

Следовательно, $H = b = 71,77 \text{ км/с} / \text{Мпк}$, $q = 2ca/H^2 - 1 = -0,513$.

В) (5 баллов) По закону Хаббла получим:

$$v = HD = 1,37 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Ответы: А) $\frac{cz}{D} = \frac{1}{2c}(1+q)H^2D + H$; Б) $71,77 \text{ км/с} / \text{Мпк}$, $-0,513$. В) $1,37 \cdot 10^8 \text{ м/с}$