

Условия и решение задач
городской олимпиады по астрономии, астрофизике
и физике космоса им. В. Ю. Трахтенгерца
8 февраля 2025 г.

Каждая задача оценивается в 7 баллов

1. Выберите наиболее точный ответ на каждый вопрос.

- | | |
|---|---|
| <p>а) Длина земного экватора:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 6 400 км; 2) 12 800 км; 3) 40 000 км; 4) 100 000 км? | <p>б) Кто кого затеняет в лунное затмение:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Луна Солнце; 2) Солнце Луну; 3) Земля Луну; 4) Луна Землю? |
| <p>в) За год Солнце проходит по небесной сфере через:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 10; 2) 11; 3) 12; 4) 13 созвездий? | <p>г) Самая массивная планета в Солнечной системе:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Венера; 2) Ганимед; 3) Земля; 4) Юпитер? |
| <p>д) Полная Луна дольше всего остаётся над горизонтом в Нижнем Новгороде:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) летом; 2) зимой; 3) осенью и весной; 4) с точностью до 10 % одинаково в любой месяц? | <p>е) Парниковый эффект проявляется наиболее сильно:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) на Меркурии; 2) на Венере; 3) на Земле; 4) на Марсе? |
| <p>ж) Северное сияние изображено на флаге:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Мурманской области; 2) Чукотского автономного округа; 3) Якутии; 4) Ямало-Ненецкого автономного округа? | |

2. Космический корабль совершил посадку на Марс, и космонавты вышли на поверхность планеты. Они прошли от точки посадки 50 м на юг, затем 50 м на восток, а потом 50 м на север. В результате они оказались снова в точке посадки. Укажите все возможные расположения этой точки.

3. Вокруг звезды с радиусом $R_{зв} = 2R_{\odot}$ ($R_{\odot} = 700$ тыс. км — радиуса Солнца) обращается планета на расстоянии $d_{планета} = 200$ млн км. В свою очередь, у планеты есть спутник типа Луны, который вращается вокруг планеты на удалении $d_{спутник} = 300$ тыс. км. Во время полного звёздного затмения спутник полностью закрывает диск звезды, как при солнечном затмении на Земле. Оцените радиус спутника.

4. Две звезды с массами $m_1 > m_2$ образуют двойную систему (вращаются относительно друг друга). Определите отношение кинетических энергий звёзд, связанных с их орбитальным вращением. Какая звезда обладает большей кинетической энергией?

Каждая задача оценивается в 7 баллов

1. Выберите наиболее точный ответ на каждый вопрос.

- | | |
|--|--|
| <p>а) К сизигиям не относится:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) квадратура планет; 2) лунное затмение; 3) противостояние планет; 4) солнечное затмение? | <p>б) Альдебаран — это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) потенциально опасный астероид; 2) ближайшая к Солнцу звезда; 3) нормальный гигант; 4) пульсар? |
| <p>в) Помимо Земли действующая вулканическая активность сохранилась:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) на Меркурии; 2) на Венере; 3) на Марсе; 4) ни в одном из вариантов выше? | <p>г) Самый крупный спутник у планеты в Солнечной системе:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Луна; 2) Фобос; 3) Ганимед; 4) Титан? |
| <p>д) Приблизившаяся к Солнцу комета вытягивает свой основной хвост:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) по скорости своего движения; 2) против скорости своего движения; 3) к Солнцу; 4) от Солнца? | <p>е) Гражданская календарная система в России следует:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) григорианскому; 2) юлианскому; 3) всемирному; 4) декретному календарю? |
- ж) Чёрная дыра — это:
- 1) полностью выгоревшая звезда;
 - 2) объект с сильной гравитацией, которая не пускает свет наружу;
 - 3) обширная пустота в космосе без материи;
 - 4) коллапсирующая пылевая туманность?

2. Гравитационные волны впервые были зарегистрированы 14.09.2015 с помощью лазерно-интерферометрической системы LIGO, которая состоит из обсерватории в Ливингстоне (30,6° с. ш., 90,8° з. д.) и Хэнфорде (46,5° с. ш., 119,4° з. д.). Сначала сигнал зарегистрировала обсерватория в Ливингстоне, а спустя 7 миллисекунд — в Хэнфорде. Объясните, чем обусловлена такая задержка, и определите максимальную возможную высоту источника сигнала над местным горизонтом (для воображаемого наблюдателя, находящегося точно по середине между Левингстоном и Хэнфордом). Гравитационная волна распространяется со скоростью света $c = 300\,000$ км/с. Длина земного экватора 40 000 км.

3. За какое минимальное время звезда (или планета) со средней плотностью ρ может совершать оборот вокруг своей оси, чтобы на ней сила тяготения ещё удерживала вещество против центробежной силы? а) Приведите оценку для планет земного типа со средней плотностью $\rho = 5$ кг/дм³. б) Оцените минимальную допустимую плотность вещества пульсара (нейтронной звезды) с периодом вращения 1 мс. Гравитационная постоянная $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ м³/(кг · с²). При расчёте используйте известное выражение $V = 4\pi R^3/3$ для объёма шара радиуса R .

4. При термоядерном взрыве сверхновая звезда сбросила сферическую оболочку. Какую долю исходной массы звезды должна составлять оболочка, чтобы оставшееся ядро звезды не смогло удержать существовавшую до взрыва планетную систему?

См. продолжение условия на обороте листа.

Взрыв происходит практически мгновенно по сравнению с периодом обращения планет вокруг звезды. Планеты расположены на достаточно удалённых круговых орбитах по сравнению с радиусом звезды, так что попавшим на них веществом оболочки можно пренебречь.

1. Выберите наиболее точный ответ на каждый вопрос.

- | | |
|---|---|
| <p>а) Солнце расположено дальше от Земли, чем Луна примерно:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) в 25 раз; 2) в 120 раз; 3) в 400 раз; 4) в 1700 раз? | <p>б) Диаметр чёрной дыры с массой, как у Солнца:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 6 мм; 2) 6 см; 3) 6 м; 4) 6 км? |
| <p>в) Пояс Койпера — это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) малые тела за орбитой Нептуна; 2) пылевая туманность; 3) рукав Млечного пути; 4) местная группа галактик? | <p>г) Какая из галактик массивнее:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Млечный Путь; 2) Туманность Андромеды; 3) Большое Магелланово Облако; 4) Галактика Треугольника? |
| <p>д) Самый глубокий каньон в Солнечной системе:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) на Меркурии; 2) на Венере; 3) на Земле; 4) на Марсе? | <p>е) Больше всего жидкой воды в Солнечной системе:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) на Венере; 2) на Земле; 3) на Ганимеди; 4) на Титане? |
- ж) Существование тёмной материи подтверждается:
- 1) замедлением одиночных пульсаров;
 - 2) плоскими кривыми вращения галактик;
 - 3) наблюдаемым расширением Вселенной;
 - 4) обилием лёгких элементов от первичного нуклеосинтеза?

2. В 2007 году в созвездии Овен обнаружили карликовую сфероидальную галактику Segue 2, которая оказалась спутником нашей галактики Млечный Путь. Оцените максимальный диаметр Segue 2, при котором приливный эффект от притяжения к Млечному Пути не разорвёт указанную галактику-спутник. Расстояние от Млечного Пути до карликовой галактики $R = 40\,000$ парсек. Масса Млечного Пути $M = 1,15 \cdot 10^{12} M_{\odot}$, Segue 2 — $m = 5,5 \cdot 10^5 M_{\odot}$, где M_{\odot} — масса Солнца. Считайте Млечный Путь точечным притягивающим телом.

3. Предположим, что вспыхивающая сверхновая имеет яркость в 10^{10} солнечной. На каком расстоянии от нас она может быть расположена, чтобы наблюдаться на ночном небе невооруженным глазом? Ответ приведите в парсеках. Абсолютная звёздная величина Солнца 5^m (на стандартном расстоянии 10 парсек) примерно совпадает с минимальной видимой звёздной величиной слабых звёзд, различимых глазом.

4. Оцените максимальное электрическое напряжение (в системе отсчёта, связанной с Землёй), которое возникает между различными точками металлического корпуса спутника из-за наличия магнитного поля Земли с индукцией порядка 50 микротесла. Примите диаметр спутника равным 1 м. Спутник находится на низкой экваториальной орбите и движется примерно с первой космической скоростью 8 км/с.

1. а) 3) 40 000 км.
- б) 3) Земля Луну.
- в) 4) 13 созвездий.
- г) 4) Юпитер.
- д) 2) зимой.
- е) 2) На Венере.
- ж) 1) Мурманской области.

2. Северный полюс и окружности радиуса $[1 + 1/(2\pi n)] \cdot (50 \text{ м})$ с центром на южном полюсе, где $n = 1, 2, 3 \dots$

Очевидной возможной точкой посадки является северный полюс Марса. В этом случае переход на 50 м на юг происходит вдоль меридиана до некоторой широты (которая, очевидно, определяется радиусом планеты), дальнейший переход на восток происходит вдоль параллели на этой широте, а заключительное движение на север, до северного полюса, вновь происходит вдоль меридиана, но отличного от предыдущего.

Кроме того, точка посадки может лежать на одной из концентрических окружностей с центром в южном полюсе. В этом случае на первом этапе космонавты движутся вдоль меридиана на юг и приближаются при этом к южному полюсу до некоторой широты, не достигая его. Затем они, двигаясь на восток, обходят южный полюс n раз ($n = 1, 2, 3, \dots$) по параллели на этой широте и возвращаются в ту же точку, с которой они начинали этот обход. Далее они двигаются на север по тому же меридиану и оказываются в точке посадки.

Определим радиус r окружности, по которой космонавты обходят южный полюс. Длина этой окружности равна $2\pi r$. Если, например, космонавты обошли южный полюс один раз, то по условию $2\pi r = 50 \text{ м}$. Если они обошли полюс n раз, то несложно сообразить, что $2\pi n r = 50 \text{ м}$. Следовательно, в общем случае $r = (50 \text{ м})/(2\pi n)$. Отсюда с учётом начального 50-метрового прохода на юг получаем радиус концентрических окружностей, на которых может лежать точка посадки: $(50 \text{ м}) + r = [1 + 1/(2\pi n)] \cdot (50 \text{ м})$.

3. 2 100 км.

Определим угловой диаметр звезды. Угловой диаметр объекта можно выразить через его физический диаметр D и расстояние до него d следующим образом:

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{D}{2d} \right).$$

Для малых углов (что справедливо для больших расстояний) можно использовать приближение $\theta \approx D/d$.

Угловой диаметр звезды, как видно с планеты, будет:

$$\theta_{\text{зв}} = \frac{2R_{\text{зв}}}{d_{\text{планета}}}.$$

Подставим значения:

$$\theta_{\text{зв}} = \frac{2 \cdot 2R_{\odot}}{200 \cdot 10^6 \text{ км}} = \frac{4R_{\odot}}{200 \cdot 10^6 \text{ км}}.$$

Радиус Солнца $R_{\odot} \approx 7 \cdot 10^5$ км, поэтому:

$$\theta_{\text{зв}} = \frac{4 \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ км}}{200 \cdot 10^6 \text{ км}} = \frac{28 \cdot 10^5}{200 \cdot 10^6} = \frac{28}{2000} = 0,014.$$

Определим угловой диаметр спутника. Аналогично, угловой диаметр спутника, как видно с поверхности планеты, будет:

$$\theta_{\text{спутник}} = \frac{2R_{\text{спутник}}}{d_{\text{спутник}}}.$$

Поскольку во время затмения угловой диаметр спутника должен быть равен угловому диаметру звезды, мы можем записать:

$$\theta_{\text{спутник}} = \theta_{\text{зв}}.$$

Тогда:

$$\frac{2R_{\text{спутник}}}{d_{\text{спутник}}} = 0,014.$$

Подставим значение $d_{\text{спутник}} = 300\,000$ км:

$$\frac{2R_{\text{спутник}}}{300\,000 \text{ км}} = 0,014,$$

$$2R_{\text{спутник}} = 0,014 \cdot 300\,000 \text{ км},$$

$$2R_{\text{спутник}} = 4\,200 \text{ км},$$

$$R_{\text{спутник}} = 2\,100 \text{ км}.$$

4. Большой кинетической энергией обладает звезда с меньшей массой m_2 .

Звёзды вращаются вокруг общего неподвижного центра масс. Поскольку центр масс неподвижен, то в любой момент времени звёзды движутся в противоположные стороны (вдоль параллельных прямых) с одинаковыми по абсолютной величине импульсом, а отношение их скоростей обратно пропорционально отношению их масс:

$$v_1/v_2 = m_2/m_1. \quad (1)$$

(более тяжёлая звезда с массой m_1 движется медленнее, а лёгкая — быстрее). Используя соотношение (1), находим искомое отношение кинетических энергий:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1 v_1^2 / 2}{m_2 v_2^2 / 2} = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{m_2}{m_1} \right)^2 = \frac{m_2}{m_1} < 1.$$

1. а) 1) Квадратура планет.
- б) 3) Нормальный гигант.
- в) 2) На Венере.
- г) 3) Ганимед.
- д) 4) От Солнца.
- е) 1) Григорианскому.
- ж) 2) Объект с сильной гравитацией, которая не пускает свет наружу.

2. 46°.

Сигнал в виде гравитационной волны представляет собой расширяющуюся сферу (сферический слой), на которой сосредоточено возмущение ускорения свободного падения (точнее, метрики пространства — времени). Центр сферы совпадает с положением источника сигнала, а радиус сферы увеличивается со скоростью света c . Приёмник регистрирует сигнал, когда указанная сфера возмущений пересекает местоположение детектора.

Поэтому задержка в приёме сигнала в разных пунктах на Земле связана тем, что сфера возмущений проходит через эти пункты в разное время. Если приёмные пункты расположены на отрезке, перпендикулярном направлению на источник, то сфера возмущений проходит по детекторам одновременно и задержка отсутствует. В свою очередь, если пункты расположены строго на одном луче в направлении на источник, то временная задержка равна времени, которое требуется сигналу пройти расстояние между пунктами d со скоростью $c = 300\,000$ км/с.

В общем случае временная задержка в приёме определяется разностью расстояний от приёмных пунктов до источника сигнала. Если пространственный отрезок между приёмными пунктами составляет некоторый угол θ с направлением на источник, то указанная разность расстояний равна $d \cos \theta$ — проекции отрезка на направление на источник. Получаем временную задержку в приёме сигналов $\tau = (d \cos \theta)/c$.

Вместе с тем при известной величине τ последнее равенство определяет отклонение θ направления на источник от линии пунктов на Земле:

$$\theta = \arccos(c\tau/d). \quad (1)$$

Таким образом, возможные источники принятого сигнала могут располагаться на конической поверхности в виде направлений, составляющих угол θ с прямой, соединяющей пункты на Земле. Указанная коническая поверхность поднимается над местным горизонтом в точности на угол θ (который и требуется найти в задаче).

Расстояние между пунктами оценим в приближении локально плоской поверхности Земли. Расстояние между пунктами по линии «север — юг» определяется разностью $|\Theta_{\text{Л}} - \Theta_{\text{Х}}|$ широт пунктов $\Theta_{\text{Л}} = 30,6^\circ$ и $\Theta_{\text{Х}} = 46,5^\circ$:

$$d_{\text{с-ю}} = L_{\text{э}} |\Theta_{\text{Л}} - \Theta_{\text{Х}}|/360^\circ. \quad (2)$$

где $L_{\text{э}} = 40\,000$ км — длина экватора.

В свою очередь, линия постоянной широты представляет собой окружность, радиус и длина которой меньше радиуса и длины экватора в $1/(\cos \Theta)$ раз. В качестве широты Θ примем среднее значение широт пунктов $(\Theta_{\text{Л}} + \Theta_{\text{Х}})/2 = 38,6^\circ$. Тогда расстояние между

пунктами по линии «восток — запад» определяется аналогично формуле (2) с заменой длины экватора на длину линии постоянной широты $L_3 \cos[(\Theta_L + \Theta_X)/2]$, а значения широт — на значения долгот $\varphi_L = 90,8^\circ$ и $\varphi_X = 119,4^\circ$:

$$d_{в-з} = L_3 \cos[(\Theta_L + \Theta_X)/2] |\varphi_L - \varphi_X|/360^\circ. \quad (3)$$

Полное расстояние между пунктами находим по теореме Пифагора:

$$\begin{aligned} d &= (d_{с-ю}^2 + d_{в-з}^2)^{1/2} = L_3 \{|\Theta_L - \Theta_X|^2 + \cos^2[(\Theta_L + \Theta_X)/2] |\varphi_L - \varphi_X|^2\}^{1/2}/360^\circ = \\ &= 40\,000 \text{ км} \times \{|30,6^\circ - 46,5^\circ|^2 + \cos^2(38,6^\circ) |90,8^\circ - 119,4^\circ|^2\}^{1/2}/360^\circ = \\ &= 40\,000 \text{ км} \times (15,9^2 + 0,782^2 \times 28,6^2)^{1/2}/360 = 3\,050 \text{ км}. \end{aligned}$$

Подставляем полученное расстояние d в формулу (1):

$$\theta = \arccos\left(\frac{300\,000 \text{ км/с} \times 0,007 \text{ с}}{3\,050 \text{ км}}\right) = \arccos(0,69) \approx 46^\circ.$$

3. а) 1,5 ч; б) $1,4 \cdot 10^8$ т/см³.

Рассмотрим точки на экваторе, где центробежная сила максимальна. В случае баланса центробежной силы и силы тяготения вещество звезды перестаёт давить на подстилающие слои и, таким образом, вращается по круговой орбите, как спутник. На круговой орбите центростремительное ускорение v^2/R создаётся силой тяготения и поэтому совпадает с ускорением свободного падения GM/R^2 (здесь v — скорость движения точек на экваторе, R — радиус звезды, M — масса звезды, G — гравитационная постоянная). В свою очередь, скорость движения спутника $v = 2\pi R/T$ определяется длиной экватора $2\pi R$ и искомым периодом обращения T . Массу звезды M выразим через её плотность ρ и объём $V = 4\pi R^3/3$: $M = \rho V = 4\pi \rho R^3/3$. Указанное выше равенство ускорений запишется в виде

$$\frac{(2\pi R/T)^2}{R} = \frac{G(4\pi \rho R^3/3)}{R^2},$$

что определяет искомый минимальный допустимый период обращения $T = \sqrt{3\pi/(G\rho)}$. Предельный период T не зависит от радиуса звезды.

а) Для земной плотности $\rho = 5 \text{ кг/дм}^3 = 5\,000 \text{ кг/м}^3$ находим оценку

$$T = \sqrt{3 \cdot 3,14 / (6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 5\,000)} \text{ с} \approx 5300 \text{ с} = 1,5 \text{ ч}.$$

б) Минимальная допустимая плотность вещества пульсара

$$\rho = \frac{3\pi}{GT^2} = \frac{3 \cdot 3,14}{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 0,001^2} \text{ кг/м}^3 = 1,4 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3 = 1,4 \cdot 10^8 \text{ т/см}^3.$$

Такая плотность всего в три раза меньше характерной ядерной плотности. Действительно, радиус r_p протона составляет примерно 1 фм = 10^{-13} см, а масса частицы $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$ кг, что определяет характерную ядерную плотность

$$\rho_n = \frac{m_p}{4\pi r_p^3/3} = 4 \cdot 10^{11} \text{ кг/см}^3 = 4 \cdot 10^8 \text{ т/см}^3.$$

4. Больше 50 %.

До взрыва сверхновой, центростремительное ускорение v^2/r планеты на круговой орбите с радиусом r равно ускорению свободного падения $g = GM_0/r^2$, создаваемого центральной звездой с начальной массой M_0 , что определяет орбитальную скорость планеты $v = \sqrt{GM_0/r}$; здесь G — гравитационная постоянная. За короткое время прохождения сброшенной оболочки с массой ΔM через планетную систему скорость и положение звезды не меняются. Вместе с тем оставшееся после взрыва ядро звезды не приобретает дополнительной скорости вследствие сферической симметрии оболочки. Потенциальная энергия планеты изменяется пропорционально изменению массы звезды, так что после прохождения оболочки механическая энергия планеты с массой $m_{\text{пл}}$ приобретает значение

$$W = m_{\text{пл}} \left(\frac{v^2}{2} - \frac{G(M_0 - \Delta M)}{r} \right) = m_{\text{пл}} \left(\frac{GM_0}{2r} - \frac{G(M_0 - \Delta M)}{r} \right) = Gm_{\text{пл}} \frac{2\Delta M - M_0}{2r}.$$

Сила тяготения звезды не удержит планету от убегания, если механическая энергия W станет положительной (кинетическая энергия превысит потенциальную энергию), чему соответствует масса сброшенной оболочки $\Delta M \geq M_0/2$. Таким образом, оставшееся после взрыва ядро звезды потеряет планетную систему, если масса сброшенной оболочки превышает 50 % массы звезды до взрыва M_0 .

1. а) 3) В 400 раз.

б) 4) 6 км.

в) 1) Малые тела за орбитой Нептуна.

г) 1) Млечный Путь (до 2018 г. считалось, что Туманность Андромеды).

д) 4) На Марсе.

е) 3) На Ганимеде (в подповерхностном океане).

ж) 2) Плоскими кривыми вращения галактик.

2. 600 парсек.

Обозначим радиус карликовой галактики как r .

Гравитация Млечного Пути обеспечивает разные ускорения частям карликовой галактики, удаленным на разные расстояния от центра Млечного пути. Для самой ближней точки это $a_{\text{ближ}} = GM/(R-r)^2$, для самой дальней $a_{\text{дал}} = GM/(R+r)^2$. Здесь M — масса Млечного Пути, R — расстояние до него.

В отсутствии других сил, эта разность ускорений «разорвёт» карликовую галактику. Чем больше искомые размер, тем больше разность ускорений. Однако, карликовая галактика сама создаёт гравитационное поле, которое удерживает звезды в её составе. И самая ближняя к Млечному Пути её точка, и самая дальняя притягиваются к центру карликовой галактики — то есть, навстречу друг другу — с ускорениями $\delta a = \pm Gm/r^2$. Чем больше искомые размер r , тем меньше модуль этих ускорений.

Гравитация карликовой галактики с массой m способна скомпенсировать приливной эффект от гравитации Млечного пути в случае выполнения условия:

$$\frac{GM}{(R-r)^2} - \frac{GM}{(R+r)^2} < 2 \frac{Gm}{r^2}.$$

Сокращая на G и домножая обе части на все знаменатели, получим:

$$\begin{aligned} Mr^2 [(R+r)^2 - (R-r)^2] &< 2m(R^2 - r^2)^2, \\ 4Mr^3 R &< 2m(R^2 - r^2)^2, \\ r^3 &< \frac{m}{2M} R^3 (1 - r^2/R^2)^2 \approx \frac{mR^3}{2M} \end{aligned}$$

(в скобках справа надо отбросить малое слагаемое $r^2/R^2 \ll 1$). Итоговая оценка для радиуса карликовой галактики

$$r < \left(\frac{m}{2M}\right)^{1/3} R \approx 300 \text{ пк},$$

так что искомый диаметр $d < 600$ пк

3. 1 мегапарсек.

Звезда той же яркости, что и Солнце, была бы видна невооруженным глазом (с отсечкой по уровню 5^m) при удалении примерно до 10 пк. Поток света пропорционален светимости объекта, но падает как квадрат расстояния от него. Поэтому искомое расстояние может быть больше 10 пк в корень из отношения светимостей сверхновой и Солнца

$\sqrt{10^{10}} = 10^5$ раз, то есть порядка $(10 \text{ пк}) \cdot 10^5 = 10^6 \text{ пк} = 1 \text{ Мпк}$.

4. 0,4 вольта.

На экваторе индукция \vec{B} магнитного поля направлена вдоль поверхности Земли по линиям «юг — север». В таком случае спутник летит строго перпендикулярно линиям индукции. На свободные заряды (электроны) в корпусе спутника действует сила Лоренца $|qvB|$, направленная вертикально (вниз к Земле для электронов в случае движения спутника с запада на восток; $q < 0$ — заряд электрона, v — скорость спутника). Под действием силы Лоренца электроны перераспределяются в корпусе до тех пор, пока возникшее из-за перераспределения зарядов электрическое поле \vec{E} не создаст силу $|qE|$, которая компенсирует силу Лоренца $|qvB|$. Таким образом, создаваемая электронами напряжённость электрического поля направлена вертикально вниз (как и сила Лоренца), а её абсолютная величина E равна vB . Таким образом, пространственно однородное в пределах корпуса спутника электрическое поле создаёт разность потенциалов $U = ED$ между самой низкой и высокой точками спутника:

$$U = ED = vBD = (8 \cdot 10^3 \text{ м/с}) \times (50 \cdot 10^{-6} \text{ Тл}) \times (1 \text{ м}) = 0,4 \text{ В},$$

где D — диаметр спутника.