

Задача 1.

Латинское название *Coma Berenices* принадлежит созвездию северного полушария Волосы Вероники. Слово *Coma* переводится как волосы. С клиническим состоянием название созвездия никак не связано. Зато с кометами их связывает общее происхождение. Слово *Cometes* переводится как волосатый. Также и русское слово косматый имеет схожее происхождение. Кометы так названы благодаря шлейфу мелких частиц, возникающих у тела при приближении к Солнцу. Частички льда и пыли при увеличении температуры испаряются с поверхности комет и образуют хвост, который напоминает волосы. К слову, облако из пыли и газа, окружающее ядро кометы, называется просто Кома.

Существует еще несколько терминов «Кома». В частности, так называется одна из аберраций оптических систем. В результате этой аберрации изображение точки, даваемое оптической системой, принимает вид несимметричного пятна рассеяния, похожего на комету.

Есть причины, почему и у созвездия такое название. Согласно мифологии жена египетского царя Вероника отрезала свои прекрасные волосы и поместила их в храме Афродиты в благодарность богине за победу над сирийцами, дарованную ее мужу. Волосы были настолько прекрасны, что боги приняли жертву и поместили локоны на небо. В созвездии наблюдается большое количество галактик, которые вместе с тремя звездами созвездия создают астеризм, напоминающий волосы. Богатое скопление галактик Волос Вероники также получило название Кома. К слову сказать, созвездие (в отличие от астеризма) не сразу появилось в каталогах. Долгое время эту область неба относили к созвездиям Лев (в этом случае это была «Кисточка» на хвосте), Дева (в этом случае это был «Кадуцей» Гермеса) и Волопас (в этом случае это был «Сноп Пшеницы»).

Дополнительные интересные факты об этом созвездии — наличие в нем: северного полюса галактики Млечный путь; яркой двойной звезды с именем Диадема; крупных довольно близких шаровых звездных скоплений М 53 и NGC 5053. Наиболее благоприятные условия видимости созвездия в марте – апреле.

Задача 2.

Меркурий — ближайшая планета к Солнцу, и солнечный свет нагревает ее довольно сильно, но только те места планеты, куда он может попасть. На ночной стороне температура действительно может снижаться до $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этому способствует отсутствие атмосферы и медленное вращение планеты. Сторона, которая не обращена к Солнцу, успеваает остыть за один оборот, а отсутствие атмосферы не позволяет переносить тепло из одного полушария в другое. Кстати, одно время считалось, что Меркурий всегда повернут к Солнцу одной стороной. В этом случае указанная в задании температура для обратной стороны была даже слишком высокой. Решением считалось наличие слабой атмосферы. Также на Меркурии есть глубокие кратеры на полюсах, в которые никогда не попадает солнечный свет. В них температура может быть еще ниже.

У Венеры существует плотная атмосфера, и, несмотря на медленное вращение планеты вокруг Солнца, потоки воздуха переносят тепло, и практически нигде на

Венере температура не опускается ниже $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Стоит отметить, что углекислый газ, из которого и состоит атмосфера Венеры, плохо пропускает инфракрасное излучение и тем самым задерживает тепло на поверхности. Возникает так называемый парниковый эффект. Вследствие этого температура планеты становится выше ожидаемой. Далее идет система Земля-Луна. На Луне ситуация похожа на положение дел на Меркурии: освещенная сторона может разогреться до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. На Земле разница температур меньше из-за наличия атмосферы и переноса тепла, а также из-за быстрого вращения вокруг оси. Ночная сторона не успевает остыть, а дневная сильно нагреться. Похожим образом обстоит дело и на Марсе. Все же на планете есть холодные места — это полярные шапки. Марс имеет значительный наклон оси вращения, вследствие чего полярные области могут не получать солнечного света очень долго (полгода марсианских, а это почти 1 земной год). Интересный факт, что данная в задании температура является предельно низкой для Марса. Атмосфера Марса состоит из углекислого газа, а температура его кристаллизации как раз равна $-124\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из-за этого температура не опустится ниже этой отметки, пока вся атмосфера не замерзнет.

Планеты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун не имеют поверхности в привычном понимании этого слова. Так как аппарат не мог сесть на эти планеты, он проводил измерение вблизи планеты. У Юпитера измеренная температура значительно выше ожидаемого. Существует несколько объяснений. Возможно, аппарат углубился в нижние слои атмосферы Юпитера. Там действительно температура огромна, но и огромное давление. До этих слоев не может долететь ни один известный аппарат. Второе объяснение связано с одним из спутников Юпитера Ио. Он вулканически активный, высота султана при извержении его вулканов может достигать 300 км. Аппарат вполне мог попасть в облако раскаленных частиц вулканического вещества после извержения на Ио, температура которых может достигать $\sim 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также между Ио и Юпитером существует так называемый плазменный тор Ио. Благодаря магнитному полю планеты в нем могут возникать различные радиационный эффекты, разгоняющие плазму и повышающие ее температуру. В числе таких явлений могут быть молнии. Также попадание молнии в атмосферу самой планеты может объяснить такую высокую температуру.

Спутник Ио — один из немногочисленных спутников, который имеет внутренние источники тепла и как следствие вулканическую или криовулканическую активность. К таким же относятся также Титан, Энцелад и некоторое количество других спутников.

Дальнейшие измерения мало отличаются друг от друга. Эти объекты настолько далеко, что энергия от Солнца мало влияет на их температуру, а основным источником тепла для газовых гигантов является постепенное гравитационное сжатие планеты. При этом температура зависит от массы планеты. Юпитер — самая большая и тяжелая планета Солнечной системы, и ему не хватило совсем немного массы, чтобы стать звездой, точнее, коричневым карликом.

В дополнение важно отметить, что измерения температуры проводится только у вещества (по скорости движения молекул), а измерения температуры в космическом вакууме не имеют смысла. Так что должен быть непосредственный контакт с веществом: с поверхностью, с атмосферой или другим веществом, окружающим астрономический

объект.

Также для проверок различных теорий важно проводить измерения сериями и вычислять среднюю температуру. Единичные измерения, как в задании, обладают статистическими систематическими ошибками.

Примечание:

Оси вращения Меркурия, Венеры, Юпитера практически перпендикулярны их орбитам. Соответственно, на этих планетах нет смены времен года. Отражающая способность Луны очень низкая. На небе она кажется хорошо отражающий свет благодаря контрасту. Альbedo Луны 0.12, Земля в три раза лучше отражает свет. Лучшее всех из перечисленных в таблице отражает свет Венера. Несомненно, температура зависит от материала поверхности и его отражающих свойств, но не так сильно, как от других факторов.

Вулканическая активность и температура ядра также вносят вклад в температуру планеты, но не такой значительный. Имеются некоторые косвенные свидетельства вулканической активности на Венере, и они указывают на возможность существования там в недавнем прошлом активных вулканов, но на данный момент вулканическая активность Венеры не подтверждена.

Задача 3.

Скорость вращения Луны вокруг своей оси совпадает со скоростью обращения Луны вокруг Земли. Вследствие этого одна сторона Луны всегда повернута к Земле. Итак, с Земли мы видим только одну сторону Луны. Обратную сторону полностью мы не видим никогда. При этом если наблюдать с поверхности Луны, то на большей части видимой стороны Луны Земля видна все время практически в одном и том же месте и никогда не заходит за горизонт, а на большей части обратной стороны Землю никогда не видно, и она никогда не восходит.

Орбиту, которая реализует подобное явление, называют синхронной.

Тем не менее, из-за того что Луна вращается не по идеальной круговой орбите, а также из-за того, что ось вращения Луны вокруг своей оси не совпадает с осью вращения по орбите, на Луне все же наблюдается небольшое движение Земли по небу. При наблюдении с Земли Луна совершает небольшие колебания, при которых могут быть видны небольшие участки обратной стороны. Такой эффект называется либрацией Луны.

Если учесть этот эффект, то все-таки можно частично наблюдать на Луне восход и заход Земли за горизонт. Существуют две причины, вызывающие либрацию. Первая причина — вытянутость орбиты Луны вокруг Земли, т. е. либрация возникает из-за того, что орбита не круговая. Вследствие неравномерности движения Луны ее часть может слегка повернуться вперед еще до того, как вся Луна повернется на тот же угол вследствие осевого вращения. В этом случае заход Земли за горизонт можно наблюдать на границе видимой и обратной стороны Луны (лимб). Это может происходить один раз за оборот Луны вокруг Земли по своей орбите. т.е за синодический месяц (приблизительно 30 земных дней).

Вторая причина — наклон оси вращения Луны к плоскости орбиты. В этом случае

с Земли виден то один полюс Луны, то другой. То есть наблюдать заход Земли за горизонт можно на полюсах Луны. Этот эффект повторяется раз в драконический месяц. На сегодняшний день ни один человек не высаживался в этих местах и никто на Луне не видел данное явление. Тем не менее можно найти фотографию, сделанную экипажем «Аполлон-8», которая называется Earthrise («Восход Земли»). Она была сделана 24 декабря 1968 года во время облета Луны космическим аппаратом в процессе его движения, но не с поверхности Луны, а с орбиты вокруг нее.

Задача 4.

Согласно теории относительности Эйнштейна течение времени не является равномерным, а зависит от системы отсчета. На искажение влияют два основных фактора: релятивистское замедление и гравитационное красное смещение. Согласно специальной теории относительности (СТО) релятивистское замедление времени представляет собой замедление всех физических процессов подвижного тела по сравнению с отсчетом времени неподвижной (лабораторной) системы отсчета. В вопросе система отсчета связана с неподвижным наблюдателем на поверхности Земли. Для пребывания на орбите космическому аппарату нужно поддерживать скорость не ниже первой космической. Она равна $v \sim 7,9$ км/с. То есть человек, который будет стоять на Земле, будет смотреть на часы на орбите (скажем, на МКС) и увидит, что они идут медленнее, чем его часы. Если систему отсчета перенести на орбиту, то ситуация изменится. В системе отсчета, связанной с кораблем, космонавт не двигается, а человек на Земле вращается с большой скоростью. То есть с точки зрения космонавта, на Земле время идет медленнее. При этом для самих космонавтов в их системе отсчета время течет как обычно. У некоторых может возникнуть впечатление ошибки, парадоксальной ситуации: на орбите время идет медленнее и одновременно на Земле время идет медленнее. Данный парадокс известен как парадокс близнецов. Один близнец остается на Земле, а другой отправляется в космос. После возвращения непонятно, кто старше. Тем не менее, разрешение этого парадокса существует.

Для вычисления величины релятивистского замедления можно воспользоваться формулой:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Лоренц-фактор γ .

$$\tau = \gamma \tau_0.$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Так как скорость космонавтов несравнимо меньше скорости света, то в количественной мере отклонение будет незначительно. Разница в 0.01 секунды в показаниях часов космонавтов на орбите и людей на земле накопится в течение года.

Помимо релятивистского замедления времени существует еще эффект гравитационного красного смещения. Согласно общей теории относительности (ОТО) в более сильном

гравитационном поле все физические процессы проходят медленнее, чем в более слабом. Космонавты на орбите более удалены от центра притяжения Земли, соответственно, подвержены менее сильному гравитационному притяжению. В системе отсчета космонавтов время на Земле будет идти медленнее, а в системе отсчета, связанной с Землей, время на орбите относительно Земли ускорится, и эффекты складываются. Для низких орбит, где летает МКС и космонавты, эффект релятивистского замедления времени вызывает количественно большее замедление, чем вызывает ускорение от эффекта гравитационного красного смещения. Для более высоких орбит ситуация может быть другой. Этот же эффект помогает разобраться в парадоксе близнецов. Так как близнец-космонавт сначала имел скорость как у второго близнеца, а потом набрал скорость, он испытал ускорение, а значит и перегрузку — аналог гравитационного притяжения, и относительно неподвижной Земли время шло для него медленнее. Таким образом, космонавт по прилету на Землю будет моложе своего брата.

Примечание:

Эффект гравитационного красного смещения хорошо был иллюстрирован в фильме «Интерстеллар». Если мы будем наблюдать со стороны, то вблизи черных дыр, притяжение которых действительно огромно, время будет замедляться, а у горизонта черной дыры замедлится бесконечно сильно, практически остановится. Нам будет казаться, что корабль остановился, а его пассажиры не стареют в течении тысячелетий. При этом для космического корабля это заметно не будет.

Часто у учащихся ответ на этот вопрос основывался на том факте, что космонавты искаженно воспринимают время из-за того, что на орбите космонавты быстро сменяют часовые пояса, или что они видят 16 рассветов и закатов за 24 часа и подобные примеры. Данные утверждения, несмотря на их верность, не давали ответ на вопрос о самом течении времени, а только о способах его отсчета на Земле, восприятии суток и составлении расписания работы. Понятие единиц времени уже отошло от представлений о вращении планеты, закатах и рассветах, а базируется на основе атомных стандартов частоты. На МКС для составления расписания используют среднее время по Гринвичу (GMT).

Тем не менее, при правильном указании фактов подобные ответы поощряются дополнительными баллами.

Задача 5.

Вулкан Иджен — действующий вулкан в Индонезии. Желтая корка на его склоне — это крупные отложения серы. Рядом с вулканом расположено большое естественное месторождение природной серы. Во время извержений вместе с лавой поднимается сера и высвобождается сероводород. При температуре более 600 °С он воспламеняется, и его горение сопровождается синими всполохами. Температура лавовых потоков превышает 600 °С, и такие воспламенения происходят повсеместно. На самом деле свечение довольно слабое и хорошо наблюдается только ночью. При дальнейшем остывании паров серы помимо корки образуются сталактиты. Газ же при контакте с влажным воздухом образует крошечные капли серной кислоты. Сероводород, сернистый газ и сами пары серы плохо влияют на здоровье человека, в частности, на дыхательные

пути и кожу. Тем не менее из-за доступности и легкой добычи в кальдере вулкана проводится разработка серы как полезного ископаемого. Для защиты используются специальные маски. Помимо серы там же можно обнаружить оксиды металлов: алюминия, железа, кальция, магния, марганца, и др. Необычность вулкана позволяет повысить туристическую привлекательность района. Также из-за повышенного содержания серы и кислотной составляющей вблизи с вулканом располагается множество кислотных озер и там же находится самое большое такое озеро в мире — озеро Кавах. Интересной особенностью данного озера является его цвет. Вода в озере имеет бирюзовый оттенок из-за повышенного содержания кислот. Часто бывает, что при различной активности вулкана этот цвет может меняться на белый и коричневый. Также на подобных озерах происходит образование пены вследствие активности все того же сернистого газа.

Задача 6.

Шестой вопрос не имеет абсолютно верного ответа и больше ориентирован на проявление фантазии. Тем не менее можно провести некоторые параллели и связать свойства ядер умирающих звезд и свойства мифологического молота Мьельнир. Вероятно, под умирающими звездами подразумевается либо финальная стадия эволюции звезды: белый карлик, нейтронная звезда, черная дыра; либо ядро красного гиганта перед вспышкой новой или сверхновой звезды. Во всех этих случаях ядро представляет собой очень плотное образование. Большая часть массы звезды сосредоточена в маленьком объеме. Это происходит из-за того, что источники термоядерной реакции заканчиваются, и излучение, которое противодействует гравитационному сжатию, ослабевает. Из-за высокой плотности даже небольшой объем имеет огромную массу. Чайная ложка нейтронной звезды весит 110 млн тонн.

Молот, судя по всему, тоже очень тяжелый, так как никто его не может поднять. Конечно, маловероятно, что и сам Тор смог бы поднять такую массу, но сущность Тора выходит за рамки данного вопроса. Побочным действием высокой массы является создаваемая молотом гравитация. Действительно, если молот целиком состоит из сверхплотного вещества, то сила создаваемой им гравитации может быть сравнима с гравитацией Земли. Это может вызвать множество эффектов. Например, Земля и молот могут начать вращаться вокруг общего центра масс, или, если молот аккуратно опустить на поверхность Земли, молот может устремиться к центру притяжения и проломить земную кору. В случае ядра черной дыры молот может даже поглотить Землю. Очень сложно придать этому веществу определенную форму, так как массивные тела стремятся придать себе форму шара.

Также, согласно описанному ответу на четвертый вопрос, высокое гравитационное поле создает искажения времени, вследствие чего рядом с молотом относительно удаленного наблюдателя время бы замедлялось. Сильная гравитация звезд искривляет не только время, но и пространство. Тяжелый гравитирующий объект рядом с собой должен отклонять свет. При этом для удаленного наблюдателя траектория пучков света будет искривленной и похожей на мост. Если свет искривляется в атмосфере, то возникает дисперсия света — появляется радуга. Радужный мост — один из элементов скандинавской мифологии и вселенной Marvel. К тому же гипотетически сквозь ис-

кривленное пространство можно перескакивать из одной точки Вселенной в другую. Это позволяют сделать так называемые кротовые норы. В реальности такое еще ни разу не наблюдалось, но гипотеза существует, и с помощью нее можно объяснить, как с помощью молота Тор может путешествовать в другие миры.

Существуют еще несколько особенностей нейтронных звезд, белых карликов и черных дыр. Обычно у звезд есть магнитное поле. Это магнитное поле чаще всего заморожено в плазму — вещество звезд. Это значит, что магнитные силовые линии и частицы среды жестко связаны друг с другом. Вследствие этого при сжатии звезды поле тоже сжимается и концентрируется. Таким образом, у ядер этих звезд очень мощное магнитное поле. Это магнитное поле может увлекать за собой заряженные частицы и вызывать различные эффекты, в частности — синхротронное излучение. Этот и другие эффекты движения заряженных частиц в магнитном поле можно сравнивать со вспышками молний.

Имеются и другие свойства ядер «умирающих» звезд, которые не соответствуют и даже противоречат свойствам молота. Ядра звезд — весьма горячие образования. Их температура составляет более 15 миллионов градусов, и чем плотнее ядро, тем выше температура. Еще один неприятный момент — выделение ядром всевозможных излучений, в том числе гамма-волн — радиации. В белом карлике или нейтронной звезде термоядерные реакции не происходят, но, если речь идет о ядрах красных гигантов, то там все еще происходят подобные реакции, а значит, такое ядро может вспыхивать и взрываться. Важным моментом в этом случае является возможность окончательного схлопывания ядра гиганта, тогда может возникнуть новая или сверхновая звезда.

Также минусом является само вещество звезды. В частности, если молот состоит из ядра нейтронной звезды, то вещество молота — нейтроны, а они в свободном состоянии распадаются через 10-15 минут.

Примечание:

В данном вопросе может быть множество плюсов и минусов теории, любые интересные и логически обоснованные мысли поощряются дополнительными баллами. Также, если в решении факт указан как плюс и подтверждает теорию, но в работе указан этот же факт как минус теории, то соответствующие критерии и баллы все равно засчитываются. Описание плюсов и минусов самого молота, а не теории его происхождения не оценивались.

Часто встречается утверждение, что поскольку ядро звезды — это газ или плазма, то вне звезды оно разлетится. Если имеется сильная гравитация, то нет причин разлететься, скорее молот наоборот схлопнется под действием своей же массы.

Задача 7.

В тексте содержалось несколько ошибок:

- “...космический аппарат «Кассини» зашел в атмосферу Сатурна и прекратил свою работу, не долетев до поверхности планеты”.

У Сатурна нет поверхности в привычном смысле этого слова.

- “Сам аппарат назван в честь первооткрывателя колец планеты...”

Официально открытие кольца Сатурна принадлежит Христиану Гюйгенсу (1655 год), а не Кассини. Правда, есть свидетельства, что их видел Галилео Галилей, только он их назвал “ушами” и не опубликовал свое наблюдение. Джованни Доменико Кассини же открыл щель между кольцами.

- *“Основным их элементом оказалась кремниевая пыль...”*

Основным элементом колец являются кристаллы льда и ледяные глыбы разных размеров (до 1000 м).

- *“На втором месте «сухой лед»...”*

Лед в кольцах является преимущественно водяным, а не из углекислого газа.

- *“...иногда возникают уплотнения-«спицы» и разрежения-«споки». Был сделан вывод, что это результат воздействия солнечного ветра”.*

Уплотнения и разрежения в кольцах вызваны не солнечным ветром, а гравитационным влиянием спутников планеты.

- *“Также «Кассини» смог найти семь ранее неизвестных спутников, которые прятались между колец планеты. Одним из них оказался спутник под названием Энцелад”.*

Энцелад был известен давно. Он открыт еще Уильямом Гершелем в 1789 г.

- *“...периодически после столкновения с астероидами из его кратеров вырываются гейзеры жидкой воды”.*

Гейзеры жидкой воды возникают из-за геологической активности, а не из-за падения астероидов.

- *“...исследование самого крупного спутника в Солнечной системе – Титана”.*

Крупнейший спутник в Солнечной системе – спутник Юпитера Ганимед, а не Титан.

- *“Оказалось, что давление атмосферы на его поверхности чуть меньше земного...”*

Давление атмосферы на Титане больше, чем на Земле.

- *“Поверхность спутника из космоса не видна, так как она закрыта плотным слоем белых облаков”.*

Облака на Титане оранжевого цвета. Атмосфера состоит по большей части из азота, аммиака и метана. Аммиак и органические соединения, включающие в себя атомы азота, придают поверхности Титана и атмосфере оранжевый цвет.

- *“Позже были обнаружены огромные волны, создаваемые приливными силами Сатурна”.*

На Титане нет приливов, так как спутник имеет синхронное вращение. На Титане практически нет волн, что удивительно, так как ветра там довольно сильные.

- *“Аппарат проработал 2 сатурнианских года”.*

Год на Сатурне длится 30 земных лет. Аппарат проработал 13 земных лет, т. е. менее половины от одного сатурнианского года.

- *“...обнаружил устойчивый полярный вихрь, по форме напоминающий шестеренку”.*

Вихрь в виде шестигранника, а не шестеренки.

Примечание:

Часто встречалось утверждение, что аппарат не мог проводить исследования 13 лет, так как между запуском аппарата в 1997 и 2017 больше времени. Аппарат 7 лет летел к Сатурну с Земли, а исследования проводил в течение 13 лет.

Было утверждение, что Энцелад не может извергать гейзеры жидкой воды, так как вода сразу замерзает. Это утверждение по сути верно, но в первые доли секунд вода имеет достаточно высокую температуру, и это даже больше похоже на пар. Потом этот пар действительно быстро остывает и сублимируется.