**11 класс**

**Решения**

1. Оценку температуры планеты можно определить из равенства энергии, попадающей на Землю от Солнца Е=(1-А)I☉, и излучаемой Землей в космос Е=σТ4. Здесь А – альбедо Земли, I☉=1367 Вт/м2 – солнечная постоянная для Земли, σ=5,67⋅10-8 Дж·с−1·м−2⋅К−4:

,

а *I* в случае наличия поглощающей материи между Землей и Солнцем определяется из закона Бугера

,

где *а*=1 а.е. – большая полуось земной орбиты, *k* – коэффициент поглощения излучения пылевой материей в оптическом диапазоне спектра

Таким образом, если коэффициент поглощения составит величину k=1 (а.е.)-1, то солнечная постоянная для Земли уменьшится в *e* раз, до *I*=502.6 Вт/м2, и температура на планете значительно уменьшится до $T=\frac{1}{e^{0.25}}$≈198 К =-75 С

При этом видимый блеск Солнца составит

=-25.7,

где *m*🞊=-26,8 – видимый блеск Солнца на земном небе при отсутствии поглощения.

То есть, глаз человека такого изменения яркости Солнца не зафиксирует.

**Рекомендации**. Знание уравнения энергетического баланса – 4 балла, закона Бугера – 2 балла, умеет применять формулу Погсона – 2 балла.

1. Отношение светимостей Веги и Солнца равно: L/ L๏. Расстояние до Веги находим по её параллаксу: r = 1/π; r = 1/0,12"≈ 8,3 пк ≈ 1.7∙106 *а.е*. Видимая звёздная величина Солнца на расстоянии 8,3 пк равна (по формуле Погсона) mr  = lg (r๏/r)² = 0,4∙(mr - m๏), где mr = -26,8m – видимая звёздная величина Солнца на расстоянии r๏ = 1 *а.е.* Для звёзд, находящихся на одном расстоянии от наблюдателя, отношение их яркостей равно отношению светимостей. Следовательно, lg(L/L๏) = 0,4∙(mr – m) = 1,76; L/L๏ = 101,76≈58, где m = 0m – видимая звёздная величина Веги.

Пусть *х* – расстояние от Солнца до точки вблизи прямой Солнце-Вега, из которой звёздные величины Солнца и Веги равны. Расстояние от этой точки до Веги равно:

1) r – *x*, или r + *x*. Для первого случая, так как видимая звёздная величина обратно пропорциональна квадрату расстояния, можно составить пропорцию:

L๏ / L = (x / r – *x*)². Тогда *x* = 0,97 пк.

2) аналогично:

L๏ / L = (*x*/r + *x*)². Получим x = 1, 26 пк.

Ответ: на расстоянии 0,97 пк по направлению к Веге и 1,26 пк по направлению от Веги к Солнцу обе звезды для наблюдателя будут одинаково яркими.

**Рекомендации.** Знание формул для годичного параллакса и Погсона –
по 2 балла. Знание того, что отношение блеска звезд, находящихся от нас на одинаковом расстоянии равно отношению их светимостей – 2 балла. Описание двух случаев расчета – 2 балла.

1. Газ в ядре представляет собой смесь электронов и ионизованных атомов (ионов).

Полное давление газа в звезде равно сумме давления электронного газа Ре и ионного газа Ри, то есть P = Ре + Ри.

Для идеальных газов Pе = nekT, Pи = nиkT, P = (nе + nи)kT,

где nе и nи - концентрации электронов и ионов соответственно. Для оценки их

относительных значений учтём, что в нейтральном атоме число протонов и электронов равны. Поскольку все атомы полностью ионизованы, на каждый атом приходится столько свободных электронов, сколько протонов содержит его ядро, то есть, каждый атом водорода дает один электрон, гелия - 2, а углерода - 6 электронов. Поэтому, если обозначить через nн, nНе и nc концентрации ионов водорода, гелия и углерода соответственно, то полные давления Ре + Ри будут равны:

для водородо-гелиевого ядра звезды:

P1 = (nн + nHe) кТ1 + (nНе + 2nНе) кТ1 - (2nн + 0,3 nн) кТ1 = 2,3 nн kТ1,

а для углеродного ядра:

Р2 = (nс + 6nс) kТ2 = 7 nс kТ2.

Теперь надо найти связь между концентрациями nн и nс. По условию задачи, плотности вещества в ядрах двух звёзд одинаковы. Поскольку практически вся масса вещества находится в ядрах атомов, плотность ρ каждого вещества равна концентрации ионов, умноженной на массу иона, которая пропорциональна атомному весу элемента. Таким образом, получаем:

АH·nн + АНе·nНе = Ас·nс или nн·(1 + 4·0,1) = 12 nc, откуда nH ≈ 8,6 nс.

Наконец, из равенства давлений P1 = Р2, получаем:

2,3·nH·kT1=7·nc·kT2.

Сокращая k и учитывая, что nн ~ 8,6 nс, получаем, что Т2 ≈ 2,8 Т1*.*

Ответ: ядро углеродной звезды имеет температуру 5,6·107 К.

**Рекомендации**. Знание того, что давление газа в звезде равно сумме давления электронного и ионного газа – 3 балла. Формула давления газа – 2 балла. Связи между концентрациями – 3 балла.

1. Для землян годичный параллакс какого-либо объекта – это по определению угловой размер большой полуоси земной орбиты (расположенной перпендикулярно направлению на объект), видимый с этого объекта. Очевидно, что для «зелёных человечков» параллакс Солнца – это угловой размер большой полуоси орбиты их планеты, видимой с Солнца. То есть, π = a/L, где π = 0,039" – параллакс Солнца, L = 120 св.лет - расстояние от звезды «зелёных человечков" до Солнца, а - большая полуось орбиты планеты «зелёных человечков». Тогда а = π·L. Период обращения планеты Т можно определить из III Закона Кеплера. Учитывая, что звезда «зелёных человечков» по всем параметрам – в том числе и массе – аналогична Солнцу, получаем:

Т/Тз = (а/аз)3/2 = (π·L/аз)3/2,

где Тз и aз – период обращения вокруг Солнца и большая полуось орбиты Земли.

Считая, что год равен периоду обращения планеты вокруг звезды, получаем:

Т = Тз·(π·L/аз)3/2 =

= 1 год⋅(0,039"/206265"⋅120 лет⋅365,25 сут/лет⋅86400 сек/сут⋅3·108 м/сек / 1,496⋅1011 м)3/2== 1 год⋅1,443/2 ≈ 1,72 года.

То есть, эта планета отстоит от своей звезды чуть ближе, чем Марс от Солнца.

**Рекомендации.** Применение определения годичного параллакса к Солнцу –
3 балла.

1. По низкой кpугoвoй opбите кopaбль движется практически с первой космической скоростью V2=GМ/R, гдe M и R - мacca и pадиyс планеты.

Егo opбитaльный пepиoд paвен P=2πR/v=2π(R3/GМ)1/2.

Поскольку средняя плотность планеты ρ=М/(4πR3/3), получим в итоге ρ=3π/(GP2). Следовательно, определив с помощью часов период обращения космического корабля вокруг планеты можно оценить ее среднюю плотность.

1. За счет эффекта Доплера линии в спектре звезды сдвинуты в синюю строну

$\frac{∆λ}{λ}=\frac{v}{c}$.

За счет гравитационного красного смещения – в красную сторону

$\frac{Δλ}{λ}=\frac{GM}{Rc^{2}}$.

Вычисления показывают, что эти эффекты компенсируют друг друга и смещения линий в спектре белого карлика в данном случае не наблюдается.