

Летние учебно-тренировочные сборы по астрономии

Теоретический тур — IOAA

28 июня – 12 июля 2016 года

Короткие задачи

Задача 1. Багровый ужас

«Расстояния до звёзд столь велики, что никакие астрономические инструменты не дают возможности наблюдать непосредственно их диски. Лишь у некоторых звёзд угловые размеры диска превышают разрешающую способность крупных телескопов, что дает возможность фотографированием с очень короткими экспозициями “восстановить” изображение звезды.» (По материалам Astronet.ru)

Тем не менее, какие-то разведданные у нас есть. Для некоторой яркой звезды ($m_{\text{bol}} = 0.9$) измерения углового диаметра дали значение $\gamma \approx 10 \text{ mas}$. Какого она цвета?

Задача 2. Циклотрон

Циклотронной частотой f называют частоту обращения заряженной частицы в постоянном однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$ в плоскости, перпендикулярной $\vec{B}$.

- а) Запишите соотношение между f , $\vec{B}$, зарядом частицы q и её массой m .
- б) Найдите модуль индукции магнитного поля B_{MW} , при которой циклотонная частота свободных электронов совпадает с используемой в микроволновых печах $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ ГГц}$.

Задача 3. День Луны

В последний день XLVI Международной физической олимпиады, 17 июля 2016 года Луна пересекает меридиан Цюриха в 23:46 (центральноевропейского времени). В августе 2016 года произойдёт полутеневое лунное затмение продолжительностью около получаса. Найдите его дату и охарактеризуйте условия наблюдения в Цюрихе. Орбиты Луны и Земли считать круговыми, рефракцией и угловыми размерами Луны, уравнением времени пренебречь.

Город	Цюрих
Страна	Швейцария
Кантон	Цюрих
Округ	Цюрих
Координаты	N 47° 23' E 8° 32'
Часовой пояс	UTC+1
Площадь	92 км ²
Высота центра	408 м
Население	400 тыс.
Агломерация	1.2 млн
Летнее время	Да, +1
Автомобильный код	ZH

Задача 4. Аккреция на нейтронную звезду

На нейтронную звезду радиусом $R = 10$ км и массой $M = 1.4M_{\odot}$ происходит аккреция холодного межзвездного газа с темпом 10^{15} г/с. Из-за магнитного поля, искажающего сферическую аккрецию, вещество выпадает на две площадки в районе полюсов нейтронной звезды, суммарная площадь которых составляет 2 км^2 . Считая, нагрев и свечение полюсов нейтронной звезды происходят благодаря полной передаче энергии аккрецирующего вещества поверхности нейтронной звезды, определите температуру её полярных областей.

Задача 5. Dolce Vita

Оцените, во сколько раз отличаются количества видимых звёзд на квадратный градус в зените при наблюдениях в чистом поле и лёжа на дне бассейна глубиной в два метра в *алмазных* очках для плавания?

Показатель преломления $n_w = 1.33$, алмаза $n_d = 2.42$, температура воздуха $t_a = +26^\circ\text{C}$. Поглощением, дисперсией и поляризацией света в средах можно пренебречь, границы раздела сред гладкие, звёзды распределены в пространстве равномерно.

Подсказка. В случае нормального падения света на границу раздела двух сред с показателями преломления n_1 и n_2 энергетический коэффициент отражения

$$R = \left| \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right|^2.$$

Задача 6. Предел ГЗК

В 1966 году Георгием Зацепиным и Вадимом Кузьминым, и независимо от них Кеннетом Грайзенем было предсказано, что протоны с энергией выше определённого порога взаимодействуют с фотонами, рождая пионы:

$$\gamma + p \rightarrow \Delta^+ \rightarrow p + \pi^0 \text{ или } n + \pi^+.$$

Эта реакция приводит к тому, что космическое пространство, заполненное реликтовым излучением, становится непрозрачным для ультрарелятивистских протонов, поэтому они не могут наблюдаться в космических лучах.

Оцените пороговую энергию протона, при которой возможен описанный процесс. Массы протона и нейтрона $M \simeq 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг, заряженного и нейтрального пионов $m \simeq 2.4 \cdot 10^{-28}$ кг.

Подсказка. Энергия, импульс и масса частицы связаны соотношением $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$.

Задача 7. Вращающийся наблюдатель

Спутник движется в обратном направлении по круговой экваториальной орбите на высоте $h = 5000$ км. Определите видимые угловые скорости спутника в моменты, когда он находится в зените и на горизонте для наблюдателя на экваторе Земли. Ответ выразите в угловых минутах в секунду.

Задача 8. Северная столица

Определите длину тени на горизонтальной поверхности от вертикальной мачты с высотой $H = 8$ м и диаметром $D = 20$ см в местный солнечный полдень в день зимнего солнцестояния в Петербурге ($\varphi = 60^\circ$). Угловой размер Солнца равен $\rho_{\odot} = 32'$.

Задача 9. Энергия вакуума

Определите отношение плотности энергии реликтового излучения (температура $T \approx 3$ К) к плотности энергии покоя протонов в межгалактическом веществе (концентрация $n \sim 1 \text{ м}^{-3}$).

Задача 10. Мегамазер

В туманности Клеймана-Лоу наблюдают компактный радиоисточник в мазерной линии водяного пара $\lambda = 1.35$ см. Известно, что источник имеет радиус около 0.05 а.е., а его яркостная температура на данной длине волны достигает 10^{17} К. Оцените расстояние до источника, если измеренная плотность потока излучения от него составила 1.7 МЯн.

Задача 11. Две фамилии

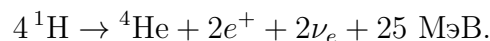
Межгалактический маяк представляет собой изотропный, компактный и яркий источник. Для земного наблюдателя его болометрическая звёздная величина $m = 5.2$. Какую болометрическую величину маяка m' измерят на ракете «Нейтрон», пролетающей мимо солнечной системы со скоростью $v = 0.7c$ в сторону маяка?

Задача 12. Pas de deux

В момент захода Солнца азимут центра его диска был равен $A_0 = 98.0^\circ$, а скорость изменения этой величины составляла $b = 12.87'/\text{мин}$. Найдите дату наблюдения. Уравнение времени было положительным. Рефракцией пренебречь.

Задача 13. Нейтрино

В 1938 году Бете предположил, что ядерная реакция синтеза гелия из водорода, происходящая в ядре Солнца, — это его источник энергии. Результирующее уравнение ядерной реакции:



Электронные нейтрино ν_e , которые получаются в этой реакции, можно считать безмассовыми. Они вылетают из Солнца и их обнаружение на Земле подтверждает то, что внутри Солнца происходят ядерные реакции.

а) Рассчитайте плотность потока нейтрино Φ_ν , достигающих Земли. Считайте, что энергия, излучаемая Солнцем, полностью получается в реакции, приведенной выше. Вы можете пренебречь энергией, уносимой нейтрино.

На пути к Земле часть электронных нейтрино превращается в нейтрино других типов ν_* . Эффективность детектирования ν_* составляет $1/6$ эффективности детектирования ν_e .

Если бы не происходило превращения нейтрино, мы бы детектировали N_1 нейтрино в год. Однако из-за этих превращений детектируется N_2 нейтрино в год (ν_e и ν_* вместе).

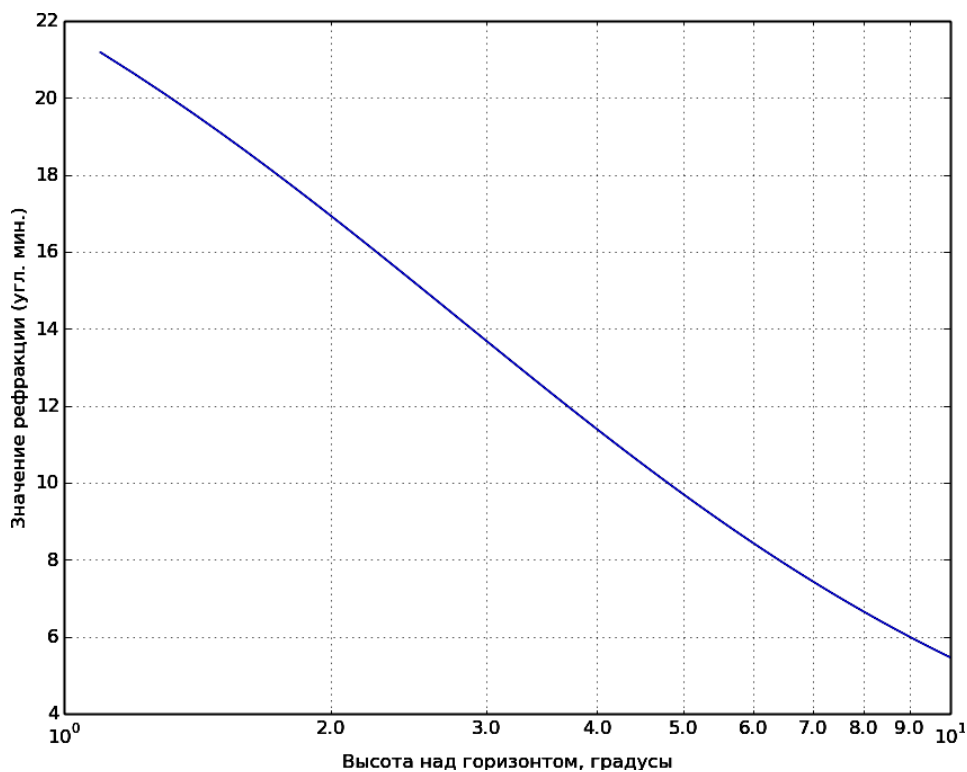
б) Какая доля f частиц ν_e превращается в ν_* , если $N_1/N_2 = 2.25$?

Задача 14. Быть, а не казаться

Производится фотографирование области неба размером $10.0'$ по высоте и $10.0'$ по азимуту на высоте 2.7° над горизонтом. Определите истинные угловые размеры этой области. Зависимость

величины атмосферной рефракции R от *истинной* высоты светила h имеет следующий приближённый вид (график соответствует приведённому ниже выражению):

$$R = \frac{1.02'}{\tan \left(h + \frac{(3.21^\circ)^2}{h + 5.11^\circ} \right)}.$$



Задача 15. Истина в Вине

В радиодиапазоне наблюдаются два абсолютно чёрных объекта с совпадающими физическими характеристиками. Один находится в нашей галактике, а другой — в галактике с красным смещением $Z = 0.1$. Их температуры больше эффективной температуры Солнца.

Найдите отношение “наблюдаемых” светимостей данных объектов в узкой полосе длин радиоволн. “Наблюдаемая” светимость = освещённость $\times 4\pi$ (расстояние до объекта в момент приёма)².