

★ Белорусские астрономические олимпиады ★

**Задания для заключительного этапа
XXI Республиканской олимпиады по астрономии**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

24 марта 2015 года



1. Короткие задачи

- 1.1 14 марта 2015 года путешественники, находившиеся в кафе на набережной у поверхности реки Сены на расстоянии 403 м от Эйфелевой башни, видели Солнце, закрываемое верхушкой башни. Определите, в каком направлении находится кафе относительно Эйфелевой башни, и истинное солнечное время наблюдения.
- 1.2 Если бы астрономы жили на Марсе, они назвали бы средний радиус орбиты своей планеты астрономической единицей. Если бы они определили парсек таким же образом, как и мы на Земле, сколько марсианских астрономических единиц содержал бы такой парсек? Чему был бы он равен в земных астрономических единицах? В земных парсеках? Считайте средний радиус орбиты Марса равным 1.524 а.е.
- 1.3 Чему равно наибольшее число пересечений звездой математического горизонта за солнечные сутки в некоторой точке Земли? Атмосферной рефракцией нужно пренебречь.
- 1.4 Как известно, на Марсе не бывает солнечных затмений, так как размеры спутников слишком малы, чтобы закрыть Солнце целиком. А бывают ли полные затмения Солнца на Плутоне его спутником Хароном? Если да, то рассчитайте время максимально возможной продолжительности полной фазы, если нет, то рассчитайте продолжительность прохождения спутника по диску Солнца.
- 1.5 Телескоп с высокоточным спектрографом ведет поиски экзопланет. Для этого он постоянно проводит мониторинг 200 звезд, измеряя их лучевые скорости (минимальная измеряемая скорость равна 20 м/с). Если допустить, что все эти звезды имеют массу, равную массе Солнца, и вокруг каждой из них обращается одна планета типа Юпитера (Юпитер легче Солнца в 1000 раз) на расстоянии 0.1 а.е. от звезды, то сколько планет удастся открыть телескопу?

2. Лед в протосолнечной туманности

Рассмотрим протосолнечную туманность, содержащую водород, гелий, металлы и молекулы. Массовая доля водорода в туманности составляет $X = 0.74$, а концентрации кислорода и водорода связаны соотношением $\log(n_O/n_H) = -3.2$. Будем также считать, что туманность сферически-симметричная, а плотность газа внутри описывается законом:

$$\rho(r) = 10^{-9} \text{ г/см}^3 (r/\text{а.е.})^{-2.8}.$$

(а) Предположим, что весь кислород в протосолнечной туманности содержится в форме паров воды (H_2O). Чему равна плотность пара (в г/см³) на расстоянии 5 а.е. от центра туманности? Молекулярную массу воды считайте равной 18.

(б) На таком расстоянии температура вещества составляет 75 К. Оцените среднюю тепловую скорость водяных молекул, соответствующую данной температуре. Выразите ответ в км/с.

(с) Рассмотрим процесс роста кристалликов льда на расстоянии 5 а.е. Предположим, что кристаллики увеличиваются в результате налипания молекул воды из туманности. Оцените скорость, с которой увеличивается их радиус. Выразите ответ в см/год. Является ли данный результат правдоподобным с учетом того, что время жизни солнечной туманности оценивается в 10^7 лет? Плотность льда считайте равной 0.90 г/см³.

3. Двойная нейтронная звезда

Рассмотрим двойную систему, состоящую из двух нейтронных звезд, масса каждой из которых равна $1.5M_{\odot}$, а период обращения составляет 8 часов. Одна из звезд является пульсаром с периодом в точности равным 2 секундам. Орбита системы — круговая, в плоскости которой лежит луч зрения.

- (a) Вычислите скорость одной нейтронной звезды относительно другой.
- (b) Чему равны наибольший и наименьший периоды пульсаций пульсара?

4. Красное смещение

В космологии для плоской модели Вселенной ($\Omega_{\Lambda} + \Omega_m = 1$) расстояния до внегалактических объектов в некотором приближении могут быть вычислены следующим образом:

$$d(z) = \frac{c}{H_0} \left(z - \frac{3}{4} \Omega_m z^2 \right).$$

В данной задаче будем считать $\Omega_{\Lambda} = 0.7$ и $\Omega_m = 0.3$.

В спектре далекой галактики ($z = 0.18$) наблюдается максимум, соответствующий температуре абсолютно черного тела $T = 5.0 \times 10^3$ К.

- (a) Чему равна скорость удаления галактики?
- (b) На каком расстоянии от нас она расположена?
- (c) Какова была температура галактики в момент излучения наблюдаемых фотонов?
- (d) Во сколько раз возраст регистрируемых фотонов меньше хаббловского?

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Физические постоянные

Скорость света в вакууме	$c = 2.9979 \times 10^8$ м/с
Гравитационная постоянная	$G = 6.674 \times 10^{-11}$ м ³ · кг ⁻¹ · с ⁻²
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8}$ Вт · м ⁻² · К ⁻⁴
Масса протона/нейтрона	$m_{p,n} = 1.67 \times 10^{-27}$ кг
Постоянная Больцмана	$k = 1.3807 \times 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Вина	$b = 2.898 \times 10^6$ нм·К
Постоянная Хаббла	$H = 68$ км/с/Мпк

Астрономические данные

Наклон эклиптики к небесному экватору	$\varepsilon = 23^\circ 26'$
Астрономическая единица	1 а. е. = 1.496×10^{11} м
Звездные сутки	$T_{\oplus} = 23$ часа 56 минут
Тропический год	$T_0 = 365.24$ суток
Сидерический год	$T_S = 365.26$ суток
Юлианский год	$T_J = 365.25$ суток
Радиус Солнца	$R_{\odot} = 6.955 \times 10^8$ м
Масса Солнца	$M_{\odot} = 1.989 \times 10^{30}$ кг
Большая полуось орбиты Плутона	$a_P = 39.264$ а.е.
Эксцентриситет орбиты Плутона	$e_P = 0.245$
Радиус Плутона	$R_P = 1184$ км
Радиус Харона	$R_{Ch} = 604$ км
Большая полуось орбиты Харона	$a_{Ch} = 17536$ км
Период вращения Харона	$T_{Ch} = 6.387$ сут
Масса Земли	$M_{\oplus} = 5.974 \times 10^{24}$ кг
Весеннее равноденствие 2015	20 марта 2015 года (пятница)

Париж

Высота Эйфелевой башни	324 м
Географическая широта Эйфелевой башни	48°51.5'N