

1. Быстро и точка

Самый крупный в мире жидкозеркальный телескоп — Большой зенитный телескоп LZT в Канаде ($49^\circ 17'$ с. ш., $122^\circ 34'$ з. д.), ныне недействующий. Диаметр главного зеркала из ртути составлял 6 метров, масса — около 3 тонн.

- Какую форму принимает поверхность идеальной жидкости в сосуде, вращающемся с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси в однородном гравитационном поле \vec{g} ?
- Какова скорость вращения главного зеркала LZT при фокальном отношении $f/1.5$?
- Оцените среднюю толщину ртутной «плёнки» главного зеркала. Плотность ртути $\rho_{\text{Hg}} = 13.6 \text{ г/см}^3$.
- Оцените кинетическую энергию жидкой части главного зеркала LZT в рабочем режиме. За какое время телескоп собрал бы столько же световой энергии при ночных наблюдениях?

2. Детективное агентство «Лунный свет»

Сидерический период обращения Луны $T = 27.321661$ средних солнечных суток; горизонтальный параллакс Луны на среднем удалении от Земли $\omega_M = 56.97'$, видимый угловой радиус $\rho_M = 15.54'$. Скорректированное за центробежную поправку ускорение свободного падения на поверхности Земли $g_\oplus = 9.823 \text{ м/с}^2$; средний радиус Земли $R_\oplus = 6371.0 \text{ км}$. Найдите отношение средних плотностей Луны и Земли.

3. Как похорошел центр Галактики при Собянине

Звезда S62 обращается вблизи Sgr A* по орбите с большой полуосью $a^* = 90.5 \text{ mas}$, эксцентриситетом $e = 0.9760$ и периодом $P = 9.9 \text{ лет}$. К концу 2022 года эта звезда будет проходить очередной перицентр.

- Вычислите скорость S62 в перицентре в долях скорости света.
- Выразите перицентрическое расстояние S62 в долях радиуса Шварцшильда Sgr A*.
- Оцените, какое расстояние S62 преодолела за 12 лет.

4. Суперплоскость

В середине прошлого века Жерар де Вокулёр заметил, что близкие галактики «тяготеют» к некоторой плоскости, которую впоследствии назвали сверхгалактической. Известно, что эта плоскость проходит через объекты с экваториальными координатами $(\alpha_1, \delta_1) = (1^{\text{h}} 9^{\text{m}}, +11^\circ 19')$ и $(\alpha_2, \delta_2) = (2^{\text{h}} 1^{\text{m}}, +44^\circ 49')$.

- Определите наклон сверхгалактической плоскости к плоскости небесного экватора, а также экваториальные координаты узлов.
- Через какие созвездия проходит сверхгалактическая плоскость? Какие известные скопления галактик располагаются вблизи неё?

5. А я вам сейчас покажу, откуда готовилось нападение!

И если бы за 6 секунд до операции не был совершён превентивный манёвр — я сейчас покажу схему — они бы атаковали наш аппарат.

Космическая околоземная обсерватория массой 1 тонна обращается по круговой орбите высотой $h = 400$ км. Чтобы избежать столкновения с недружественной частицей космического мусора обсерватории мгновенно передают импульс $\Delta p = 10^5$ кг·м/с в плоскости орбиты в направлении, перпендикулярном текущей скорости.

- На сколько увеличилась высота апогея орбиты обсерватории?
- На сколько относительно исходной орбиты отклонилось положение обсерватории через 6 секунд после манёвра?

6. Летящая звезда 2.0

1000 лет назад звезда восходила точно в точке востока, а в настоящее время для экваториального наблюдателя она восходит в точке с астрономическим азимутом 269° . Оцените наименьшую возможную скорость звезды относительно Солнца, если в настоящее время расстояние до неё составляет 10 парсеков¹.

¹По мотивам задания I Олимпиады школьников по астрономии имени В. Я. Струве

7. Вишнёвое небо

Планета Черри состоит из «ядра» — твердой шарообразной вишнёвой косточки радиуса R — и окружающего его толстого слоя чистейшего вишнёвого сока (показатель преломления $n = 4/3$). Со дна вишнёвого «океана» местные астрономы ведут наблюдения.

- Вычислите величину горизонтальной рефракции.
- Найдите минимальную глубину «океана», при которой на горизонте можно наблюдать небесные тела.
- Каково отношение продолжительности дня и ночи на экваторе?

Поглощением и рассеянием света в соке, вишнёвыми волнами и угловыми размерами центрального светила пренебрегите.

8. Муляж цефеиды

В Галактике наблюдается классическая цефеида (ненастоящая!) с галактическими координатами $l = 40^\circ$, $b = -0.3^\circ$, пульсирующая с периодом 10 суток. Видимая визуальная звездная величина цефеиды для земного наблюдателя в среднем составляет 6.8^m . Оцените галактоцентрическое расстояние этого объекта. В каком спиральном рукаве Галактики он может находиться? Можно ли ожидать, что такая цефеида хорошо впишется в спиральный узор, очерчиваемый мазерными источниками в областях звездообразования?

Указание. Калибровочных зависимостей для цефеид довольно много, часть из них учитывает также и цвет или металличность объекта. Остановимся на наиболее простых соотношениях:

- зависимость «период–светимость», Benedict et al. (2002, 2007):

$$M_V = (-2.43 \pm 0.12) \cdot (\lg P - 1) - (4.05 \pm 0.02);$$

- зависимость «период–возраст», Joshi & Joshi (2014):

$$\lg T = (8.60 \pm 0.07) - (0.77 \pm 0.08) \lg P.$$

В приведённых соотношениях период цефеиды P задаётся в сутках, возраст T — в годах.

9. Диванные войска

Самопровозглашённый Галактический Император Дарт Вискас решил колонизировать окрестные астероиды для размещения баз своих диванных войск.

- a. Оцените абсолютную болометрическую звёздную величину абсолютно чёрного кота.
- b. Оцените, с какого максимального расстояния можно обнаружить базу диванных войск, если на очень большом тактическом диване одновременно может располагаться до 1000 абсолютно чёрных котов, а чувствительность тепловизора составляет 30^m .
- c. Оцените, на астероидах какого размера безопасно размещать диваны, чтобы котики не улетали в открытый космос. В земных условиях длина кошачьего прыжка составляет 2 м.

10. Очень слабая задача

Промежуточные векторные бозоны W^\pm , известные как переносчики слабого взаимодействия (наряду с Z^0 -бозоном), были открыты в 1983 году. В одном из распадов

$$W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$

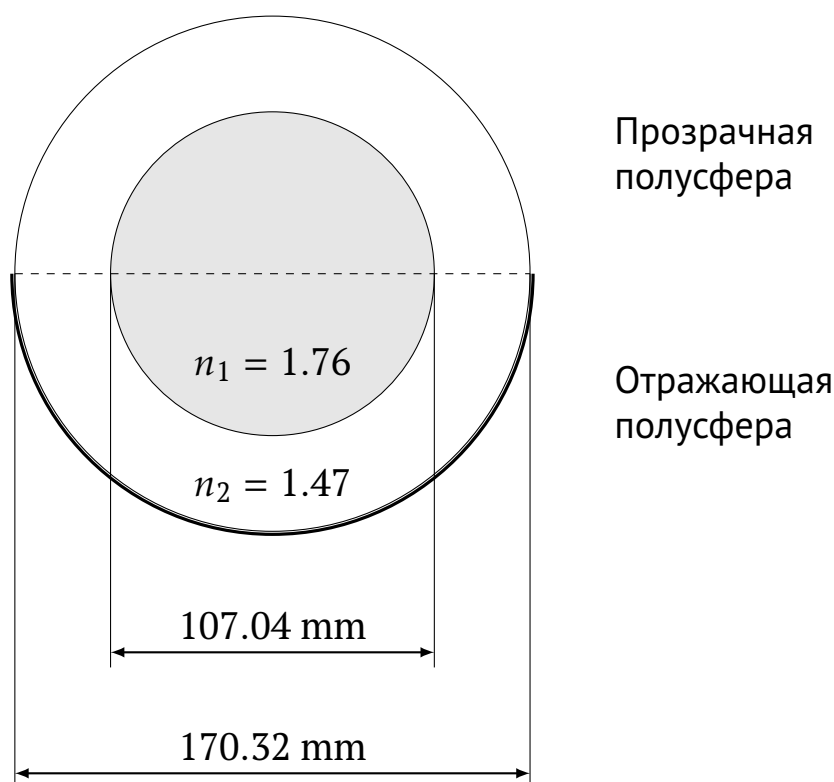
наблюдался след электрона с энергией $E = 58.5$ ГэВ, вылетевшего под углом $\alpha = 45^\circ$ к направлению движения исходного бозона.

По этим данным оцените:

- a. минимальное возможное значение энергии покоя W^- -бозона;
- b. радиус действия слабых сил.

11. BLITS

Российский калибровочный наноспутник BLITS (Ball Lens In The Space) представляет из себя стеклянный шар, внутренняя и внешняя части которого сделаны из стекла разных сортов. Все поверхности гладко обработаны и пригнаны друг к другу, чтобы образовать сферически симметричную конструкцию. Внешняя поверхность одной из полушфер покрыта специальным покрытием, зеркальным с внутренней стороны и белым — с внешней; вторая полусфера прозрачна для излучения.



Спутник был выведен на полярную солнечно-синхронную орбиту высотой 825 км. Международная сеть наблюдательных станций проводила лазерную локацию спутника с помощью оптических лазеров высокой мощности. Описанная конструкция спутника позволила определять его положение с погрешностью не более 0.1 мм. Это позволило уточнить гравитационный потенциал геоида, а также исследовать факторы, влияющие на эволюцию орбит искусственных спутников Земли.

Задания:

- a. Докажите, что спутник такой конструкции возвращает лучи света в том же направлении, откуда они были испущены, подобно уголкового отражателю.
- b. Считая, что все поверхности спутника идеальны, а аберрациями системы можно пренебречь, рассчитайте видимое поперечное сечение спутника VLITS.
- c. Сравните видимую звёздную величину спутника при освещении наземным лазером его белой и зеркальной сторон, пренебрегая возможным вкладом излучения Солнца.
- d. Определите, на каких широтах могли бы располагаться станции, способные наблюдать спутник над горизонтом хотя бы один раз за время каждого его оборота.
- e. Определите минимально необходимое количество станций на поверхности Земли, которое могло бы позволить (при условии оптимального расположения) отслеживать спутник непрерывно.
- f. Влияние земной атмосферы может существенно ухудшить качество данных, получаемых со спутника. Задержка сигнала в атмосфере искажает измерение расстояния, а атмосферное рассеяние уменьшает долю принимаемого излучения. Оцените величину этих двух эффектов для случая, когда спутник наблюдается в зените, а станция слежения располагается на уровне моря.
- g. Давление солнечного излучения может существенно влиять на эволюцию орбиты спутников. Сравните величину давления излучения Солнца для случаев, когда полностью освещена белая или зеркальная сторона спутника. Будет ли давление излучения Солнца влиять на скорость вращения спутника вокруг своей оси?