

«КОСМИЧЕСКАЯ ОДИССЕЯ»

КОНКУРС ДЛЯ УЧЕНИКОВ 7–11 КЛАССОВ

А. Л. Камин, А. А. Камин

ОБРАЩЕНИЕ К ЧИТАТЕЛЮ

Уважаемый коллега!

Вряд ли вы довольны тем, как большинство учеников относится к естественным наукам. Мы этим тоже не очень довольны. Причин этому тьма, виноватых тоже легко найти, но мы решили поступить по принципу: «Если тебе чего-то не хватает — это потому, что ты этого не сделал». И решили подогреть интерес детей к нашим наукам.

Для этого мы придумали и провели городскую занимательную олимпиаду «Космическая Одиссея». Идея «Одиссеи» была такая: у многих детей есть искра «врожденного» интереса к звездам и планетам, полетам, воздухоплаванию и т. п. У большинства эта искра гаснет, т. к. не получает «топлива». В физических олимпиадах задачи на подобные темы есть, но, во-первых, их небольшой процент, а во-вторых, в олимпиадах участвует очень малая часть детей. Мы стремились подобрать задания так, чтобы задания «Космической Одиссеи» были, во-первых, занимательными, а во-вторых, посильными для «простого смертного», а не только для олимпиадного бойца. Поэтому из шести заданий, предложенных каждому участнику, четыре были «открытыми», т. е. допускали в принципе не единственный правильный ответ, а какой-никакой спектр возможных версий. Другими словами, каждая из этих четырех «качественных» задач была либо исследовательской, либо изобретательской. Два задания из шести были по характеру «расчетными» олимпиадными задачами с «аэрокосмическими» сюжетами, но и они содержали выраженную исследовательскую составляющую. На выполнение всех заданий давалось 2,5 часа. Обращаем внимание, что «Одиссея» проводилась не только для учеников 11 класса, но и для учеников 7–10 классов. Для представителей каждой параллели был подготовлен отдельный «пакет» заданий. Для их решения, по нашему замыслу, должно было быть достаточно школьной программы по физике (для соответствующего класса) и «общекультурных» знаний по астрономии, географии и другим естественным наукам — например, знание того, что смена дня и ночи вызывается суточным вращени-

ем Земли; что вокруг Солнца вращается 8 планет. При этом мы хорошо представляли, что этими знаниями, «общекультурными» для нас, некоторые дети могут и не обладать. Тогда ученики могли их впервые получить от нас после олимпиады во время разбора задач. Специально для этой олимпиады мы придумали жанр «виртуальных наблюдений»: два задания из шести давались по фотографиям, которые демонстрировались на компьютере прямо в классе, в котором дети писали решения. Эти задачи, как мы и надеялись, оказались «хитами» и вызвали настоящий ажиотаж у детей всех возрастов — обсуждались после сдачи работ и вызвали много вопросов при разборе авторских решений.

ЗАДАНИЯ «КОСМИЧЕСКОЙ ОДИССЕИ»

7 класс

→ **7.1. Взгляд со стороны.** На фото — снимок Земного шара. Какое явление наблюдает человек, находящийся в черном пятне? А человек, находящийся в серой области вокруг этого пятна? Почему форма пятен именно такая?

Решение. Человек в черном пятне видит полное солнечное затмение — пятно возникает потому, что Луна закрывает эту область Земли от солнечных лучей. На серую область попадают лучи только от части солнечного диска. Человек видит эту часть и называет это частным солнечным затмением. Пятна имеют форму круга, потому что это тень от шара (Луны) (рис. 1*).

→ **7.2. Небо с кольцами.** На фото снято небо, съемка проводилась в ясную безоблачную ночь. Объясните, что собой представляют кольца, которые вы видите на фото. Как производилась съемка?

Решение. Кольца (а точнее, дуги колец) представляют собой траектории, по которым движутся звезды в течение ночи. Яркая точка в центре колец — Полярная звезда. Съемка проводилась так: объектив был открыт в течение нескольких часов. Эта фотография доказывает, что вся небесная сфера как целое

* Все рисунки к этой статье расположены на странице 3 обложки.

вращается вокруг Полярной звезды, совершая один оборот в сутки. Это вызвано вращением Земли, хотя земному наблюдателю представляется, что вращается небо.

→ **7.3. Откуда аэростат берет энергию для своего подъема?**

Решение. У аэростата средняя плотность меньше плотности окружающего воздуха, поэтому он и поднимается. В каждый момент шар занимает определенный объем пространства. Когда шар уходит из этого объема, на его место опускается такой же объем окружающего воздуха, который имеет массу больше, чем шар. Так что потенциальная энергия шара при подъеме увеличивается за счет потенциальной энергии окружающего воздуха, которая при подъеме шара уменьшается.

→ **7.4. Июль, 12 часов дня местного времени. Можно ли увидеть на небе звезды?**

Решение. Может ли в 12.00 местного времени не светить солнце? Может — в полярную ночь. В июле полярная ночь длится в Антарктиде. Возможен другой вариант — в это время происходит полное солнечное затмение. Кроме того, самые яркие звезды видны днем в телескоп (если, конечно, знаешь, где искать).

→ **7.5. Строго по расписанию.** Каждый час в момент удара Кремлевских курантов (в 1.00; 2.00; 3.00 и т. д.) с Земли на Луну стартуют космические корабли. Точно такие же корабли в то же время отправляются с Луны на Землю. Корабли в обе стороны движутся по одному и тому же маршруту, причем полет длится ровно 10 часов. Сколько кораблей, летящих на Землю, встретит в космосе корабль, летящий на Луну.

Решение. Возьмем для определенности корабль, который стартовал с Земли в полдень. Во время взлета экипаж корабля видит приземляющийся корабль с Луны. Он отправился с Луны в 2.00. Во время посадки на Луну в 22.00 экипаж увидит корабль, взлетающий с Луны. А те корабли, которые отправились с Луны в период с 3.00 по 21.00 (всего 19 кораблей), экипаж нашего корабля увидит во время полета. *Ответ:* 7 кораблей.

→ **7.6. Звездное вещество.** У Сириуса есть звезда-спутник. Эта звезда имеет диаметр 10 000 км (в 70 раз меньше, чем у Солнца, и даже меньше, чем у Земли). Поэтому такие звезды называют белыми карликами. Но масса этого «карлика» в 350 тысяч раз больше, чем у Земли. Сравните массу литровой банки, наполненной веществом «карлика», с мас-

сой товарного поезда, состоящего из 60 вагонов по 60 тонн в каждом. Какая из них больше и на сколько? Напоминаем на всякий случай, что объем шара радиуса R вычисляется по формуле $V = 4\pi R^3/3$.

Решение. Масса звезды $m = 2,1 \cdot 10^{30}$ кг, ее объем $V = 5,25 \cdot 10^{11}$ км³ = $5,25 \cdot 10^{20}$ м³. Значит, плотность ее вещества $\rho = 4 \cdot 10^9$ кг/м³. Масса литровой банки с этим веществом $m_6 = 4 \cdot 10^6$ кг = 4000 т. Масса поезда — 3600 т, следовательно, банка на 400 т тяжелее.

8 класс

→ **8.1. Светило по имени Земля.** На фото (рис. 2), снятом с поверхности Луны, вы видите Землю как светило. 1) Какое светило, при прочих равных условиях, дает больше света: Земля, видимая с Луны, или Луна, видимая с Земли? Объясните свое мнение. 2) Оцените, во сколько раз больше света дает одно из светил.

Решение. И Луна, и Земля светят отраженным светом. Но Земля занимает на небе Луны намного больше места, чем Луна на нашем земном небе, значит, Земля может послать на Луну больше отраженного солнечного света, чем Луна на Землю. Следовательно, больше света дает Земля, видимая с Луны.

Радиус Луны в 3,66 раза меньше, чем радиус Земли (1740 км и 6370 км). Значит, площадь лунного диска в 13,4 раза меньше, чем земного. Поскольку Луна находится приблизительно на том же расстоянии от Солнца, что и Земля, то Земля отразит в 13,4 раза больше световой энергии, чем Луна (отражательные способности Луны и Земли примерно одинаковы). Так как расстояние от Луны до Земли и от Земли до Луны одно и то же, то освещенность от Земли на Луне будет в 13,4 раза больше, чем от Луны на Земле. Возможно, цифра 13,4 неточная, но искомое отношение должно лежать между 10 и 15.

То, что от Луны и Земли отражается неодинаковый процент солнечной энергии, существенно на результат не влияет: альбедо у Луны и Земли отличаются ненамного, причем от Земли отражение сильнее. Также не меняет результат тот факт, что у Земли есть атмосфера, а у Луны ее нет.

→ **8.2. Поверхность Меркурия.** Вы видите фотоснимок (рис. 3) поверхности Меркурия. Известно, что атмосферы у Меркурия нет и он постоянно бомбардируется метеоритами, поэтому поверхность планеты покрыта кратерами, похожими на лунные. В то же время на фото видно, что часть поверхности гладкая. Как бы вы это объяснили?

Решение. Эта часть поверхности после выпадения метеоритов была залита вулканической лавой во время извержения древних вулканов.

→ **8.3. Ракетный двигатель.** Есть детали ракетных двигателей, работающие при температуре свыше 4000 °С. Ни один материал таких температур не выдерживает (вольфрам плавится при 3413 °С, керамика не подходит из-за резких механических нагрузок). Что бы вы предложили?

Решение. Можно ли добиться, чтобы тело, которое соприкасается с раскаленным газом, оставалось сравнительно холодным? Вы этого добиваетесь каждый день, когда кипятите чайник на газовой плите. Пока вода не выкипела, температура чайника никогда не превысит температуры кипения воды.

Точно так же, если вы внесли в комнату чайник со льдом, температура чайника никогда не превысит 0 °С, пока весь лед не расплавится.

Поэтому конструкторы ракетных двигателей придумали детали сделать пористыми, а поры заполнить медью. Во время работы двигателя медь плавилась, зато температура деталей не превышала температуру плавления меди 1085 °С, а такую температуру детали (если они сделаны, например, из вольфрама) могли выдержать.

→ **8.4. Задача старика Хоттабыча.** Во многих городах на площадях установлены солнечные часы. Можете ли вы предложить конструкцию карманных солнечных часов? Какие главные элементы должны содержать такие часы?

Решение. Для того, чтобы солнечные часы действовали, нужно сориентировать их шкалу, чтобы деление «12» смотрело на север. Следовательно, в конструкции часов необходим компас. Кроме того, нужен отвес, чтобы установить гномон (столбик) часов вертикально, а шкалу — горизонтально.

Итак, карманные солнечные часы должны содержать шкалу, гномон, компас и отвес.

→ **8.5. Воздушный океан.** При температуре –200 °С воздух становится жидким. Как вы думаете, какой стала бы глубина воздушного океана, если бы Земля остыла до такой температуры?

Решение. Давление атмосферы определяется, как известно, ее тяжестью. При охлаждении до –200 °С в жидкое состояние перейдут азот и кислород атмосферы — более 99 % ее массы. Значит, давление воздушного океана на его дно будет равно атмосферному давлению. Это давление можно выразить как давление столба жидкости:

$$p = \rho gh,$$

где ρ — плотность жидкого воздуха, а h — глубина воздушного океана. Отсюда получаем:

$$h = \frac{p}{\rho g}.$$

При $p = 10^5$ Па, $\rho = 860$ кг/м³ и $g = 9,8$ Н/кг получаем, что воздушный океан имеет глубину $h \approx 12$ м. Так что ошибочно считать, что жидкий воздух затопит все континенты — вся суша, находящаяся на высоте более 12 м над уровнем моря останется сушей. Полезно сравнить получившуюся глубину воздушного океана со средней глубиной нынешнего (водного) океана — 4400 м.

→ **8.6. «С пробойной в борту...»** Знаменитый космопроходец Йон Тихий рассказывает:

Однажды в моем корабле сломался космический спидометр. А тут еще метеороид насквозь прошел мое несчастное судно, просвистев со скоростью 50 км/с. В обшивке корабля остались две пробоины, смещенные друг относительно друга на 6 м. Считая, что метеороид летел перпендикулярно оси корабля, я вычислил, с какой скоростью летит корабль. Ширина корабля — 20 м.

Решение. За то время, за которое метеороид пролетел расстояние $s_1 = 20$ м со скоростью $v_1 = 50\,000$ м/с перпендикулярно оси корабля, корабль успел пролететь расстояние $s_2 = 6$ м с искомой скоростью v_2 . Имеем два движения с общим временем. Находим это время t по движению метеороида и, подставляя в формулу для движения корабля, находим v_2 .

$$t = \frac{s_1}{v_1};$$

$$v_2 = \frac{s_2}{t} = \frac{s_2 v_1}{s_1} = 15000 \text{ м/с} = 15 \text{ км/с}.$$

9 класс

→ **9.1.** На фото (рис. 4) вы видите кратеры на Венере. Когда измерили глубину кратеров на Венере, оказалось, что они менее глубоки, чем кратеры на Луне. Почему?

Решение. Венера, в отличие от Луны, содержит атмосферу, так что метеороиды в атмосфере из-за сопротивления венерианского «воздуха» заметно теряют свою скорость. Удар о поверхность выходит слабее, и глубина кратера поэтому меньше.

→ **9.2. Великолепная восьмерка.** На фото (рис. 5) представлен хорошо известный вам космический объект, снятый с земной поверхности. Что это за объект? Как проводились съемки? Почему на фото получилась «восьмерка»?

Решение. На фотографии 46 изображений Солнца, снятых в разные дни года в одно и то же время суток, при этом фотокамера не меняла своего положения. Если бы движение Солнца по небесной сфере было равномерным, то изображения располагались бы по дуге окружности (например, при съемке

в 12.00 местного времени Солнце было бы видно строго на юге на разной высоте). Поскольку движение Солнца неравномерно, его положения в одно и то же время суток немного смещены, и вместо дуги окружности получается восьмерка. Такая кривая (положение Солнца в одно и то же время суток в разные дни года) называется аналеммой.

→ 9.3. Почти по «Гарри Поттеру».

Заметка из газеты («Арт-мозаика», № 10–2001):

В прошлом году дорожный патруль штата Аризона обнаружил металлическую конструкцию, впечатавшуюся в скалу на высоте 50 футов. Картина напоминала авиакатастрофу, однако эксперты выяснили, что средство передвижения до встречи со скалой было автомобилем Шевроле.

Хозяин машины где-то раздобыл брикет твердого ракетного топлива и решил побаловать железного друга. Выехав в пустыню, нашел прямой и длинный участок шоссе, присобачил к машине капсулу с брикетом, слегка разогнался и поджег брикет. Дальше все было как в сказке: видели добра молодца севши, не видели поехавши. Все остальное эксперты установили с известной долей вероятности — по характеру горения и плавления асфальта и другим косвенным данным.

Место старта находилось более чем в трех милях от финиша, то есть от скалы. Несчастная «Антилопа Гну» развила скорость около 350 миль в час и оставалась на дороге на протяжении двух с половиной миль (10–15 секунд). Водитель при этом испытал перегрузки, более типичные для авиации, но все еще пытался затормозить, в результате шины стерлись, оставив на дороге жирный черный след. Затем машина, конечно, взлетела и оставшаяся до скалы милю преодолела по воздуху...

Представьте себе, что вы — как раз тот специалист-эксперт, которому поручили разобраться в причинах катастрофы.

- 1) Для начала объясните, почему машина взлетела.
- 2) Оцените, какой скорости должна была достигнуть машина для взлета.

Решение. Корпус машины вместе с ее днищем можно считать своеобразным крылом, так что при движении машины обязательно возникает подъемная сила. Обычно машины не взлетают, потому что предусмотренная максимальная скорость дает подъемную силу, намного меньшую, чем вес машины.

Хозяин машины, можно сказать, обеспечил ее авиационным реактивным двигателем, так что она достигла авиационных скоростей и подъемная сила превысила силу тяжести.

Грубо оценить критическую скорость можно, применив уравнение Бернулли: за счет движения

обтекающего корпус машины потока воздуха возникнет перепад давлений, направленный вверх:

$$\Delta p = \rho v^2 / 2. \quad (1)$$

Тогда подъемную силу можно оценить по формуле

$$F = pS, \quad (2)$$

где S — площадь днища.

Чтобы машина взлетела, подъемная сила должна сравняться с силой тяжести:

$$F = mg. \quad (3)$$

Подставляя (1) и (2) в (3), получим $\rho S v^2 / 2 = mg$, откуда $v^2 = 2mg / \rho S$.

Тогда, подставляя плотность воздуха $\rho \approx 1,3 \text{ кг/м}^3$, площадь днища $S \approx 2,5 \text{ м}^2$, массу автомобиля $m \approx 1200 \text{ кг}$, $g \approx 10 \text{ м/с}^2$, получим $v \approx 90 \text{ м/с} \approx 324 \text{ км/час}$.

Современные гоночные автомобили не взлетают, поскольку оснащены антикрылом — поверхностью, которая расположена так, что аэродинамическая сила со стороны встречного потока воздуха прижимает машину к трассе.

→ 9.4. Остановись, затмение, ты прекрасно! Известно, что полная фаза солнечного затмения продолжается 2–7 минут. Предложите способ продлить наблюдение.

Решение. Как продлить наблюдение? Область затмения представляет собой тень от Луны, которая движется по поверхности Земли (рис. 6). Можно попытаться догнать затмение — из точки, откуда затмение ушло, переместиться в точку, где полная фаза затмения еще идет.

Известно, что, например, во время затмения 11 августа 1999 г. в южной Англии полное затмение наблюдалось около 11.30 по московскому времени, а в Венгрии — в 13.30. Расстояние от Лондона до Будапешта — около 1500 км. Необходимая скорость (750 км/ч) доступна пассажирскому реактивному самолету. Значит, для того, чтобы наблюдать затмение подольше, нужно сесть на реактивный самолет и лететь вслед за тенью от Луны. Такие экспедиции осуществлялись в действительности.

→ 9.5. Измерение на расстоянии. Подлетев к незнакомой планете, космический корабль перешел на низкую круговую орбиту. Смогут ли космонавты, пользуясь только часами, определить среднюю плотность вещества планеты? Как?

Напоминаем на всякий случай, что объем шара радиуса R вычисляется по формуле $V = 4\pi R^3 / 3$.

Решение. Корабль обращается по низкой орбите (радиус орбиты равен радиусу R планеты) с периодом T под действием гравитационной силы. Запишем второй закон Ньютона для корабля:

$$G \frac{Mm}{R^2} = ma_r = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{3M}{4\pi R^3}.$$

Из этой формулы получаем:

$$\frac{M}{4\pi R^3} = \frac{\pi}{GT^2},$$

откуда

$$\rho = \frac{3\pi}{GT^2}.$$

→ **9.6. Перетягивание каната в космосе.** Космонавт массой m_1 приближается к космическому кораблю массой m_2 с помощью легкого троса. Первоначально корабль и космонавт неподвижны, а расстояние между ними равно L . Какое расстояние пройдет космонавт до встречи с кораблем?

Решение. Система «космонавт–трос–корабль» замкнутая. Следовательно, ее центр масс должен иметь постоянную скорость. Поскольку вначале все тела неподвижны, то центр масс системы неподвижен. Следовательно, космонавт и корабль встретятся в центре масс системы. Найдем, на каком расстоянии от космонавта он находится. Примем первоначальное положение космонавта за начало координат. Тогда начальная координата корабля равна L . Найдем координату центра масс:

$$x_c = \frac{m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot L}{m_1 + m_2} = L \frac{m_2}{m_1 + m_2}.$$

Поскольку эта координата отсчитывается от начального положения космонавта, именно такое расстояние пройдет космонавт до встречи с кораблем.

Этот же ответ можно получить, применив закон сохранения импульса.

10 класс

→ **10.1. Задание 9.2 для 9 класса.**

→ **10.2. «Черный — это цвет?»** На фотографии (рис. 7) вы видите солнечное пятно на поверхности Солнца. Как вы догадываетесь, вещество поверхности Солнца представляет собой раскаленный газ, который и излучает солнечный свет, потому поверхность Солнца называется фотосферой. Почему же пятно черное?

Решение. Возможно, вам приходилось в сумерках наблюдать встречную машину, когда она включает фары. До включения фар вы видите, что машина, скажем, красного цвета, но после включения фар машина вам по контрасту кажется уже черной. Солнечное пятно представляет собой раскаленные потоки газа, но температура в пятне значительно (примерно на 2500 °С) меньше, чем вокруг него, поэтому по контрасту пятно кажется черным.

Но если бы убрать с неба Солнце, а оставить одно пятно, пятно было бы вполне заметным светилом (темнокрасного цвета). Как видите, бывают случаи, что «черный — это цвет!».

→ **10.3. Вакуум в телескопе.** У некоторых солнечных телескопов из трубы выкачан воздух. Для чего это сделано?

Решение. Возможно, вы в жаркий день видели, что над асфальтом возникает хорошо заметное дрожание воздуха — «маревое», и окружающие предметы через это марево выглядят искаженными. Происходит это потому, что солнце нагревает асфальт, асфальт нагревает прилежащие слои воздуха, а в воздухе возникают вихревые потоки, которые и воспринимаются как «марево».

Сходное явление может возникнуть и в солнечном телескопе: солнечные лучи нагревают стенки телескопа и т. д. Изображение Солнца в телескопе по этой причине получится искаженным. Если выкачать воздух, таких искажений не будет.

→ **10.4. Льдина в небе?** Отрывок из статьи в газете: «Во время полета на космической станции «Салют» советский космонавт Георгий Гречко обнаружил на одной из фотографий... льдину, висящую в воздухе выше облаков! Только на Земле удалось разобрататься в этом странном явлении...»

Как могла получиться такая фотография? Предложите свое объяснение.

Решение. На фотографии был зафиксирован мираж: атмосфера Земли сработала как линза и дала изображение льдины выше облаков. Обычный земной мираж тоже можно сфотографировать. Соответственно, Георгий Гречко мог бы увидеть и сфотографировать льдину выше облаков, если бы посмотрел в нужный момент в нужном направлении.

→ **10.5. Планетарный нагреватель.** Планета Шелезяка очень похожа на Землю, но на последних выборах в Парламент там победили антиэкологи-сты, которые немедленно построили на всей поверхности планеты (включая моря и океаны) атомные электростанции для нагрева атмосферы. На один квадратный метр поверхности Шелезяки приходится тепловая мощность 100 Вт. Через какое время температура атмосферы увеличится на 1 °С? Считайте, что сама планета не нагревается, а мощность излучения в космос остается неизменной.

Решение. Каждая порция воздуха при нагревании будет расширяться при неизменном давлении — своем для каждой порции. Воздух на 99 % состоит из двухатомных газов, поэтому его молярная теплоемкость при постоянном давлении равна $7R/2$.

Найдем число молей газа ν в атмосфере. Атмосферное давление

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\nu Mg}{S},$$

где S — площадь поверхности планеты, M — молярная масса воздуха), откуда

$$\nu = \frac{pS}{Mg}.$$

Время нагрева τ найдем из уравнения теплового баланса. Поскольку тепло, выделенное станциями, идет на нагрев атмосферы, имеем

$$N\tau = C\nu \cdot \Delta T;$$

$$N\tau = \frac{7}{2} R \frac{pS}{Mg} \cdot \Delta T.$$

Откуда

$$\tau = \frac{7}{2} R \frac{pS}{NMg} \cdot \Delta T.$$

Подставляя $R = 8,31$ Дж/(моль·К); $N/S = 1000$ Вт/м²; $p = 10^5$ Па, $M = 0,029$ кг/моль; $\Delta T = 1$ К, получаем $\tau \approx 10^4$ с $\approx 2,8$ ч.

→ **10.6. Как взвесить Галактику?** Оценки массы Галактики, полученные разными способами, дают разные результаты. Визуальный способ состоит в том, что подсчитывают массу светящегося вещества Галактики, расположенного в пределах трех миллиардов астрономических единиц от центра Галактики ($r = 3 \cdot 10^9$ а.е., где а.е. — среднее расстояние от Земли до Солнца — $1,5 \cdot 10^{11}$ м). Такой подсчет показывает, что в этих пределах сосредоточена масса $M_1 = 1,5 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ ($M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг — масса Солнца).

С другой стороны, измерено, что звезды, находящиеся на расстоянии $r = 3 \cdot 10^9$ а.е. от центра, обращаются вокруг центра Галактики с периодом $T = 3,75 \cdot 10^8$ лет, и по этим данным вычисляют другое значение M_2 массы нашей Галактики.

Определите величину расхождения и попытайтесь объяснить, какими причинами это расхождение вызвано.

Решение. Какая связь между массой Галактики и периодом обращения звезды вокруг центра Галактики? Звезда обращается вокруг Галактики под действием тяготения, действующего на звезду со стороны всего остального вещества Галактики. Массу M этого вещества легко оценить, считая, что форма Галактики близка к сферической. Тогда по закону всемирного тяготения на звезду массы m , находящуюся на расстоянии r от центра, действует сила тяготения

$$F = GMm/r^2. \quad (1)$$

Если считать, что звезда движется по окружности с периодом T , из второго закона Ньютона получим

$$GMm/r^2 = m \cdot 4\pi^2 r/T^2, \quad (2)$$

откуда

$$M = 4\pi^2 r^3/GT^2. \quad (3)$$

Подставляя значения $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг², $r = 3 \cdot 10^9$ а.е. = $4,5 \cdot 10^{20}$ м, $T = 3,75 \cdot 10^8$ лет = $11,8 \cdot 10^{15}$ с, получим

$$M = 4 \cdot 10^{41} \text{ кг} = 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}.$$

Выходит, что «динамическая» масса Галактики, вычисленная на основе законов динамики, в полтора раза больше, чем «визуальная» масса той же Галактики (определенная на основе визуальных наблюдений). Как же это объяснить?

Если считать, что законы физики, установленные на Земле, действуют во всей наблюдаемой Вселенной, напрашивается простое объяснение: часть галактической массы (пятьсот миллионов солнечных масс!) не доступна визуальному наблюдению, т.е. невидима. Что это может быть за вещество?

Для ясности сначала разберемся, какое вещество в Галактике видимо. В основном, это звезды, которые излучают сами. Кроме них, могут быть видны межзвездный газ и межзвездная пыль, которые можно считать «вторичными источниками» — они, при определенных условиях, переизлучают свет, полученный от звезд. Такое переизлучение происходит не всегда — бывает, что газ и пыль полностью поглощают видимое излучение.

Так что вклад в «скрытую массу» Галактики могут давать межзвездный газ и межзвездная пыль. Это могут быть также звезды, которые в ходе своего жизненного цикла либо еще не начали излучать в видимой области (не успели разогреться до нужной температуры), либо уже перестали излучать (например, черные дыры). Еще один возможный ресурс — те элементарные частицы, которые слабо взаимодействуют с веществом (например, нейтрино, если они имеют массу покоя, могут дать большой вклад в скрытую массу).

11 класс

→ **11.1. Задание 9.2 для 9 класса.**

→ **11.2. Куда девались кольца?** Вы, конечно, узнали на фото (рис. 8) планету Сатурн по его знаменитым кольцам. Но однажды Сатурн поразил наблюдателей: наведя телескоп на Сатурн, они не увидели колец! Как бы вы объяснили этот поразительный факт?

Решение. Если вы смотрите на 100 долларовую купюру, обращенную к вам портретом, то видите ее хорошо. Если ту же купюру расположить к вам

ребром на уровне глаз, вы ее, скорее всего, не заметите даже с очень близкого расстояния.

Кольца Сатурна, имея большую ширину, имеют очень малую по астрономическим меркам толщину — всего несколько километров. Когда кольца поворачиваются к наблюдателю ребром, их можно заметить только в очень сильные телескопы как яркую полоску.

→ **11.3. Блуждающие зонды.** Одно время в качестве спутников-ретрансляторов попробовали использовать надувные зонды (шары радиусом около 50 метров). Через несколько месяцев выяснилось, что все зонды ушли с расчетных орбит. Как вы думаете, по какой причине? Оцените силу, которая «сносила» зонды.

Решение. Зонды уходили с орбит под действием силы светового давления со стороны Солнца. Оценить ее можно, вспомнив известную формулу для мощности $N = Fv$.

В нашем случае N — мощность солнечного излучения, падающего на шар, $v = c$ — скорость света. Тогда сила светового давления $F = N/c$.

Мощность излучения, падающего на шар вблизи земной орбиты, можно оценить, зная солнечную постоянную

$$\alpha = N/S = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

Тогда

$$F = \alpha S/c = \alpha \pi R^2/c.$$

Подставляя численные данные, получим $F \approx 3,5 \text{ Н}$.

→ **11.4. Улыбка без кота.** Астроном-любитель Арчер Салли наблюдал комету, которая не имела ядра, а имела только один хвост. Он назвал ее «чеширской кометой» по аналогии с Чеширским котом, который исчезал, а улыбка его еще оставалась. Объясните, как могла получиться комета без ядра.

Решение. Ядро кометы к моменту наблюдения полностью испарилось. Кстати, хвост у кометы появляется как раз благодаря испарению ядра.

→ **11.5. Космические часы.** Некоторые звезды пульсируют, причем период этих пульсаций для каждой звезды постоянен. Выведите формулу для этого периода, если известны масса и радиус звезды. Оцените период пульсаций численно для звезды с параметрами, близкими к параметрам Солнца.

Решение. Выведем формулу периода пульсаций по аналогии, сравнивая пульсации звезды с колебаниями математического маятника. Период маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (1)$$

где L — длина маятника, g — ускорение свободного падения.

Для пульсаций звезды линейным параметром L будем считать радиус звезды ($L = R$), а ускорение свободного падения на поверхности звезды найдем из закона всемирного тяготения:

$$g = GM/R^2. \quad (2)$$

Тогда формула (1) примет вид:

$$T = \sqrt{\frac{R^3}{GM}}.$$

Для звезды с параметрами Солнца $M = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ и $R = 7 \cdot 10^8 \text{ м}$ получаем период пульсаций

$$T \approx 1,5 \cdot 10^3 \text{ с} = 25 \text{ минут}.$$

→ **11.6. Космический беглец.** Метеорит на очень большом расстоянии от планеты имеет скорость v_0 , падая на нее, он имеет скорость v . Какую скорость нужно сообщить космическому кораблю на поверхности планеты, чтобы он покинул ее безвозвратно.

Решение. Пусть радиус планеты равен R , а ее масса равна M . Тогда на большом расстоянии от планеты полная энергия метеорита равна его кинетической энергии в тот момент:

$$E_{m1} = \frac{m_m v_0^2}{2}.$$

В момент падения на планету его энергия складывается из кинетической энергии и потенциальной энергии притяжения к планете:

$$E_{m2} = \frac{m_m v^2}{2} - G \frac{m_m M}{R}.$$

По закону сохранения энергии $E_{m2} = E_{m1}$, откуда

$$G \frac{M}{R} = \frac{v^2 - v_0^2}{2}. \quad (1)$$

Чтобы корабль покинул планету безвозвратно, ему нужно сообщить вторую космическую скорость v_k — такую, чтобы его кинетическая энергия по модулю равнялась потенциальной энергии его притяжения к планете:

$$\frac{m_k v_k^2}{2} = G \frac{m_k M}{R},$$

откуда

$$v_k^2 = 2G \frac{M}{R}.$$

Подставляя формулу (1) и извлекая корень, получаем:

$$v_k = \sqrt{v^2 - v_0^2}.$$