

**Конкурс по астрономии и наукам о Земле. Ответы и комментарии.
Критерии.**

Из предложенных 7 заданий мы рекомендуем выбрать самые интересные и ответить на них (школьникам 8 класса и младше рекомендуется 1–2 задания, школьникам старших классов — 2 или 3). Перечень вопросов в каждом задании можно использовать либо как план единого ответа, либо отвечать на все (или некоторые) вопросы по отдельности.

Ответы нужно снабдить разумным количеством примеров и пояснений по вашему выбору. Перечислять дополнительные примеры не обязательно (за них к оценке правильного ответа добавляются дополнительные баллы).

Тексты ответов подготовлены на основе записей лекций¹, прочитанных автором на закрытии XXXII Турнира имени М. В. Ломоносова в МГУ 27.12.2009.

В качестве дополнения приводятся примерные критерии оценивания. В частности, в критериях содержатся и такие пункты, которые не были рассмотрены на лекциях и не попали в основной текст.

1. Почему именно 2009 год объявлен ЮНЕСКО Международным Годом Астрономии? Юбилей каких важных событий в истории науки мы отмечаем в этом году?

2009 год провозглашён Международным годом астрономии 20 декабря 2007 года на 62-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН по инициативе Международного астрономического союза и ЮНЕСКО. Год приурочен к 400-летию юбилею начала использования телескопа для астрономических наблюдений.

Международному году астрономии посвящён сайт на русском языке <http://www.astronomy2009.ru>

Галилео Галилей в своём «Звёздном вестнике» написал, что впервые он направил телескоп на небо 7 января 1610 года. Галилей жил в Италии. В Италии — католическая церковь, и там к этому времени уже был введён Григорианский календарь. А 7 января 1610 года по новому стилю соответствует 28 декабря 1609 года старого стиля. Остальная Европа в то время жила пока ещё по Юлианскому календарю. В остальной Европе был 1609 год.

На самом деле, конечно, астрономия намного древнее. Это вообще самая древняя наука. Человек вообще начал задумываться о том, как устроен мир, как только оторвал взгляд от того, что он ел в данный момент и посмотрел на то, что над ним.

С самых древних времён все цивилизации (я не знаю про Древний Египет, но в Шумерии точно, в Греции — тоже точно, ну на эллинистическом востоке уж наверняка) знали свойства оптических приборов двух типов.

¹Аудиозаписи этих лекций опубликованы на сайте Турнира имени М. В. Ломоносова по адресу <http://olympiads.mccme.ru/turlom/2009/zadaniya/>

Это линзы — в первую очередь положительные, конечно — двояковыпуклые или плосковыпуклые. И зеркало — соответственно, сферическое зеркало.

Оптические системы, которые известны с древних времён — однокомпонентные — то есть либо одно зеркало, либо одна линза (прозрачное или полу-прозрачное тело). Древним было известно, что если мы берём параллельный пучок солнечных лучей, то положительная линза (двояковыпуклая или плосковыпуклая) может собрать их в точку — это один из древнейших способов получения огня. (А также развлечение современных детей. Впрочем, развлечение это не совсем безопасное — можно обжечься, поджечь чего-нибудь или получить тяжёлые травмы глаз.)

По преданию, древнеримский император Нерон (36–68 г. н. э.) смотрел на бои гладиаторов с помощью изумрудов. То есть якобы у него были изумрудные корректирующие линзы, которые он использовал для лицезрения событий, находящихся на расстоянии.

Очки появились несколько позже — примерно в 13 веке, уже в эпоху средневековья. Задержка более 1000 лет от практически известных свойств положительной линзы до их практического применения путём ношения на носу ближе к глазу (в виде очков) объясняется обычно тем, что люди от древней до средневековой эпохи были достаточно суеверны, религиозны. А очки — это дело серьёзное. Если их надеть — они искажают окружающий мир. К таким вещам вполне есть повод относиться с предубеждением, а то и паническим страхом и ужасом. (Древние линзы и очки были не такого хорошего качества, как сейчас. Кроме увеличения/уменьшения размеров изображения и корректировки резкости зрения — что, собственно, и требуется от очков — возникали ещё и дополнительные причудливые искажения. Тут есть чего испугаться.)

По другому преданию, Архимед во время Второй Пунической войны в 212 году до н. э. применил зеркала для того, чтобы поджечь с помощью концентрации солнечных лучей древнеримский флот, осаждавший с моря Сиракузы — родной город Архимеда. Я, правда, сильно сомневаюсь, что Архимед использовал вогнутые зеркала (хотя такие зеркала тоже известны с древних времён). Скорее всего тогда Архимед организовал просто систему, как это сейчас называется, солнечных коллиматоров. То есть скорее всего было взято достаточное количество отполированных металлических щитов.

И вогнутые зеркала, и линзы можно использовать для получения увеличенных изображений. С помощью лупы, поднося её на нужное расстояние, можно рассматривать с увеличением текст. Хорошая лупа может давать достаточно большое увеличение — примерно в 30 раз. Бывают также и сферические зеркала — в них можно посмотреть и увидеть своё изображение, увеличенное в 2–3 раза.

Опять-таки, по преданию система таких вогнутых зеркал стояла на макушке Александрийского маяка (его высота была около 120 метров) для того, чтобы наблюдать те корабли, которые приближались к Александрии, с достаточно большого расстояния. Вряд ли всё это было придумано — скорее всего какие-то элементы всех этих вещей действительно имели место быть.

Это было в древнем мире. В средние века, естественно, линзы и зеркала — всё это делалось. Очки начали применять в 13 веке. — я сказал. И, собственно, тут вот — ближе к 1610 году — появляется телескоп.

Почему такая гигантская дистанция между очками и телескопом — в 300 лет? Эта временная дистанция вызвана не тем, что люди были ненаходчивыми. Люди были находчивыми — даже не смотря на то, что церковь это запрещала делать. Проблема вот в чём: чтобы сделать более-менее приемлемый телескоп — вам нужно применить двухлинзовую систему.

Опять таки, все те люди, которые длительные века — будем так говорить — работали с нормальными линзами, так или иначе брали одну линзу в одну руку, другую линзу — в другую, и смотрели, что из этого получится. Опять таки, по преданию, рассказывают, что дети голландского мастера Леперсгея, который считается формальным изобретателем подзорной трубы до Галилея, играли с этими линзами и в один прекрасный момент возникла комбинация, когда возникло увеличенное изображение.

Это, скорее всего — легенда. Дети линзами, конечно, всегда играют — как и всем, что им в руки попадёт. Но для того, чтобы поймать нужную комбинацию, нужна всё-таки наблюдательность мастера. И, самое главное — если вы возьмёте две положительные линзы и попытаете построить из них оптическую систему, вы получите изображение перевёрнутое. Если вы правильно совместите фокусы обеих линз — вы получите на выходе параллельный пучок света. При правильном подборе фокусных расстояний он будет увеличенным. Но только изображение объектов будет перевёрнутым.

Вот в этом конечно фокус. Потому что любой нормальный человек средних веков, даже играя с линзами и увидев перевёрнутое изображение — что он после этого будет думать, как вы считаете? Он будет думать, что о его дьявол попутал, перекрестится, линзы разобьёт и убежит. И, самое главное, сделает так, чтобы его никто при этом не видел. И никому об этом не расскажет.

Получение перевёрнутого изображения было главным идейным тормозом, чтобы понять, что же собственно происходит.

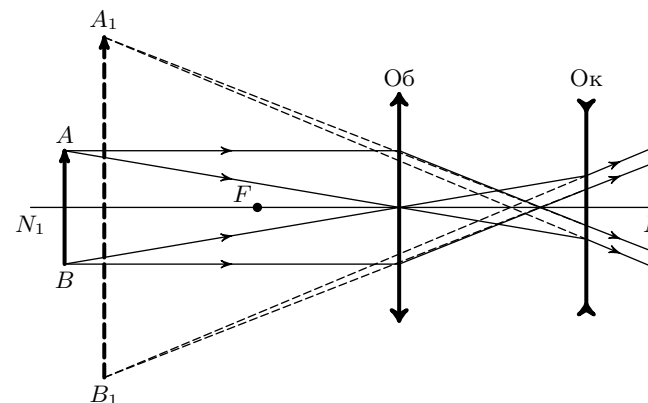
Я также напомню, что есть ещё один прибор, который известен — не знаю на счёт древность, но со средних веков точно — это камера-обскура. Вот у вас есть закрытый ящик, с маленьким отверстием. Причём этот ящик может быть любого размера. Это может быть, как раньше были старые фотоаппараты, на таких треногах. А может быть этот ящик размером с комнату. Такие забавы были у людей, которые располагали достаточным количеством комнат, чтобы одну из них под это дело употребить. Вот у вас там находится улица, вы делаете затемнённый зал, закрываете окно, там делаете узкое отверстие. И всё, что происходит снаружи, у вас через это отверстие проецируется на противоположную стенку. И вы на этой задней стенке своей комнаты-обскуры можете — повторяю, это в Средние века ещё всё делалось — можете смотреть такое (цветное, кстати) кино. Там всё будет двигаться. Всё вы увидите, но в перевёрнутом положении.

Такая забава, конечно, существовала, и народ начал довольно активно

ей забавляться уже с Эпохи Возрождения. Но всё-таки до Эпохи возрождения такие забавы были по идейным соображениям невозможны. А то можно было и на костёр попасть.

Что же произошло на самом деле годом раньше, в 1608 году? Голландский мастер изобретает подзорную трубу. Голландия (это протестантская страна) была двумя параметрами знаменита. Во-первых, большое количество хороших мастеров, в том числе и в области оптических дел. И второй параметр, который сыграл существенную роль в изобретении подзорной трубы — Голландия была преимущественно морской страной. И, кстати, к этому времени ещё была такая эпоха — она называлась эпохой 30-летней войны — там в Европе всё было очень неспокойно.

Первые подзорные трубы, опять таки, для того, чтобы решить проблему обратного изображения, в качестве окуляра использовали не двояковыпуклую, а плосковогнутую (отрицательную) линзу.



Вот так работала эта схема. Схема не самая эффективная. Но у неё есть один принципиальный плюс — изображение при этом остаётся прямым.

Морской флот — это как раз то место, где, во-первых, применение подзорной трубы имеет не просто важное значение, а жизненно-важное значение. Среди двух вражеских кораблей, примерно равных по своим техническим параметрам и мастерству капитанов и команд, победит тот, который раньше увидит другого. (Корабль вдалеке — это маленький объект на горизонте.) У той команды, которая раньше заметила своих врагов, принципиально более высокие шансы либо убежать (если им это надо), либо напасть и, соответственно, захватить (опять-таки, если им это надо). Это как в джунглях — кто кого раньше увидит, тот имеет существенные шансы победы. Если вас увидели и нашли раньше, то либо вы не успеете убежать, либо от вас убегут — вы будете в проигрыше (возможно, вообще не заметив добычу).

Поэтому изобретение подзорной трубы именно в Голландии помимо религиозных причин имело ещё и практические (точнее сказать — военно-практические) применения. И сначала в достаточной степени было военной

тайной. Но потом знание о том, что такой прибор в принципе существует и в принципе применяется, начало распространяться по Европе.

Галилей никогда не утверждал, что он изобрёл этот телескоп. Он его применил. То есть данные об этом изобретении — если называть изобретением комбинацию двухлинзовую систему с нужными параметрами, с заданными потребительскими свойствами на выходе — чтобы реально можно было видеть что-то, чтобы это было видно, и чтобы это было с увеличением — для чего, собственно, и нужна подзорная труба. При этом Галилей много занимался усовершенствованием этого изобретения.

Ещё один политический момент состоит в том, что Галилей в то время был профессором города Пизы, который входил в административное подчинение Венеции. А вот Венеция — тоже, как вы знаете, тогда была очень мощной в первую очередь военно-морской державой, ну и соответственно торгово-морской державой. И поэтому для них этот вопрос был очень важен. Почему они и поручили Галилею заняться рассмотрением этого вопроса: что это за изобретение новое — «голландская труба». Как устроена и что с её помощью можно сделать?

Галилей, действительно, серьёзно исследовал эти оптические вещи, усовершенствовал их. Также начал заниматься многократным изготовлением линз, изучением их свойств, комбинаторикой, и смотреть, что из этого получается. В конечном счёте он получил усовершенствованные подзорные трубы. Одну из которых продемонстрировал в том числе и на колокольне на площади святого Марка в Венеции.

Подзорная труба к этому времени уже имела применение в военно-морском и торговом флоте (но просто не афишируемое). К тому времени уже было продемонстрировано опять-таки в Голландии — там собрался такой военный совет в связи с заключением какого-то очередного мира или перемирия. И нужно было произвести эффект. Собрали участников переговоров и с колокольни собора одного города им дали в подзорную трубу посмотреть на часы колокольни другого города. Было видно, что на той колокольне часы показывают нужное время. Это произвело на участников переговоров нужное впечатление. Помимо морского применения в сухопутных армиях подзорные трубы тоже более чем полезны. Если вы посмотрите на картины или художественные фильмы о том, как воюют люди на Земле в эпоху второй половины 17 века (не говоря уже про 18 век), то там конечно полководцы смотрят вдаль в подзорную трубу. А до этого полководцы изображаются смотрящими вдаль, прикрывая глаза от Солнца ладонью.

Нас сейчас интересует другое. Галилей сделал принципиально новую вещь. Он подзорную трубу усовершенствовал, конечно, и поднял вверх. Он посмотрел с её помощью на объекты не земные, а на объекты небесные.

Вот тут возник второй принципиальный переход. Почему же я до сих пор так часто вспоминал о море, не о суше? О применении подзорных труб именно в морском деле? Когда Галилей усовершенствованную в подзорную трубу (он начал с 8-кратного и закончил 30-кратным увеличением), посмотрел на небо и увидел потрясающие открытия, которые я сейчас перечислю — просто вы часть их знаете, а часть, может быть, упустили, и сде-

лал из них сногшибательные выводы — главный вопрос, который возник: «А насколько это достоверно?» Представьте себе: кто-то что-то изобрёл, куда-то посмотрел, чего-то там увидел. Мало ли кто чего видел. . . Другие, может быть, этого не видели. Насколько всё это правдиво?

Вот море. Вот стоит наблюдатель с трубой. Вот у вас корабль вблизи. И вот у вас тот же корабль где-то в дали. (За счёт закругления Земли корабль будет ещё и под горизонт погружаться — но это дополнительный эффект). Но, самое главное — он удаляется и уменьшается в размерах. Либо наоборот — появился на горизонте (допустим, вы сидите в порту с трубой) и к вам приближается. Вы абсолютно уверены, что это физически один и тот же корабль. Вы знаете, что «это вот он». Либо он уплыл, либо он к вам приплывёт. И вы сможете сравнить то изображение, которое вы в подзорную трубу получите на большом расстоянии, с тем, что вы своими глазами увидите на маленьком расстоянии — в натуре, как говорят. Что это действительно одно и то же. Объект один и тот же, просто на разном расстоянии.

И поэтому, когда Галилей занялся уже собственно телескопической астрономией. . . Вот тут открылись какие-то странные картины. Которые обыкновенным глазом не видны и которые таким способом не проверишь. Потому что всё то, что наверху — Луна, звёзды, пятна на Солнце — это всё замечательно, но это далеко и неприближаемо. А вот — пожалуйста — метод проверки, почему то, что видно, является истинным.

Отдельный вопрос ещё был в том, что Галилей действительно плотно подошёл к вопросу усовершенствования оптики и строил подзорные трубы такого качества, каких у его коллег, оппонентов и т. д. ни в Италии, ни в других странах тогда ещё не было — они позже появились. И вот он объявил, что он собственно увидел, в своём «Звёздном вестнике», изданном в 1610 году. Другие в этот момент этого ещё пока увидеть не могли.

А что же он увидел?

Во первых, он посмотрел на Луну. И увидел, что Луна является таким же небесным телом, как и Земля. Там есть горы, долины, ущелья. Тени от лунных гор меняются в зависимости от фазы Луны. То есть это не плоский раскрашенный блин, который повешен на небосвод, а это небесное тело сферической формы, с разных сторон освещаемое Солнцем. Крайне неровное, и игра теней этих неровностей составляет свою особенную зависимость. Зависимость от того, как они освещены Солнцем. Галилей даже провёл первую оценку высот гор на Луне по длине тех теней, которые они дают.

Второй момент. Он увидел спутники Юпитера. Спутники Юпитера до него никто не наблюдал. Слишком слабо зрение человеческого глаза для этого. А модель спутников Юпитера — их движения — сразу дала модель всей Солнечной системы. Вот у вас есть центральное тело, вокруг него обращаются спутники. Это то, чего в старых системах мира не было.

Третье, что он сделал — он увидел фазы Венеры. Опять-таки, по преданию, как говорят, мать Кеплера обладала настолько острым зрением, что фазы Венеры видела невооружённым глазом. Действительно, есть некоторое количество людей — их немного — у которых зрение очень острое. Угло-

вой размер Венеры чуть меньше, чем одна угловая минута, это как раз ниже предела среднего углового разрешения нормального человеческого глаза. Все вы, наверное, видели Венеру в качестве светящейся точки — никто же из вас серпика-то не видел. Но вот говорят, что отдельные люди могут наблюдать. Галилей увидел не просто серпик у Венеры. А он увидел изменение фаз Венеры — то есть сначала тонкий серпик, когда Венера близко к Солнцу. Потом она удаляется, угловой размер уменьшается, а серп увеличивается. И тем самым — из наблюдения фаз Венеры — чётко понятно, что Венера вращается вокруг Солнца. Сначала она находится между Землёй и Солнцем, имеет наибольший размер и узкий серпик. Потом она отодвигается в сторону — её размер уменьшается, размер серпика увеличивается. Заходит за Солнце и потом возвращается опять с другой стороны. Это прямое визуальное чёткое наблюдение обращения Венеры вокруг Солнца.

Тем самым Галилей провозгласил, что он даёт наблюдательное подтверждение системы Коперника. Собственно, это и вызвало ту реакцию неприятия не только в научных кругах. Почему — понятно, ни у кого таких мощных инструментов на тот момент не было, и, соответственно, верифицировать эти результаты было очень сложно. Нужно было ждать некоторое время, пока образованные люди обзавелись такими инструментами и стали видеть то же самое, о чём говорил Галилей.

Кстати, примерно в то же самое время (в 1603 году) в Италии образовалась Академия Линчеев. Линчеи — это 'рысьеглазые' в дословном переводе. Это было сообщество людей, занимавшихся наблюдениями небесных объектов и обсуждениями своих результатов, сравнением увиденных деталей. А назвали они себя рысьеглазыми именно потому, что рысь считается очень зорким хищником, обладающим большой остротой зрения.

И ещё один объект, который Галилей наблюдал с помощью подзорной трубы и увидел — это разрешение Млечного Пути на отдельные звёзды. Млечный Путь — как вы знаете — это светлая полоса, которая идёт по небу. Абсолютно все люди её видели. Абсолютно все люди до тех пор воспринимали её как некое свечение — ну мало ли что на небе светится... И радуги бывают, и гало, и зарницы, и заря восхода и заката... Всё что угодно может светиться... Облака подсвечиваются... Но это всё непрерывное свечение. Применение подзорной трубы Галилеем показало, что Млечный Путь — это на самом деле скопление звёзд. Это не полоса, непрерывно размазанная, а большое количество маленьких звёздочек. Теперь мы знаем, что это — плоскость нашей Галактики. Действительно та плоскость, относительно которой звёзды нашей Галактики концентрируются и проецируются на наше небо в виде такой полосы.

И последний момент, который удалось наблюдать — это пятна на Солнце. С этим связано ещё два аспекта. Во-первых, пятна на Солнце известны были давно и до Галилея. Напрямую их увидеть нельзя не потому, что Солнце маленькое. Солнце достаточного размера. Оно очень яркое, оно ослепительно яркое. И поэтому на Солнце нельзя смотреть прямо никогда — это напоминание уже в рамках техники безопасности — глаза сожжёте.

Но бывали эпохи, когда либо в силу каких-то причин (например, в ходе

вулканических выбросов или это было связано с большими пожарами) случалось замутнение атмосферы достаточное, чтобы убрать яркость Солнца до приемлемой величины, чтобы диск Солнца был виден (особенно, если близко к горизонту) как красный круг. Тогда с достаточно древних времён, по крайней мере с эпохи Средневековья, действительно, во многих летописях (и в западных, и в наших — российских) отмечено, что на Солнце действительно есть странные образования в виде чёрных пятен. Но опять-таки, по религиозным соображениям особенно обсуждать эту тему не приходилось. Потому что как это? — на Солнце пятна — это неприлично!

Галилей действительно пытался наблюдать солнечные пятна. Для него это было принципиальным вопросом из соображений миропонимания. И говорят, что по наблюдению этих пятен он даже сделал первую оценку периода обращения Солнца (пятна же перемещаются вместе с Солнцем, вращаются по диску). Но для того, чтобы наблюдать солнечные пятна, нужно применить подзорную трубу для того, чтобы поднять разрешение. Но нужно как-то ослаблять световой поток. Вопрос — как затемнять тот солнечный поток, который шёл через подзорную трубу. По видимому, Галилей не сошёл в этом вопросе достаточно правила техники безопасности... Напрямую Солнце наблюдать через подзорную трубу нельзя никогда — вы глаза испортите. Вот у него произошла примерно такая же вещь. В итоге многолетних наблюдений, которые он вёл, у него произошло поражение сетчатки глаза и к концу жизни, как вы знаете, Галилей ослеп полностью.

Понятно, что нужно было сделать более простую вещь. Нужно было сделать «традиционный» телескоп. Применить линзу, но проецировать изображение Солнца на экран. Тогда глаза ничем не рискуют. Изображение солнца строится на экране и вы все эти пятна прекрасно видите. Современные учебные школьные телескопы построены именно по такому принципу.

Несколько слов о других юбилеях, которые в 2009 году отмечались.

Во-первых, те же 400 лет прошли со времени публикации книги Кеплера «Новая астрономия». А в этой книге Кеплер изложил три основных закона планетных движений, которые он тогда открыл. То есть теория Коперника была подтверждена не только наблюдениями Галилея в телескоп, но и законами Кеплера, которые описывают обращение планет вокруг Солнца.

В 2009 году исполнилось 170 лет со дня основания Пулковской обсерватории. Тоже довольно знаменательный юбилей. По крайней мере в масштабах нашей страны точно. В 1839 году Пулковская обсерватория была открыта. И это до сих пор крупнейшая и главная обсерватория нашей страны.

80 лет тому назад был построен и открыт Московский Планетарий. В 1929 году.

Ну и наиболее крупный юбилей состоит в том, что 50 лет тому назад в Советском Союзе была начата реализация лунной программы. Соответственно, были посланы аппараты «Луна-1» (который пролетел вблизи Луны — это был первый уход космического аппарата за пределы окрестностей Земли). «Луна-2» не только долетела до Луны, но и ударились

в неё (тогда это называлось доставкой вымпела). По крайней мере, что называется, факт попадания в другое небесное тело состоялся. И «Луна-3» в 1959 году облетела вокруг Луны и сфотографировала её обратную сторону. Это — тоже принципиальный результат, который совершили в Советском Союзе полвека назад. Потому что одним из философских вопросов для людей всех времён и народов был такой: можно ли вообще в принципе посмотреть как-нибудь на обратную сторону Луны? Коль скоро Луна всегда к нам повёрнута всегда только одной стороной. Оказалось, что можно. Только туда нужно было запустить ракету с фотоаппаратом, что и было сделано.

Ну и самый известный юбилей прошедшего 2009 года — это 40 лет высадки человека на Луну. Это было сделано американцами в 1969 году. Как вы знаете, общая программа «Аполлон» содержала около 10 полётов и посадок. Она была успешно сделана. Люди на Луне побывали, ходили, покатались, поковырялись. Привезли на Землю десятки килограмм лунного грунта, с которым с большой радостью здесь — в лабораторных уже условиях — знакомились. Думали — из чего же Луна была сделана, как Луна образовалась. . . В общем — это всё конечно в блок 40-летнего юбилея выхода человека на другое небесное тело.

2. Почему Луна — спутник маленькой Земли, а не огромного Солнца? Почему одни небесные тела — чьи-то спутники, а другие — «в свободном полёте»? Могут ли спутники «переходить» от одного хозяина к другому? И вообще, если встречаются два тела, то кто вокруг кого «должен» обращаться?

Наблюдая Луну со своей Земли, мы привыкли считать и называть её спутником Земли.

Напомним, что масса Луны составляет примерно 0,0123 массы Земли². Поэтому, анализируя движения Земли в Солнечной системе, можно пренебречь влиянием Луны и при этом получить достаточно точные результаты. А влияние Луны, соответственно, рассматривать как небольшую добавку.

Но если посмотреть на всю Солнечную систему в целом с большого расстояния, то утверждение «Луна — спутник Земли» станет совсем неочевидным. Траектория³ движения Луны вокруг Солнца почти ничем не отличается от траекторий (орбит) обычных планет. На ней нет никаких «петель». (Хотя вполне естественным было бы считать, что Земля движется по орбите вокруг Солнца, а Луна «накручивает петли» вокруг Земли. Но это — заблуждение.) На «вокругсолнечной» траектории Луны нет даже «волнистости» (нет точек перегиба, как сказали бы математики), связанной с оборотами Луны вокруг Земли.

Вопрос о том, считать ли Луну спутником Земли или самостоятельно летающим вокруг Солнца объектом — это всего лишь вопрос названия.

²Обратите внимание: это число удобно для запоминания.

³Мы употребили слово «траектория» вместо «орбита» с целью избежать путаницы из-за привычки считать, что орбита Луны проходит вокруг Земли.

Более подробно ознакомится с различными доводами на тему «Луна — спутник или планета?» можно, например, в заметке с таким названием, опубликованной по адресу <http://astronet.ru/db/msg/1171221> на астрономическом портале «Астронет».

В принципе, нам ничто не мешает считать Луну и спутником Земли, и спутником Солнца. Как это не покажется странным, траектория Луны в системе отсчёта Земли действительно «похожа» на орбиту спутника Земли, а в системе отсчёта Солнца — на орбиту спутника Солнца.

Ещё одна точка зрения — считать систему «Земля+Луна» двойной планетой Солнечной системы.

Но всё это — исключительно вопросы названий и обозначений, сложившихся по историческим и практическим причинам. Планеты и другие тела Солнечной системы движутся совершенно независимо от того, как мы их называем.

Вопрос о том, будет ли одно тело спутником другого, «решается» в зависимости от относительной скорости тел. Если у предполагаемого спутника скорость большая — ему хватит кинетической энергии для того, чтобы преодолеть гравитационное притяжение предполагаемой планеты-хозяйки и больше никогда к ней не возвращаться. Если скорость окажется недостаточной — тело станет спутником планеты и будет вращаться в окрестности этой планеты по периодической траектории. (Конечно, если траектория спутника не пересекает поверхность планеты: иначе спутник в планету врежется и прекратит своё существование.)

Пограничная скорость (меньше — станет спутником, больше — улетит навсегда) называется второй космической и вычисляется по формуле

$$v_2 = \sqrt{2G \frac{M}{R}},$$

где $G \approx 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$ — гравитационная постоянная, M — масса планеты, R — радиус планеты (если вторая космическая скорость вычисляется для точки на поверхности планеты) или расстояние от предполагаемого спутника до центра планеты. В данном случае важна только величина скорости предполагаемого спутника по сравнению со скоростью v_2 , от направления скорости предполагаемого спутника результат не зависит (если только траектория спутника не пересекается с планетой).

Вторая космическая скорость Земли в окрестностях поверхности Земли составляет 11,2 кмс. Все наши земные спутники пролетают мимо нас с меньшими скоростями. Всё, что пролетает мимо нашей Земли быстрее, мы можем наблюдать только один раз — эти тела находятся «в свободном полёте» относительно Земли.

Для того, чтобы «убежать» от Солнца и не стать его спутником (то есть улететь за пределы Солнечной системы), достаточно иметь скорость 16,2 кмс относительно Земли и удачное направление этой скорости («складывающееся» со скоростью орбитального движения Земли вокруг Солнца).

Спутники могут переходить от одного «хозяина» к другому. Искусственные спутники Земли не раз перелетали с околоземной орбиты на орбиты вокруг Луны, Марса, Венеры, Юпитера, Сатурна, а также, в ряде случаев, после этого возвращались обратно на околоземную орбиту. Все эти манёвры, конечно, осуществлялись с использованием двигателей космических аппаратов (естественно, для экономии топлива и ресурса двигателей в максимально возможной степени используются гравитационные поля Земли, Луны и планет — выполняются так называемые гравитационные манёвры).

Понятно, что в принципе естественные космические тела от искусственных принципиально ничем не отличаются и, теоретически, могут совершать такие же «манёвры». Для этого необходим природный механизм, эффект от которого будет аналогичен эффекту от работы двигателей. Таким механизмом может стать, например, взаимодействие с другими космическими телами (как гравитационное притяжение, так и прямое столкновение).

По воду многих спутников планет Солнечной системы есть гипотезы о том, что эти спутники изначально являются бывшими астероидами и были «захвачены» планетами. Однако прямых наблюдений такого поведения для сколько-нибудь крупных объектов Солнечной системы не имеется. (Совсем мелкие объекты, постоянно сталкиваясь между собой, образуют разлетающиеся осколки, среди которых могут находиться и такие, которые по своим скоростям формально могут называться спутниками).

В то же время в шаровых звёздных скоплениях звёзды движутся по очень сложным траекториям, постоянно взаимодействуя между собой. Такие взаимодействия формально можно считать переходами с орбиты на орбиту, о которых говорится в вопросе.

Два космических тела, впервые встретившись друг с другом, скорее всего вообще не образуют систему типа «планета—спутник», а просто пролетят мимо друг друга и разлетятся вновь, провзаимодействовав и изменив свои скорости и траектории. Действительно, до момента встречи они находились на большом (бесконечном) расстоянии друг от друга и обладали соответствующей взаимной потенциальной энергией. В момент сближения эта энергия частично преобразуется в кинетическую, обеспечив скорость, достаточную для того, чтобы космические тела смогли разлететься вновь (полная энергия сохраняется).

Для образования системы «планета—спутник» в этой ситуации необходимо взаимодействие с другими телами, которое могло бы уменьшить взаимную скорость.

В системе двух космических тел «планета—спутник» планетой обычно называют более тяжёлое, а спутником — имеющее меньшую массу. В любом случае спутник будет вращаться не вокруг центра планеты, а вокруг общего с планетой центра масс. Вокруг этого же центра масс будет вращаться и сама планета. Например, центр масс системы Земля—Луна находится на расстоянии 4750 км от центра Земли. Напомним, что радиус Земли составляет около 6370 км. То есть центр околоземной лунной орбиты лежит

внутри Земли (хотя и ближе к поверхности, чем к центру Земли), поэтому можно сказать, что «Луна вращается вокруг Земли». Но, как мы уже выяснили в начале разбора этого задания, утверждение «Луна — спутник Земли» нуждается в существенных пояснениях и комментариях. Это же относится и ко многим другим системам «планета—спутник».

3. *Что изучает наука гляциология? Почему именно гляциологические исследования во всем мире стали так актуальны в последнее время? (Кстати, немецкое слово «Glatze» означает 'лысина').*

Гляциология — наука о природных льдах. Вообще о природных льдах.

Первоначально имелись ввиду альпийские ледяные вершины, покрытые льдом и снегом. И вообще ледники горных вершин. В процессе естественного развития этого научного направления в область исследований затем также были включены льды Арктики и Антарктиды, областей вечной мерзлоты⁴, сезонные ледяные и снежные покровы средних широт Земли, образующиеся в холодное время года.

Ледники содержат существенное количество воды и других веществ, высвобождение которых (или, наоборот, фиксация в состоянии оледенения) может существенно повлиять на земной климат в целом (а также на природные условия в месте расположения самого ледника). В свою очередь процесс намерзания ледника зависит от внешних условий (а состав атмосферы непосредственно фиксируется в намерзающих слоях ледника). В связи с различием процессов образования ледников зимой и летом во льдах образуются годичные слои, что делает возможной датировку каждого конкретного образца ледника с точностью до года и сезона. Исследование годичных ледниковых слоёв позволяет получить огромный объём информации о земном климате за прошлые годы за период десятки тысяч лет, обнаружить вмёрзшие в ледник точно датированные объекты и примеси. Всё это представляет огромный научный интерес.

В последние годы, в связи со значительными успехами в изучении поверхностей других планет и небесных тел Солнечной системы, в сферу интересов гляциологии также вошли обнаруженные там льды — как, собственно, водяные (H₂O), так и «льды», состоящие из других летучих веществ и не встречающиеся на Земле. Эти инопланетные льды во многом сходны с земными по своим свойствам и методам изучения.

Известен военный поход полководца Ганнибала через Альпы в 218 году до нашей эры, во время Второй Пунической войны. Этот горный переход по дошедшим до нас сведениям был осуществлён с использованием слонов, оказавшихся вполне подходящими выючными животными в высокогорной местности. Наука гляциология уже тогда приобрела практическое значение для людей, по каким-либо причинам путешествовавших в горах...

⁴Изучение грунта зон вечной мерзлоты выделяется в отдельное научное направление — геокриологию (мерзлотоведение)

А причём здесь немецкий косметологический термин Glatze (лысина)? Понятно, что гляциологические исследования к косметологии отношения не имеют. Гляциологические исследования — это исследования природных льдов. (Кстати сказать, не только на нашей планете, но и на других тоже. Там они тоже есть.) Дело вот в чём. Гляциологическая наука началась, естественно, в Альпах. Где же ещё ей начинаться...⁵

Потом, кстати, немецкое слово Glatze трансформировалось в английское glather (глетчер) — ледник (горный ледник).

Альпы — очень высокая горная система в центре Европы. На вершинах и склонах гор — ледники. Они все обледенелые. И ледники с вершин спускаются в долины.

Вид блестящего ледника, спускающегося с горы в долину через заросший вокруг густой лес — блестящая поверхность, опушённая мохнатым лесом вокруг.

Если посмотреть портреты (или, скажем, карикатуры) на священников периода Средней Европы (в те времена, напомним, было принято выбривать тонзуру⁶) — точно вот именно оно, Glatze. Ровное и гладкое, блестящее посередине и пушистое по бокам.

Два слова о том, откуда берутся природные льды и где они бывают. Помимо высокогорных ледников, начиная с альпийских и кончая всеми остальными, где у нас ещё есть льды? У нас есть ещё арктические морские льды — плавающие, достаточно толстые для того, чтобы приходилось пробиваться через них с помощью ледоколов. У нас есть огромные оледенения материков. В Антарктиде толщина льда достигает 4,5 км. Но это потому, что это — большой материк, «приехал» примерно 200 миллионов лет назад на Южный полюс, занял эту позицию и, естественно, нарастил вот такой четырёхкилометровый панцирь льда над собой.

В Северном полушарии аналогичное материковое оледенение носит Гренландия. Хотя Гренландия считается островом. Но по размерам это объект уже субматерикового масштаб.

Кроме этого, у нас есть вечная мерзлота (которая охватывает значительную территорию России).

Что у нас есть ещё? По нашей планете пока всё.

Как ледники образуются? Откуда они берутся? Если вы живёте в нормальном тёплом климате, на уровне моря, скажем где-нибудь в Сочи. Купаетесь в тёплом хорошем море...

Испаряющаяся с поверхности моря вода в виде пара путешествует с воздушными массами. И начинает, допустим, двигаться на север. А там Кавказские горы. При поднятии воздуха, насыщенного водяным паром, вверх, воздух, переходя в зону более низкого давления, расширяется, за счёт этого охлаждается. А при охлаждении происходит фазовый переход воды из пара

в другую фракцию. Как правило, это дождевые капли. А при более высоком поднятии эти капли замерзают — получаются льдинки.

Соответственно, на всех торчащих выше определённого уровня возвышенностях — а все горы таковыми возвышенностями являются — набегающие воздушные массы неизбежно приносят этот прошедший фазовый переход водяной пар, и он туда отлагается в виде твёрдых осадков, то есть снега. Снег со временем прессуется — получается лёд.

И этот лёд накапливается. Толщина горных ледников может достигать сотен метров. А в Антарктиде, как сказано выше, больше 4 километров. Антарктида, кстати — тоже горный ледник, просто очень большой. Антарктида — это большой материк, типа Австралии. Там есть свои горные системы, свои долины. И большая часть Антарктиды находится ниже уровня моря только потому, что вышележащий ледник её туда продавил своей тяжестью. А так вот там действительно до 4,5 км льда уже накопилось за то время, пока сверху идут не очень интенсивные осадки.

И так все ледники образуются на вершине горы и потом под действием силы тяжести начинают своё движение вниз. Лёд — это не абсолютно твёрдое тело, а аморфная, вязкая система. Она может быть подобна либо стеклоподобному телу, либо такой очень вязкой жидкости. То есть лёд способен к определённому течению. И начинает сползать сверху вниз по долинам, формируя характерные долины сползания ледников.

Это всё очень красиво! Если вдруг происходит катастрофическое таяние ледника, то это становится не только красиво, но и опасно. По крайней мере, большинство катастрофических наводнений, селевых потоков и других неприятностей, которые происходят в горных районах, связаны именно с тем, что в горах либо происходит ливневое выпадение дождевых осадков, либо по тем или иным причинам (скажем, резкое потепление) начинается слишком интенсивное таяние горных ледников с соответствующими вытекающими отсюда последствиями.

Скорости движения ледников могут быть довольно значительными. Начиная от нескольких сантиметров и кончая метрами в неделю. В самом катастрофическом случае, когда ледник выходит на горный уступ, может образоваться так называемый ледопад, то есть начнётся просто откалывание кусков этого ледника. Все те, кто так или иначе соприкасается с горным альпинизмом, горным туризмом, с гляциологией как таковой, — прекрасно знают, что это очень красивое зрелище. Те, кто не соприкасается — найдите в интернете, и вам покажут очень красивые картинки на эту тему.

Последнее время было замечено, что многие ледники начали отступать довольно быстрыми темпами. То есть отмечается не только сезонный, но и вековой тренд в таянии ледников. Одним из знаковых событий было то, что ледники на горе Килиманджаро исчезли. Килиманджаро, как вы знаете, находится в экваториальной Африке. Это самая высокая вершина в Африке. Во всяком случае Килиманджаро — такая показательная точка: в центре Африки высокая гора с ледниками и вот там эти ледники несколько лет

⁵История слова «альпинизм» оказалась похожей. И сейчас оно также относится не только к Альпам, а вообще к любым горам на Земле.

⁶Тонзура — выбритое место на макушке. Знак принадлежности к духовенству в католицизме. Этот обычай известен с 6 века. Тонзура была отменена папой Павлом VI с 1 января 1973 г.

тому назад окончательно растаяли⁷.

Вопрос о климатических вариациях — вопрос непростой. Когда готовился этот Турнир, когда составлялись вопросы — это был сентябрь 2009 года, тогда вовсю разворачивался шум по поводу глобального потепления. Просто был пик этого ажиотажа. За время, которое прошло с момента проведения конкурса — всего-то 3 месяца — уже случился климат-гейт⁸, который всем вам хорошо известен. Вот это собрание желающих в Копенгагене прошло... Поэтому все прекрасно теперь понимают, что здесь слишком много политики... А в климатологии как в науке не слишком много ясности, скажем так.

То есть климат Земли является безусловно очень сложной, очень комбинированной системой, на которую влияют многие факторы, влияют причём с разными знаками, с разной интенсивностью и переменностью во времени. По этому говорить о том, что у нас в ближайшее время — глобальное потепление ли, глобальное похолодание — это вопрос спорный.

Хотя, если мы говорим о гляциологии, за последний многолетний тренд действительно имеет место отступление ледников. Собственно говоря, в этом главный смысл актуальности. Того, какую многолетнюю динамику имеют ледники.

Ещё один момент — о тех исследованиях, которые связаны с ледниками. Ледники — это многолетний слой накопления осадков (не просто многолетний — а, вообще говоря, многомиллионный). Последнее время больших успехов достигли исследования ледяных кернов в ледниках. Сначала это начали делать в Гренландии — это на масштабах примерно сотен тысяч лет. Потом в Антарктиде — уже сейчас анализируются многие сотни тысяч лет по возрасту.

Происходит это так. Выпиливается очень высокий керн льда из больших глубин — из тех слоёв, которые образовались, соответственно, очень давно. Вот примерно с такими характерными временами — сотни тысяч лет. И в толще льда оказываются пленёнными определённые пузырьки газа. Потому что, напомним, любой лёд всегда образуется за счёт прессования снега, который выпал в определённый снегопад. Между снежинками всегда есть пустоты с воздухом. Они потом прессуются и остаются в виде микроскопических пузырьков воздуха. Вот в этих пузырьках воздуха содержится информация о газовом составе атмосферы в ту эпоху, когда формировался данный слой ледника. А также в этих пузырьках находят и многочисленные биологические объекты, которые были тогда там — пыльцу тогдашних растений, семена, помёт водившихся на леднике животных, перья, шерсть, микроорганизмы и т. п.⁹

⁷Скорее всего исчезновение ледника вызвано не увеличением температуры, а снижением влажности воздуха и, как следствие, сокращением количества снежных осадков на леднике, которых перестало хватать для компенсации потерь на таяние.

⁸Скандал вокруг теории глобального потепления, связанный с утечкой и распространением в интернете в ноябре 2009 года информации из отделения климатологии университета Восточной Англии в Норидже.

⁹Бактерии вполне могут сохранить жизнеспособность всё это время. Иногда удаётся

Всё это — помимо того, что это безумно интересно, позволяет, самое главное, построить очень долгопериодические температурные тренды о том, каким был климат Земли десятки тысяч лет назад, сотни тысяч лет назад, ну — немножечко, с не очень большой точностью — миллионы лет назад.

Два слова о льдах на других планетах. Где на других планетах лёд точно есть?

Совершенно точно — уже и увидели, и сфотографировали, и поскребли, и потёрли, что называется — лёд есть на Марсе. Полярные шапки Марса давно известны, наблюдались, всегда было понятно, что это твёрдая углекислота («сухой лёд» CO_2). В последние годы с помощью спектральных исследований с борта космических аппаратов, которые Марс сначала облетели и потом на него сели в нужные места, стало понятно, что под сухим льдом углекислоты есть ещё и «настоящий» водяной лёд H_2O в довольно больших количествах.

Когда сделали фотографирование Марса целиком как планеты — оказалось, что лёд H_2O (водяной лёд) присутствует не только в полярных зонах, но и в обширных районах по северному и южному полушариям. И даже есть некоторые зоны в экваториальном поясе Марса, где лёд присутствует в качестве грунтового льда. То есть не на поверхности, а скрытым под определённым слоем грунта. Толщина этого грунта обсуждается в разных ситуациях. Где-то она может составлять сотни метров (в зависимости от интенсивности выпадения осадочных пород), где-то — десятки метров, а где-то — ещё тоньше. И вот в последнее время появились снимки с марсовых орбитальных аппаратов, на которых сфотографирован в динамике процесс выпадения метеоритов на поверхность Марса и выбивания этими падающими метеоритами кратеров во льду. То есть сначала есть ровная поверхность Марса — грунтовая пустыня, снимок одной эпохи. Через некоторое время зона фотографируется ещё раз — там образовался новый после падения метеорита кратер, видно, что он голубого цвета (по визуальным и спектральным наблюдениям), то есть ударом метеорита вскрывается, сбрасывается верхний грунтовый слой, открывается воронка льда. Потом проходит ещё некоторое время — третья фотография этого же района: тот лёд, который был обнажён, он испаряется довольно быстро; кратер остаётся, но он остаётся покрытым опять-таки грунтовой коркой, голубое ледяное образование исчезает.

Со льдом на Марсе (понятно, что это вода) связан существенный вопрос о том, каковы концентрации солевых растворов в этом льду. Соответственно, насколько близок состав этого солёного льда к тому, что встречается на Земле. По-видимому, достаточно близок. По тем или иным температурным условиям (опять-таки в первую очередь в экваториальных зонах) возможно образование жидких фракций этого сильно-солёного льда, то есть его подтаивание. И с этим связаны не только огромные динамические процессы типа оползней на Марсе, которые тоже наблюдаются и сфотографированы...

добиться и прорастания древних семян растений.

Но и самый главный вопрос: есть ли жизнь на Марсе актуальная, ныне здравствующая, и в каких формах она может быть найдена реально? Наиболее перспективной зоной по Марсу считается как раз зона подгрунтового льда. В ней есть некий аналог вечной мерзлоты — то, что есть на нашей планете Земля.

Есть, конечно, полностью обледеневшая планета... Но это не планета, а планетное тело — спутник Юпитера Ганимед, например. Он полностью покрыт ледяной коркой. Там разный химический состав этого льда. То есть кроме водяного льда там могут присутствовать, естественно, льды и твёрдой углекислоты, и других летучих веществ. Но во всяком случае те крупные планетные тела — в первую очередь, конечно, спутники планет-гигантов, которые пребывают на окраине Солнечной системы и существенно слабее освещаются Солнцем, чем Земля, — по видимому так или иначе несут на себе значительные объёмы льда, или вообще покрыты ледяным панцирем.

А дальше возникает вопрос о том, что под этим панцирем может скрываться и что мы там можем найти, когда туда доберёмся.

Два слова о последнем эксперименте по поводу Луны. Сначала, опять-таки, лунный орбитар сделал обзор Луны в целом и посмотрел, какие области перспективны с точки зрения обнаружения льда на Луне. Понятно, что на абсолютном большинстве поверхности Луны льда не может быть, потому что днём температура там примерно +200, а ночью —200 градусов Цельсия. Естественно, если бы лёд был поверхностным или приповерхностным — он давно бы испарился в газовую фазу и ушёл в космос. Поскольку на Луне нет атмосферы, испарение происходит сразу в космическое пространство.

Уже много лет назад были обоснованные предположения, что лёд (вернее — снежный иней) может концентрироваться в тёмных кратерах. На полюсах Луны — на северном и на южном — есть такие кратеры, в которые, благодаря полярному положению и определённой глубине, внутрь никогда не засвечивает Солнце. То есть это такие воронки, которые всегда закрыты от солнечного света, и там может оседать лёд и снежная пыль с падающих на Луну комет. И там, соответственно, накапливаться — типа нашего земного инея.

Действительно, орбитальными наблюдениями были найдены области, где на Луне выявлены аномально высокие содержания водорода, который по-видимому связан с водным льдом. И был проведён прямой эксперимент, когда в тёмный кратер направили ступень ракеты — для того, чтобы она там стукнулась и выбросила вещество наверх для анализа. И, соответственно, этот выброс проанализировали. Эксперимент был, но вот результаты его, по-видимому, спорные. Вода вышла. Следы молекул воды найдены. Но утверждать, что они присущи поверхностным слоям тёмного кратера, а не тому объекту, который упал на него, нельзя. Пока это точно не понятно. То есть этот вопрос ещё имеет право быть в дальнейшем исследованном.

4. В качестве одной из возможных первопричин крушения аэробуса над Атлантикой (А-330 «Эр Франс», 01.06.2009) рассматриваются так называемые «спрайты».

Что это за явление и почему спрайты могут быть опасны для полёта самолётов?

В широком смысле словом «спрайты» называли загадочные, малоизученные явления в атмосфере, сопровождающиеся свечением (английское слово sprite — фея, эльф, волшебство).

По мере изучения атмосферы название «спрайты» закрепилось за вполне определёнными грозовыми явлениями в верхних слоях атмосферы — «молниями наоборот». То есть молниями, направленными из грозовых облаков вверх, а не к поверхности земли.

Научный и практический интерес к этим явлениям возник в том числе и в связи с безопасностью полётов самолётов.

Обычные грозы, в том числе прямые попадания молний в корпус летящего самолёта, как правило, не приводят к трагическим последствиям. Хотя грозы и являются для самолётов дополнительными нежелательными факторами риска.

В связи с чем принята практика обхода грозовых фронтов сбоку или сверху. В последнем случае и существует опасность попадания в самолёт спрайта. Хотя в целом метеоусловия над грозовыми облаками более благоприятны, чем внутри этих облаков.

Спрайт является более мощным электрическим разрядом, чем обычная молния. Соответственно, его взаимодействие с самолётом может привести к более серьёзным последствиям.

Спрайт скорее всего не нанёс прямых повреждений конструкциям самолёта. Наиболее вероятной является версия потери управления самолётом — отказ электронных систем управления под действием мощного электрического разряда — с последующим развитием неуправляемой аварийной ситуации. Точную причину аварии назвать невозможно: в момент аварии с самолётом не было радиосвязи, а бортовые самописцы («чёрные ящики») после аварии остались на дне океана, изучить их не удалось.

Поставленный вопрос соединяет в себе две компоненты. С одной стороны — это компонента геофизическая, ну и вообще — физическая (скажем так, применимая не только к нашей планете, но и к другим планетам тоже). А другая проблема — скорее технологическая. Но, как это часто бывает в жизни, эти проблемы тесно переплетаются.

Геофизика. Спрайты — это молнии в верхней части грозовых облаков.

Что такое гроза — все мы знаем. Грозы бушуют на этой планете уже порядка 4 миллиардов лет.

Те грозы, которые мы хорошо знаем — это нижняя часть облаков. Это молнии из облака в землю. Собственно, чего мы обычно и боимся. Но мы никогда (до сих пор по крайней мере) не заглядывали на грозовые облака сверху. Оказывается, что сверху из них бьют гораздо более мощные молнии и гораздо более масштабные — вверх, в ионосферу.

Всё вместе — Земля, ионосфера, грозы между ними и так называемые токи хорошей погоды образуют замкнутый электрический контур, который

называется «глобальная электрическая цепь Земли».

Грозы, которые работают в тропосфере, являются динамо-машиной, то есть производителем энергии глобальной электрической цепи. Они разряжаются нижними молниями вниз на землю. А сверху идут аналогичные молнии вверх, в ионосферу.

Понимание того, как этот механизм работает, пришло недавно, а опасность верхних молний (собственно спрайт — это молния из грозового облака в ионосферу) стала осознаваться совсем недавно. Во-первых, потому, что их стали целенаправленно наблюдать. А во-вторых, потому, что по-видимому они могут быть ответственны вот за такие техногенные катастрофы, когда лётчики пытаются обойти грозовой фронт сверху.

Давайте рассмотрим, что происходит над нашими с вами головами — в атмосфере; и, в частности, во время грозы. Вот образовалось грозовое облако. Здесь происходит мощное движение и процессы конденсации — превращение пара в капельки воды. Маленькие капельки воды быстро растут и падают вниз. Процесс роста капелек воды — этой лавинной конденсации — приводит к их электрическому зарядиванию. Таким образом, грозовое облако — это облако, где идёт очень мощный процесс конденсации капелек. А потом гравитационное разделение — капли растут быстро, становятся крупными, тяжёлыми и быстро падают вниз — приводит не просто к образованию электрических зарядов в облаке, а к их пространственному разделению¹⁰.

На более крупных каплях, которые находятся в нижней части облака, накапливаются отрицательные заряды, а в верхней части облака — положительные. Возникает сильное (за счёт интенсивности образования капелек) электрическое поле. А в экваториальной зоне интенсивность грозовых явлений во много раз превосходит те грозы, которые мы можем наблюдать у нас, в Москве. Электрические напряжения здесь могут достигать миллионов и миллиардов вольт.

Естественно, электрический заряд нижней границы облака притягивает к себе соответствующие заряды с земли. И при необходимых условиях возникает электрический пробой в виде молнии. Это всё мы прекрасно наблюдаем на земле. Одновременно происходит около полутора тысяч гроз — по всему земному шару. И каждую секунду случается примерно 50 молний. Так что это — явление обычное.

Если на земле есть какие-нибудь выступы — типа колоколен, телебашен, одиночно стоящих деревьев, не очень умных людей, которые пошли в поле погулять во время грозы, горных вершин — то, естественно, в эту область происходит предпочтительный электрический разряд с нижней границы облака на землю.

Токи в молниях, когда за счёт пробоя атмосферы происходит электрический разряд, там достигают сотен тысяч ампер. При ударе такой молнии в поверхность земли могут возникать воронки размером в десятки сан-

¹⁰Электрические явления в грозовых облаках очень разнообразны и изучены далеко не до конца. С более подробным популярным изложением этого вопроса можно ознакомиться, например, по адресу <http://meteoweb.ru/phen035.php>

тиметров. Происходит резкий нагрев вещества, его практически взрывной выброс. Наблюдались случаи плавления металлических предметов, в которые била молния.

Что мы делаем во время дождя? Укрываемся зонтиком и бежим в укрытие, когда гремит гроза. И правильно делаем. . .

И поэтому человечество до сих пор обращало внимание на то, что это-то происходит на высотах порядка километра-двух. Это — нижние молнии. Но мы практически не наблюдали того, что происходит во время грозы выше. А выше происходят очень похожие явления, к сожалению. . .

Теперь мы возьмём больший масштаб. Наша атмосфера состоит из нескольких слоёв. Есть нейтральная атмосфера, в которой мы с вами живём — так называемая тропосфера. Здесь (характерная высота 10 км) часто возникают облака. Нижняя граница облаков может опускаться меньше километра. Верхняя граница облаков — особенно в тропической зоне, там, где восходящие потоки очень мощные — граница может подниматься до 17 км. Фактически облака выходят уже в стратосферную зону.

А вот выше 100 км находится зона ионосферы. Молекулы воздуха там являются ионизированными, атмосфера — проводящая.

То есть у нас есть два проводника. С одной стороны — это поверхность Земли. В которой очень много — везде, всегда — воды, чаще всего солёной. И, соответственно, Земля является достаточно хорошим проводником электричества. Вторым проводником электричества является ионосфера. Возникает конденсатор. И вот между этими «обкладками» накапливаются заряды. Генератором этих зарядов являются как раз грозовые облака. Вот здесь возникла гроза. Молнии «бьют» из облаков в поверхность земли. И точно также они бьют вверх, в проводящую ионосферу.

Так вот спрайты — это верхние молнии. Которые мы раньше просто не слишком часто наблюдали. Вернее даже наблюдали, но не отдавали себе отчёта в том, что мы собственно наблюдаем. Эти верхние молнии обычно люди наблюдают — думаю, что большинство из вас их наблюдало, но не отдавало себе в этом отчёт — в виде зарниц. Если вы находитесь от зоны грозы достаточно далеко, то вы саму грозу не видите — она у вас за горизонтом. А эти молнии, которые бьют вверх — вы видите. Не слыша звука, естественно — звук на таком расстоянии не доходит. Но вот эти вспышки вы можете видеть в качестве зарниц загоризонтных гроз.

Естественно, все эти явления наблюдались из космоса. Люди достаточно давно летают в космос. Но тогда не обращали на это достаточно внимания: ну понятно, что внизу грозовое облако, всё время что-то сверкает, светится. . . Когда сверху смотришь на это явление. . . Тоже понятно — происходят вспышки в грозовом облаке — что же тут необыкновенного? Не придавали этому значения. . .

Кстати, говорилось об этих верхних молниях, которые условно называются спрайтами, достаточно давно. Больше полувека назад было впервые об этом сказано. Но грамотно поставленные наблюдения, которые бы позволили эти молнии реально увидеть, а дальше начать заниматься исследова-

ниями их природы, динамики, мощности, последствий в атмосфере, к которым они приводят, начались только с 1989 года. Когда были осуществлены прямые съёмки этих спрайтов молний, бьющих из облаков вверх.

Эти молнии уходят на верх до высот около 80 км. В интернете вы можете найти видеоролики — как это выглядит. Выглядит это действительно фантастически красиво: это столб, очень похожий на фонтан — столб огня, который вышлёскивается из облака вверх. Стартует он с высоты 10–15 км, а уходит на высоту 80–100 км, в зависимости от мощности и конкретных условий. Длительность очень маленькая, это всё миллисекунды происходит. Но тем не менее зрелище, конечно, феерическое. То, что у нас в виде фейерверков бывает — это жалкое подобие.

Мощность, которая сюда собирается, может оказаться существенно более высокой по сравнению с «обычной» молнией. На поверхности земли всегда есть огромное количество неоднородностей. Причём как в облаке, которое сильно турбулентное, так и на земле — в качестве объектов, куда молния может в предпочтительном порядке ударять. И поэтому характерные размеры неоднородностей — где молния будет, где не будет — это сотни метров, ну километры. Соответственно, малые объёмы накопления зарядов и малые мощности молний.

Над грозовыми облаками всё существенно более однородно. Здесь характерные масштабы неоднородностей — это уже существенно больше, чем километры. Десятки километров. И поэтому, если происходит пробой вот этой «обкладки конденсатора» — сюда может собраться мощность, намного бóльшая, чем те мощности, которые мы имеем в нижних молниях. Вот в этом — проблема. И проблема начала обостряться тогда, когда человечество начало активно летать самолётами.

Молнии существуют и имеют место быть на всех планетах, где есть плотные атмосферы, и где есть как минимум двухфазная структура атмосферы, связанная с фазовым переходом одной из компонент, скажем, из газообразного в жидкое состояние. Для Земли это вода, которая испаряется в водяной пар или конденсируется в капельки — соответственно, образуя грозы и все эти электрические явления. На планетах типа Сатурна или Юпитера — там грозы гораздо мощнее, в тысячи раз мощнее, чем на Земле. Там, тоже самое, идёт конденсация — по-видимому, либо метана, либо аммиака, либо других компонент атмосфер этих планет. И, соответственно, это привязано к тем облачным слоям атмосфер, где эти фазовые переходы встречаются. (Мощная атмосфера предполагает неоднородность температур, разделение по слоям, соответственно, мощное движение этих воздушных масс.)

Скажем, на Сатурне недавно закончилась мощная гроза, которая началась в январе 2009 года и длилась больше 9 месяцев.

Так что на других планетах тоже надо летать очень аккуратно. Когда мы начнём это делать...

Авиация. Чем больше человечество развивается и чем больше оно придумывает разных технологических, особенно крупных, сложных систем, тем чаще, во-первых, оно в процессе функционирования этих систем сталки-

вается с новыми явлениями. Причём не то чтобы принципиально новыми — а просто с явлениями, которые раньше недостаточным образом осмысливались и правильно понимались. А во-вторых, со значительно возрастающим числом сбоев этих систем. Ну это общий принцип — чем система сложнее, тем она чаще ломается. Вот топор состоит из двух элементов — топор и ручка — и то ломается. Часто, если им неправильно пользоваться.

А самолёт ломается редко только потому, что за ним тщательно следят.

Напомним, что произошло.

Самолёт шёл из Бразилии в Париж 1 июня 2009 года. Длина маршрута там порядка 6–7 тысяч километров. В зоне экватора — это была середина ночи — самолёт исчез. Перед этим с борта пришло несколько странных сообщений автоматики. (Эта зона не просматривалась локаторами и не было прямой связи с экипажем. То есть была некая мёртвая зона длиной несколько тысяч километров и протяжённостью пару часов, когда самолёт не наблюдался ни с Южной Америки, ни с европейской зоны.) С поверхности океана подобрали некоторое количество обломков и тел погибших.

Вот летит самолёт, и перед ним — грозовое облако: что делать?

Вообще, удары молний в самолёты бывают в нижних частях атмосферы довольно часто — десятки случаев в год. Самолёт в зоне взлёта, посадки, маневрирования на малых высотах довольно часто вынужден попадать в такие условия. Обычно это обходится без существенных вредных последствий. Соответствующий запас прочности уже заложен в конструкцию самолёта.

Самолёт — это металлическая конструкция, в воздухе она как бы изолирована. Если на металлический предмет попадает дополнительный заряд — он распределяется по поверхности. И с концов, со всех выпуклостей стекает. То есть с крыльев он просто утечёт, без существенных вредных последствий. В случае, если грозовой заряд не слишком мощный.

Но грозы, как правило, обходят (облетают) стороной — в тех случаях, когда это возможно. Гроза — это дополнительная опасность для самолёта, которая никому не нужна. Но обойти грозу стороной — это потеря времени, потеря топлива и т. д. И, самое главное, это не всегда возможно, потому что грозовые фронты, особенно в экваториальной зоне, могут быть сплошными на протяжении сотен, а то и тысяч километров. В экваториальной зоне грозовые процессы существенно более мощные и обширные, чем то, что мы наблюдаем в средней полосе, на широте Москвы.

Тогда возникает вопрос о переходе самолёта над грозовым облаком. Самолёт поднимается на высоту 12–13 км и пытается пройти сверху. Вот тут возникает такая опасность — попасть под удар спрайта (молнии, направленной из облака вверх). И, по-видимому, сейчас происходит реальное осознание — насколько эта опасность существенна.

Естественно, когда вы находитесь в 100 км от грозы, вы на это можете не обратить внимания, даже если вам это спать не даёт. А вот если вы находитесь на самолёте, который туда летит, вам на это дело придётся обратить внимание.

Я могу поделиться впечатлениями. Мне одно время «посчастливилось» тоже быть на трансатлантическом рейсе. Он шёл с Кубы сюда, в Дублин. И как раз возникла аналогичная ситуация — нужно было проходить грозовой фронт. Сперва всех разбудили, сказали: «Пожалуйста, пристегнитесь!» Ну, собственно, пока всё. . . Это был ещё ИЛ-62, у него верхний потолок примерно 12 км. Он шёл либо по верхней зоне облака, либо внутри него по верхней части. Впечатление, глядя в окно, было такое, что это вот где-то на Курской дуге находишься, и за окном всё время стреляют. Не очень весёлое впечатление. . . И плюс, конечно, мощная турбуленция. Потому что восходящие потоки имеют существенные вертикальные скорости, самолёт довольно хорошо трясёт. Так, как будто вы на телеге по булыжной мостовой очень быстро едете.

Напомню ещё один недавний случай. Просто яркий, но характерный. Самолёт заходил на посадку в районе Нью-Йорка. Также была грозовая ситуация над аэродромом посадки, он садился. Естественно, в ручном режиме. И степень турбуленции, которую самолёт был вынужден проходить в нижней части облака — он уже на посадку шёл, манёвры перед заходом на посадку совершал — была такова, вертикальные ускорения были такими, что те пассажиры, которые не были пристёгнуты, стукались головами о потолок. Это иллюстрирует те скорости вертикальных движений воздуха, которые самолёт может испытывать.

Ещё раз повторю: ни один нормальный человек — а лётчики все люди нормальные, они медкомиссию проходят — намеренно в такую ситуацию не лезет. Но бывают безвыходные ситуации.

Что же может происходить с самолётом, вынужденным лететь сверху над грозовым облаком сверху? Какие физические процессы происходят с ним в атмосфере?

Как правило, увеличение электропроводности воздуха происходит за счёт космических лучей. У нас атмосфера всегда пронизывается высокоскоростными заряженными частицами — «космическими лучами». Они проходят, естественно, и до поверхности Земли. Но чем дальше (ближе к поверхности земли), тем они больше поглощаются. Здесь их у нас принципиально меньше, чем сверху. Во всяком случае треки этих частиц нам образуют потенциально слабые ионизированные каналы в воздухе, по которым в принципе может проходить молния. И считается, что это — один из механизмов создания каналов для молний, для стекания зарядов.

В более высоких областях этих треков больше, они там гуще. И поэтому, при равной однородности, вероятность того, что в какой-то случайный трек соберётся больше энергии с большего пространства — выше.

Также ещё раз обратим внимание вот на что. В нижней части облака у вас большое количество неоднородностей. Как в самом облаке — поскольку у нас здесь мелкомасштабная турбулентность облака, так и на самой земле. Есть объекты, которые являются предпочтительными для удара молнии. И характерные масштабы этих неоднородностей, скажем, в городской среде, составляют сотни метров, ну километр. Когда вы рассматриваете верх-

нюю часть облака, из которой верхние молнии уходят вверх — то здесь всё гораздо более однородно. Неоднородностей, которые бы спровоцировали проход молнии через определённую зону, существенно меньше. А поэтому сбор заряда с верхней границы облака может произойти с гораздо большей площади. И в этом случае проход самолёта мог быть тем самым триггерным (провоцирующим) механизмом, который спровоцировал разряд с верхней части облака через самолёт в ионосферу.

Самолёт при движении в атмосфере образует так «называемый инверсионный» след. Что такое инверсионный след, почему он инверсионный? Во-первых, все вы его прекрасно видели. Самолёт летит вон там высоко. Там, где температура заборного воздуха уже существенно за минус. За самолётом тянется характерный белый след, который через некоторое время плавно рассасывается. Что это такое? У вас работает двигатель, сгорает топливо в двигателе. После этого горячая масса выбрасывается в холодный окружающий воздух. Естественно, быстро охлаждается. И та вода, которая образовалась от сгорания топлива (топливо сгорает с образованием в основном воды и углекислого газа), быстро конденсируется, образуя сначала капельки, а потом практически сразу — льдинки. То есть инверсионный след от самолёта, который вы видите — это набор льдинок, которые трассируют полёт самолёта. А любая дополнительная неоднородность воздуха является дополнительным центром ионизации, конденсации и всего остального. Поэтому проход самолёта над верхней частью облака может спровоцировать то, что заряд с верхней части облака соберётся и по этому инверсионному следу войдёт в двигатель самолёта.

И всё бы ничего, если бы не. . . Вот что «если бы не»? Возможны две вещи. Если электрический заряд предельно высокой мощности входит по инверсионному слою в двигатель, то в двигателе, возможно возгорание (точнее, изменение режима работы и выход из строя — топливо там и так горит и, естественно, и должно сгорать и при нормальной работе) со всеми возникающими последствиями. (Вспомним случай двухлетней давности. Самолёт ТУ-154 шёл из Анапы в Пулково и в районе Донецка переходил грозу сверху. Практически одновременно у него отключились двигатели. По-видимому, один из вариантов того, что с ним случился как раз этот сценарий).

Далее возникает следующий вопрос — почему это более опасно (помимо суммарной мощности разряда)? Самолёты на трансокеанском перелёте обычно идут на автоматике (так это было и в данном случае). Современные самолёты, особенно системы управления таких моделей как А-330 — тех новых моделей, которые сейчас эксплуатируются и вводятся в эксплуатацию — являются автоматическими и управляются электроникой (бортовым компьютером). Когда самолёт получает мощный электрический заряд в себя, самым уязвимым местом его оказывается не обшивка, и даже не двигатели, которые в принципе могут воспламениться, а системы управления. Потому что при прохождении мощного электрического заряда возникают сильные электромагнитные помехи. И, по-видимому, расследование этого случая придёт к выводу о том, что произошло в результате этого

внешнего воздействия — мощный удар по системам управления самолётом. Электронные схемы вышли из нормального режима, перешли в ненормальный режим. Дальше они привели к резким движениям, скажем, систем управления аэродинамики самолёта. А самолёт шёл на предельно высокой скорости, на предельной высоте.

Самая главная опасность для сложной системы, каковой является самолёт, является опасность для электронных систем управления самолётом. Потому что корпусу как бы ничего не будет. Двигателю — если это не прямое попадание в двигатель заряда — тоже ничего не будет. А вот электронные системы управления движением самолёта — всеми его закрылками, рулями и всем остальным прочим — при восприятии на корпус большого электрического заряда и тока импульсного характера испытывают очень мощный электромагнитный удар по своим электронным «мозгам». И вот тут как раз и возможно, что электроника самолёта либо вышла из строя, либо перешла в нештатный режим работы. Косвенно об этом свидетельствуют те автоматические сигналы, которые с этого борта ушли, о том, что у него неполадки в электрических и электронных сетях и пр.

Если системы управления самолётом на такой скорости вышли из строя одномоментно, и, скажем, самолёт начал дёргаться, то на предельно большой скорости, на которой он шёл, эти дёргания просто могли привести к его кувырканию и потом рассыпанию на части в воздухе. Что, по-видимому, по косвенным признакам и произошло. (Ещё есть предположение о том, что у самолёта «замёрзли» и вышли из строя датчики скорости, в результате была ошибочно набрана скорость больше запланированной, лётчики не отследили переускорение самолёта. Но это само по себе не привело бы к тяжким последствиям.)

Обычная практика расследования такого типа явлений состоит в том, что ищут так называемые «чёрные ящики», на которых пишутся все принципиально важные параметры всех систем, в данном случае самолёта, а также все переговоры экипажа. Если происходит катастрофа — ящик (он называется «чёрный ящик», но на самом деле это оранжевый шар) находится, достаётся и все эти записи расшифровываются. Что даёт практически 100%-ную вероятность того, что не только первопричина события, но и весь ход событий, имеющих критическое значение, восстанавливается и анализируется для последующих выводов. Потому что расшифровка «чёрных ящиков» (а это система, защищённая от внешних повреждений — механических и термических, то есть самолёт может сгореть, а они останутся) позволяет практически однозначно определить — что же собственно произошло. Как развивались конкретные события, и, соответственно, что нужно делать дальше.

Проблема состоит в том, что самолёт упал в средней части Атлантического океана. Там мало того, что глубина 5 км. Вроде бы сигналы этих «чёрных ящиков» (это на самом деле такие капсулы круглые) ловили, но потом они «потухли». Проблема в том, что достать их оттуда оказалось принципиально невозможным. Потому что кроме глубины 5 км это ещё и

зона срединного океанического хребта. А это примерно то же самое, что такой вот чемоданчик искать на пятикилометровой глубине в абсолютной темноте без подачи сигналов не то чтобы в горной местности, а в местности, которая изобилует пропастями. Перепады высот в этой зоне составляют несколько километров. (На 5 км нырнуть мы уже умеем. В принципе, с таких глубин с «Титаника» утонувшего много чего подняли. Но «Титаник» лежит на плоской зоне, так называемой океанической котловине.)

После этой катастрофы сейчас принято принципиальное технологическое решение о том, что все жизненно важные сигналы таких сложных систем, как самолёты (думаю, то же самое относится к скоростным поездам и другим принципиально важным объектам) будут в реальном времени, через спутники (сейчас технологически всё это возможно) сразу передаваться в центры контроля. Таким образом, вопрос поиска чёрных ящиков уже не будет возникать, а любая внештатная ситуация будет индицироваться в реальном времени.

5. *Астрономию 21 века называют всеволновой. Какие волны в распоряжении астрономов уже есть? Каких пока ещё нет? Каких, надо полагать, никогда и не будет?*

Для начала давайте вспомним — что такое вообще волны? Они могут быть самыми разными, но все они имеют схожую «волнообразную» структуру. Собственно, поэтому они и носят общее название «волны». Волны на поверхности воды состоят из гребней и впадин, и вся эта волнистая структура перемещается в определённом направлении. Расстояние между гребнями называется длиной волны, а скорость перемещения «волнистой» структуры из гребней и впадин как целого — скоростью распространения волны.

Свет — это электромагнитная волна. Вдоль направления распространения света «волнообразным» периодическим образом меняются напряжённости электрических и магнитных полей. Длина волны света — это расстояние между повторяющимися соседними элементами волны (например, между соседними максимумами электрического поля). Длина волны обычно обозначается греческой буквой λ (лямбда). Вся такая картинка электромагнитной волны движется в пространстве со скоростью света $c = 299792458$ м/сек.

О каких же волнах может идти речь в применении к астрономии? Естественно, в первую и основную очередь — о всех волнах электромагнитного спектра волн. Речь идёт о волнах электромагнитных. Видимый нами свет — это электромагнитные волны с длиной волны λ приблизительно (границы восприятия разные у разных людей) от 380 до 780 нанометров (1 нанометр = 10^{-9} метра). Это самая основная — основная для нас — часть электромагнитного спектра. Глаза, которыми мы смотрим друг на друга — это как раз приёмники видимого света. Мы привыкли жить на этой планете и видеть в этом диапазоне длин электромагнитных волн.

Ещё первобытные люди, когда выходили из своих пещер и смотрели вверх, в видимом диапазоне длин волн видели астрономические объекты.

Главное, чего удалось добиться человечеству до конца 20 века, состоит в том, что способность принимать электромагнитное излучение человек распространил практически на весь спектр электромагнитных волн, независимо от их длины.

Естественно, что успехи были в каждом диапазоне в своё время разными. Какие-то диапазоны нам удалось освоить раньше, какие-то — позже. Но так или иначе все эти диапазоны мы уже освоили. И уже имеем полную картину Вселенной — или наблюдаемого неба, скажем так — в том или ином диапазоне длин волн. В видимом свете мы видим и так — если только нам облака и фонари не мешают. И тут мы можем строить телескопы — огромные оптические системы, которые в видимом диапазоне позволяют собирать очень много света и дают возможность наблюдать объекты до границ видимой Вселенной. Сейчас самый крупный проект телескопа — это 42 метра диаметром.

Если мы пойдём в более коротковолновую часть спектра... К видимому у нас примыкает ультрафиолетовый диапазон. Он в основном поглощается земной атмосферой, поэтому с поверхности Земли не виден. Для того, чтобы увидеть ультрафиолетовую Вселенную, нам нужно ставить телескоп на спутник, запускать спутник за пределы атмосферы. И с орбиты этот и последующие ещё более коротковолновые диапазоны мы можем наблюдать. После ультрафиолета у нас есть рентгеновская астрономия, после этого у нас есть гамма-астрономия.

Дальше все эти диапазоны делятся по тому, какую длину волны имеет это излучение. Или, соответственно, по тому, какую энергию имеют эти кванты.

Надо сказать, что для разных длин волн внешний вид нашей Вселенной меняется кардинальным образом. Скажем, в жёстком диапазоне у нас светят в основном окрестности чёрных дыр. Там, где происходит аккреция вещества в чёрную дыру. Там максимально высокие температуры разогрева получаются. Это, соответственно, основные объекты для гамма-вселенной и рентгеновской Вселенной.

Если мы пойдём от видимого диапазона в диапазон более длинных волн, то из видимого переходим сначала в инфракрасный диапазон. Здесь у нас самым интенсивным источником является наше родное Солнце, которое нам не только светит, но — самое главное — нас греет, благодаря чему мы существуем.

Потом идёт промежуточный субмиллиметровый диапазон.

А дальше — обширнейший радио-диапазон длин волн.

Эти все диапазоны, за исключением определённых зон поглощения, которые дают парниковые газы в атмосфере Земли, в принципе достигают поверхности Земли. И, соответственно, радиотелескопы работают на поверхности Земли. Естественно, ничего не мешает радиотелескопам, инфракрасным телескопам и другим работать и на орбитальных аппаратах тоже.

Всё это, естественно, уже сделано. Есть картины инфракрасной Вселенной, есть картины радио-вселенной. Там — свои особенности.

Здесь я не очень даже, как видите, распространяюсь о сути, потому что здесь именно идёт такое всеволновое наступление человечества, в первую очередь технологическое. Естественно, главным вопросом здесь был выход в космос, вынос за пределы земной атмосферы инструментов и детекторов, которые могут эти излучения принимать.

Но, собственно говоря, звание всеволновой астрономия получила в первую очередь потому, что так, шаг за шагом, в течение нескольких сотен лет — а наиболее бурно это произошло, конечно, за последний десяток лет — к концу 20 века все диапазоны электромагнитного излучения с тем или иным успехом покрыты современной техникой.

А какие волны бывают, кроме электромагнитных? Здесь наиболее экзотическим, но объективно существующим видом волн, являются волны гравитационные. Дело в том, что электромагнитные волны — это возмущения электромагнитного поля, которое нас окружает. Собственно, вся Вселенная пронизана электромагнитным излучением с эпохи ранней Вселенной. Это так называемое реликтовое излучение — тоже электромагнитное излучение по своей природе. А вот гравитационные волны имеют принципиально иную природу, потому что это поле гравитации. И, соответственно, волновые возмущения поля гравитации.

Какими объектами могут порождаться гравитационные волны? Если у вас есть просто массивное тело — будь то планета, будь то звезда, будь то чёрная дыра... Оно (как и любое тяжёлое тело) искривляет пространство. Но волн гравитационной природы оно не порождает. Более того, не порождает гравитационных волн даже, допустим, взрыв сверхновой звезды. Звезда резко сбрасывает оболочку, взрывается. Если этот взрыв имеет сферически-симметричный характер, то гравитационных волн в этом случае тоже не возникнет.

И вот только если тяжёлый гравитационный объект имеет квадрупольную структуру поля — динамику квадрупольной составляющей, вот здесь возникнут уже возмущения гравитационного поля, которые будут распространяться по пространству в виде гравитационных волн.

Простейшей системой такого генератора гравитационных волн являются двойные системы. Вообще говоря, любая двойная система, любая двойная звезда гравитационные волны излучает. Вопрос только — с какой интенсивностью.

Теоретически гравитационные волны предсказаны и они следуют из Общей теории относительности Эйнштейна, которая была опубликована в 1916 году. Но интенсивность этих волн всегда очень мала. Для того, чтобы объект мог реально излучать гравитационные волны, он должен быть очень релятивистским. То есть компактность массы в нём должна быть очень высока.

И вот уже на протяжении примерно 20 лет ведутся наблюдения. Тогда он был единственным найденным — так называемый двойной релятивистский пульсар. Было две звезды, они проэволюционировали, каждая из них превратилась в нейтронную звезду, образовала пульсар — это, соответственно,

очень направленный источник радиоизлучения. За счёт того, что нейтронная звезда происходит за счёт коллапса обычной звезды, она очень быстро вращается, с периодами обычными в миллисекунды.

А это - двойной пульсар, то есть две звезды, которые вращаются вокруг общего центра масс. Пульсары — за счёт того, что они очень компактные и массивные звёзды, являются очень точными, скажем так, пульсарными часами. Период импульсов пульсара поддерживается с точностью, которая сопоставима или даже превышает точность наших современных атомных часов.

Поэтому, когда начали наблюдать систему двойного пульсара, по частоте прихода импульсов и по фазе прихода импульсов очень точно можно измерить орбитальное движение этих двух звёзд. И, соответственно, изменение этого орбитального движения. Когда предельно точно учли все эффекты (классической гравитации, релятивистской гравитации и т. д.) в теоретических расчётах, оказалось, что за счёт излучения гравитационных волн период системы уменьшается, то есть система теряет энергию. Изменение периода оказалось таким, каким должно быть за счёт потери этой системой энергии на излучение гравитационных волн. Этот двойной пульсар наблюдается уже более 20 лет. Соответственно, с постоянно накапливающейся точностью измерений.

Поскольку этот экспериментальный результат совпал с теорией, можно считать, что гравитационные волны как явление — открыты и наблюдаются. Сейчас стоит вопрос о том, чтобы их научиться детектировать инструментальными методами. То есть создать такие телескопы, такие системы и инструменты, которые бы гравитационные волны могли бы обнаруживать, измерять, принимать. И дальше в лучшем случае строить изображения тех объектов, которые эти гравитационные волны излучают.

На сегодняшний день пока ещё неизвестно, какой уровень чувствительности должен быть у этих приборов («гравитационных антенн») для того, чтобы обнаружить те отклики, которые дают, скажем, взрывы сверхновых или вращения двойных пульсаров. На сегодняшний день мы пока ещё не дошли до этого теоретического предела. Но сейчас вот запускается новый проект космического лазерного интерферометра — это три космических аппарата, которые располагаются друг от друга на расстоянии 6 миллионов километров, образуют равносторонний треугольник в космосе. Этот треугольник из трёх аппаратов будет летать вслед за Землёй. И все три аппарата будут смотреть друг на друга с помощью «лазерных указок». Это нужно для того, чтобы на пределе современной чувствительности измерений почувствовать, когда придёт гравитационная волна с рассчитанной интенсивностью — этот треугольник с длиной стороны около 6 млн. км должен будет немножечко изменить свои размеры, деформироваться. И вот этот эффект должен быть уже наблюдаемым и измеряемым для типичных событий, которые происходят в окрестностях нашей Вселенной. Как говорится, подождём... Этот проект сейчас находится в разработке и должен полететь в 2013–2015 году. После этого — надеюсь — мы о гравитационных волнах уже будем говорить не только как о известном и наблюдаемом

явлении, а уже как о технологически измеряемой вещи. Так что тут надо немножечко подождать — этих волн у нас в распоряжении нет, но вот-вот скоро будут.

В принципе, любая частица обладает волновыми свойствами. Равно как и электромагнитную волну можно считать набором частиц — фотонов. Из космоса на Землю прилетает много разных частиц — от Солнца, звёзд и даже из-за пределов нашей Галактики. Такие частицы наблюдаются, детектируются и представляют существенный интерес для астрономии и физики, они даже получили название «космических лучей». Формально соответствующая частице длина волны λ определяется соотношением де-Бройля $\lambda = h/p$, где p — импульс частицы, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ — постоянная Планка.

Но такие «волны» в распоряжении астрономов есть лишь формально. По составу прилетающих частиц можно получить много ценной информации о том, что происходило в тех далёких местах Галактики и Вселенной, где эти частицы родились. Но вот выяснить, где это — то есть не можем провести собственно астрономические наблюдения. Такие частицы довольно долго блуждают по Вселенной и попадают на Землю практически равномерно со всех сторон¹¹, не давая нам никакой наблюдательной информации. По таким «волнам» нельзя построить изображение источников этих волн.

Несколько слов о механических волнах во Вселенной и в небесных объектах. Для того, чтобы возникла механическая волна — скажем, типа волны на поверхности воды — вам нужна непрерывная, связанная среда. Для того, чтобы возмущения из одной области могли по этой среде передаваться в другую. В открытом космосе такой среды нет — соответственно, механические волны там не распространяются. Но вот если у вас есть распределённые среды — скажем, межзвёздный газ — то по нему вполне могут распространяться те или иные волны — механические. И, вообще говоря, при больших скоростях, которые достигаются в космосе, эти волны переходят в разряд ударных волн.

Таковыми характерными ударными волнами являются сбросы оболочек сверхновых звёзд, когда они начинают сильно расширяться. С огромной скоростью расширяются в окружающее пространство и во всём окружающем межзвёздном газе порождают именно ударную волну, которая вызывает своё свечение. Поэтому остатки сверхновых звёзд в качестве таких вот ярких шаров — в радиодиапазоне, в рентгеновском диапазоне и других диапазонах длин волн, в которых их можно наблюдать.

Определённым моментом использования механических волн является исследование планетных тел. Это, конечно, не астрономия, о которой я говорил здесь раньше. А именно планетные тела. Ну это физически связанные тела, с определённой плотностью. Наша планета — характерный пример таких тел. И в этих телах механические волны вполне могут существовать и распространяться. В отношении Земли — это всем вам известные сейсмические волны. У нас случаются землетрясения, подземные ядерные испытания, другие источники сильных ударных воздействий... Которые

¹¹ Отдельно выделяется направленный поток от Солнца — «солнечный ветер».

распространяются по всему телу нашей Земли и с помощью сейсмических станций наблюдаются.

Такие же сейсмические эксперименты проводились многократно на Луне (программа Аполлон). Там были расставлены сейсмометры для того, чтобы регистрировать как удары метеоритов по Луне, так и какие-то возможные внутренние шумы планетного тела Луны.

Естественно, перспективные планетные миссии, в частности марсианская, которые предполагают посадку аппарата на поверхность других планет, предполагают и постановку сейсмометров на поверхность других планет для того, чтобы смотреть, что там происходит с точки зрения тряскости.

Для Марса это точно запланировано. Посмотрим, что у нас будет с другими планетными телами.

Если планета покрыта жидкой или газообразной оболочкой, то есть, грубо говоря, имеет свой океан или имеет свою атмосферу, то в этих средах механические волны тоже вполне могут распространяться.

В качестве примера ударной волны в атмосфере Юпитера можно привести следы падения кометы Шумейкера-Леви, которая падала в атмосферу Юпитера и породила там взрывные явления с ударными волнами. . .

Каких волн у нас не будет никогда?

Звуковые — я уже немножко упомянул. Если мы берём атмосферу планеты — звуковые волны там распространяются. Если мы берём плоскость галактики и газ, распределённый по галактике — спиральная структура галактики, пока она вращается, тоже порождает ударную волну, которую тоже можно рассматривать как частный случай звуковой волны в среде. А вот с планеты на планету покричать друг другу мы не сможем — между нами нет среды, которая была бы передатчиком этого возбуждения. Поэтому в чистом виде, конечно, звуковые в космосе не распространяются.

Среди всех видов физических взаимодействий, которые нам пока известны, вы знаете четыре: электромагнитные, гравитационные, сильные и слабые.

Так вот, «сильных» и «слабых» волн мы не увидим в космосе. Не потому, что там нет объектов для их приложения, не потому, что там нет среды для их распространения, а потому, что эти взаимодействия короткодействующие. Это не гравитация и не электромагнитное поле, которое может распространяться от источника на бесконечность. А они очень короткодействующие и поэтому не породят волну, которая от одной точки побежит до другой.

И последнее. Мы с вами пока знаем 4 физических взаимодействия. И нам этого вполне хватало до тех пор, пока мы жили в нашем — сначала классическом, потом квантовом, потом релятивистском мире. Но вот с недавних пор мы с вами стали жить в новом мире. Мы с вами стали жить в мире тёмной материи. И тёмной энергии.

Природа этих вещей, этих сущностей пока ещё не раскрыта. Мы знаем про них только две вещи.

Первое. Они существуют.

Второе. Они гравитационно взаимодействуют со всеми объектами Вселенной, которые мы можем наблюдать. Мы их собственно и открыли по тому гравитационному влиянию, которое тёмная материя и тёмная энергия оказывают на нашу Вселенную в космологических масштабах.

Дело, конечно, хозяйское — можете верить, можете не верить. Я лично не верю в то, что принципиально новые виды материи обладают только одним свойством взаимодействия — гравитационным. Наверняка они должны будут обладать ещё чем-нибудь. Но поскольку в электромагнитных играх они не участвуют, в слабых и сильных они не участвуют (если бы они участвовали в чём-либо из этих взаимодействий — мы бы их давно нашли здесь на Земле). А только в гравитационных — и то очень слабо.

Есть серьёзные основания предполагать, что у них могут быть другие виды взаимодействий, которые мы пока ещё не знаем. А будут другие виды взаимодействия — будут другие виды волн.

6. *Какие новые океаны могут возникнуть на нашей планете Земля в обозримом будущем? Когда примерно? Какие, наоборот, могут исчезнуть?*

Данный вопрос был по геофизике — по планете Земля, на которой мы с Вами живём. Вообще говоря, океаны бывают не только на этой планете, но и на других планетах тоже. В нашей Солнечной системе по крайней мере два планетных тела (кроме планеты Земля) обладают объектами, которые могут быть названы океанами. Вот самая свежая информация, которая прошла по интернету: на спутнике Сатурна Титане открыли озёра (хотя размер этих озёр сопоставим с Каспийским морем) из жидких углеводородов. Причины образования этого жидкого слоя и его глубина — это отдельный разговор. Состав — соответственно жидкий метан и другие соединения углерода с водородом, то есть углеводороды в разных концентрациях. Вот такие замечательные «моря» на поверхности Титана не то чтобы плещутся, но по крайней мере расположены. Что там внутри этих морей может находиться — это отдельный очень интригующий вопрос. Важно, что они есть. Причём, что особенно интересно, их засекли по блику солнечного отражения от их поверхности. Космические аппараты непосредственно туда пока ещё не садилась. Второй наиболее грандиозный океан — и это именно океан — находится на спутнике Юпитера Европа. Она вся покрыта ледяной коркой, толщина этой корки оценивается от 10 до 50 км — такой ледяной панцирь. А вот под этим панцирем находится океан солёной воды (именно воды) толщиной (по разным оценкам) 10 или больше км. Вот что в этом океане можно будет интересного найти — это ещё один отдельный и ещё более интересный вопрос. Потому что ледяная корка, которая Европу покрывает, местами растрескивается. Эти трещины сейчас прекрасно видно с космических снимков, которые оттуда передаются. И в зонах этих трещин возможен подъём внутренних вод и даже выход их на поверхность. Я думаю, что одной из ближайших задач автоматической космонавтики будет полет на Европу, посадка («при-европиться») на нужное место, а затем хорошенько там присмотреться и поковыряться. Есть довольно серьёзные подозрения

на выход органических веществ из нижних слоёв Евро-океана. В любом случае это безумно интересно.

Теперь вернёмся к более знакомой для Вас на поверхности нашей планеты вещи — думаю, абсолютное большинство из Вас на берегу моря были. Вы помните из географии, что поверхность нашей Земли на 70% покрыта водой, а на 30% — сушей. Первый вопрос — а с чего бы это так? Этот вопрос распадается сразу на два.

Во-первых. Как устроена поверхность нашей планеты? Откуда у нас тут столько воды?

Сейчас мы рассмотрим только верхнее строение твёрдой оболочки нашей планеты — её литосферу. Наша планета Земля не то чтобы «двухслойная», а «двухфазная», если так можно выразиться. И это, кстати, довольно интересный феномен в отношении всех планет Солнечной системы. Скажем, планета Венера существенно отличается по этому параметру от нашей Земли.

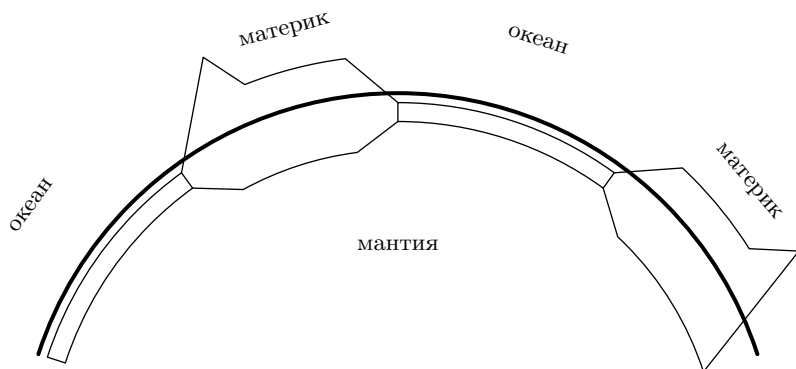


Рис 1. Блочная структура земной коры.

Наша планета Земля имеет ядро, мантию, потом внешняя кора. Земная кора состоит из двух типов блоков. Кора океаническая — тонкая, толщиной всего около 5 км, и молодая. Второй тип коры — это кора материковая, которая толстая (её максимальная толщина до 40 км) и старая. «Старая» — это значит, что возраст основных пород, образующих континентальные плиты может составлять более миллиарда лет. Естественно, есть масса и переходных явлений между ними.

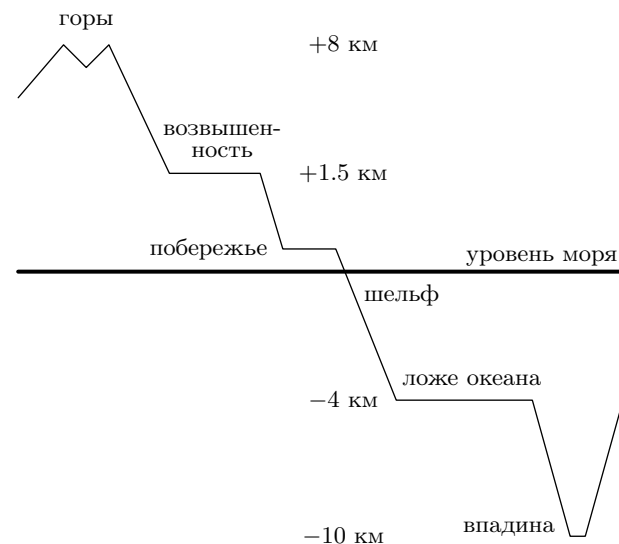


Рис 2. Вертикальный профиль земной коры — граница материка и океана.

Очень схематично можно представить, что на материке имеются высокие горы, равнины, и берег на нулевом уровне моря. Дальше идёт континентальный склон и затем ложе океана. Напомню некоторые цифры по высоте. Максимальная высота литосферы над уровнем моря — это гора Джомолунгма 8848 м, средняя высота материка над уровнем моря (всех материков Земли, если их равномерно «размазать») — примерно 1,5 км. Средняя глубина океана — примерно 4 км. Естественно, там есть котловины глубиной по 6–7 км, но есть и высокие хребты на дне.

В океане есть ещё два типа объектов (крупномасштабных структур), которые нам сейчас пригодятся. Это, во-первых, океанические впадины, и в этом типе объектов находится отметка максимальной глубины — Марианская впадина –11022 м. И есть ещё срединно-океанические хребты, которые в своих наиболее высоких точках могут даже подниматься над толщей океана. То есть это горные системы, которые расположены на ложе океана и имеют высоты, сопоставимые с такими же высотами гор на суше.

Если мы посмотрим на материковые плиты снизу, то при высоте над уровнем моря 10 км толщина такого блока до мантии вглубь должна составлять ещё примерно 20–30 км. Глубже коры расположена однородная мантия, которая медленно движется и которой безразлично, что над ней сверху находится — материк или океан, и какой толщины кора над ней расположена. Когда мы уходим с континентальных склонов и спускаемся к ложу океана — здесь у нас остаётся океаническая кора толщиной всего примерно 5 км.

За счёт потоков в земной мантии на границах океанских плит в зависимости от направления их движения расположены зоны спрединга (сжатия и наползания двух плит друг на друга) и зоны рифтов (расхождения плит). При спрединге возникают т. н. островные дуги (со стороны плиты, наполза-

ющей вверх) и параллельные им океанические желоба (со стороны плиты, погружающейся вниз). В зоне раздвижения океанических плит (рифт) в расколовшейся земной коре возникают трещины вниз насквозь до мантии, а движущиеся снизу, от центра Земли потоки мантии могут поднимать края океанической коры на высоту до 5 км вверх. В результате края расходящихся океанических плит оказываются подняты вверх и могут, в том числе, вылезать из толщи океана в виде островов срединно-океанических хребтов.

Я подчёркиваю два параметра, характерных для коры нашей планеты — она разделена на блоки двух типов: континентальные (высоко над поверхностью воды и ещё более глубоко под уровнем моря) и океанические (толщиной примерно 5 км и примерно 4 км водного слоя океана сверху). Эти блоки двух типов плавают на полувязком, полужидком основании мантии и могут быть уподоблены «льдинам», которые плавают на поверхности воды.

Мантия имеет вязкую структуру, и, например, в разломах или при извержении вулканов поднимается снизу и может выходить на поверхность в виде жидкой лавы. Блоки разной толщины — материковые и океанические — плавают на ней, скажем так: «выдерживают свою ватерлинию».

Это то, что мы видим на поверхности нашей планеты. Нарисуем характерный интересный график — зависимость суммарной площади поверхности планеты от высоты, на которой они расположены.

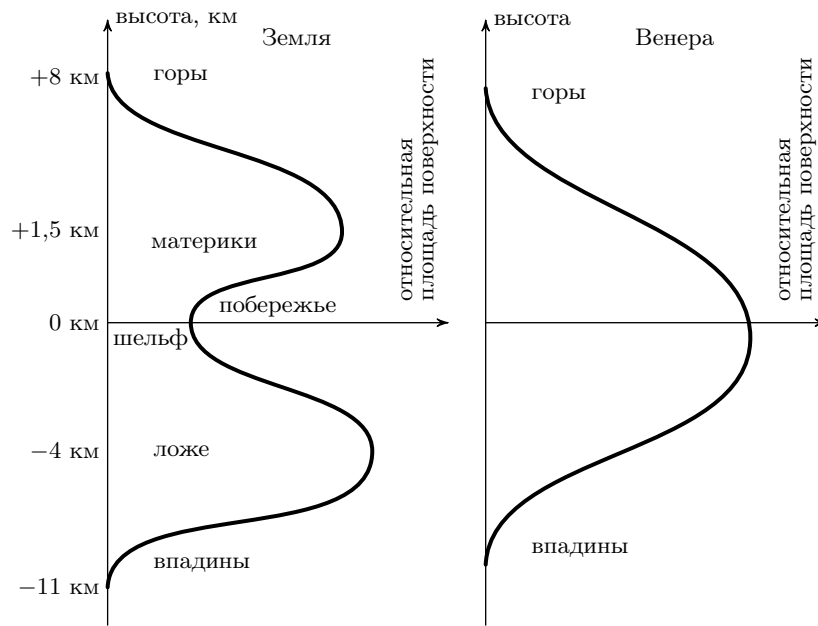


Рис 3. Распределение поверхности планет по высоте.

Мы начинаем с вершины горы Джомолунгма — самой высокой точки на нашей планете. Площадь её равна 0 потому, что это точка. Дальше мы начинаем по высоте над уровнем моря потихонечку опускаться — мы находимся в зоне высоких-высоких горных систем нашей планеты. Площадь

этих систем потихонечку нарастает. На характерной высоте 1,5 км наступает максимум. Это — примерно среднегорье материков, то, что занимает на материках наибольшую площадь — это не высокие горы, но и не низкие равнины. На уровне нуля мы спускаемся до некоторого минимума, который означает как раз начало океанических склонов. Эта зона между блоком континента и блоком океана на поверхности Земли занимает мало места. Потом на глубинах около 4 км наступает второй максимум, который по площади даже больше, чем первый. Это океанические впадины — ложе океана. Оно имеет глубины от 3 до 6 км, и, конечно, не совсем ровное, «как стол», но имеет примерно такие же выровненные поверхности, как средние поверхности на материках. Потом мы благополучно заканчиваем нашу экскурсию по высотам, и, опять приближаясь к нулю, приходим на отметку -11 км.

На этом мы всю поверхность нашей планеты Земля исчерпали, и у нас получился вот такой характерный «двугорбый верблюд» — зависимость площади поверхности от её высоты для нашей планеты.

Теперь возьмём аналогичный график для планеты Венера, которая на Землю весьма похожа. Правда, жидкого океана на Венере нет, и нулевой уровень там выбран как средний уровень высот этой планеты. Но если построить для поверхности Венеры такой же график, — то мы получим кривую только с одним максимумом. На Венере нет разделения на океанические и материковые блоки. Естественно, что высокие горы, впадины, и пропасти там тоже есть, как и на любой планете, но такой «двухфазности» нет.

Эта двухфазность (материк—океан) относится только к нашей планете Земля, которая, благодаря движениям в мантии, состоит из двух типов литосферных плит, в отличие быть может от многих других планет. В мантии есть круговорот вещества. Ядро Земли горячее, оно подогревает нижнюю мантию, как газовая конфорка, и горячие потоки постепенно поднимаются вверх, образуя конвективные ячейки в мантии. Скорость этих движений — от 1 до 10 сантиметров в год — так что не очень быстро, но зато всё время. И эти конвективные потоки, взаимодействуют с нижней подошвой в первую очередь материковых плит, которые имеют большую толщину и глубоко сидят, начинают эти материковые плиты двигать. Это очень похоже на то, как плавают большие толстые льдины на поверхности воды. Эти «льдины» могут раскалываться, и тогда материк может разделиться на две части. Например, суперматерик Пангея, в состав которой раньше гипотетически входили все нынешние материки, раскололась, и потом её части расплылись (или «расползлись») в разные стороны. На это потребовалось около 600 миллионов лет — чтобы прийти к нынешнему внешнему виду Земли.

Естественно, движение материков продолжается постоянно, и оно прямо измеряется методами точного позиционирования. Скорости материков различны, максимальные скорости до 10 см/год.

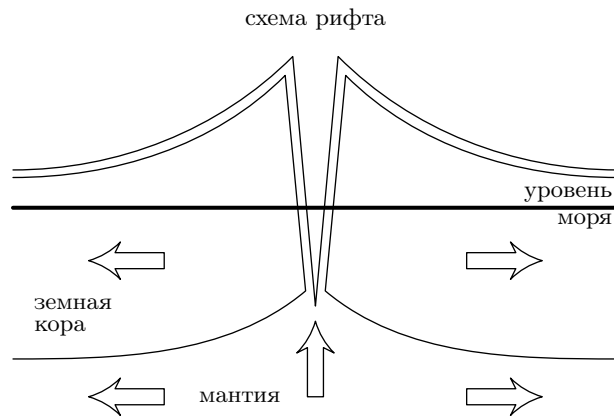


Рис 4. Рифтовая расселина.

Толстый материк, который первоначально был единым, 30–40 км толщины. Мантия — подложка горы.

А что же происходит между плитами? Если расколосся материк, его обломки начинают разъезжаться в стороны, и между ними получается зона рифта. Самая грандиозная рифтовая система, которая проходит по материковой части нашей планеты, начинается от Малой Азии (примерно от Кавказа), проходит на юг по долине реки Иордан и Мёртвому морю, потом переходит через Синайский залив в Красное море (Красное море — это типичная рифтовая раздвижка. Тут две плиты расходятся: Африканская — эфиопская часть и Аравийский полуостров между собой раздвигаются), потом эта зона проходит через Эфиопию и дальше по Восточной Африке «прочерчивает» все Великие Африканские Озёра, которые и представляют собой рифтовые расселины.

Если материк в один прекрасный момент расколосся под действием расходящихся потоков мантии, он начинает разъезжаться. Эта зона сразу вызовет резкое усиление вулканической деятельности: как только появляется возможность веществу мантии выйти наверх, — здесь возникнут, конечно, вулканы в больших количествах.

Другой тип процессов геодинамики состоит в следующем: если материк расколосся и немножко разъехался, эта зона заполняется обломочными породами и возникает характерный провал. В вертикальном разрезе он похож на резкую трещину, как от удара меча. При этом за счёт того, что в этом месте упало давление от верхней коры (плиты разъехались), края начинают немножко задираться вверх, и возникает характерный М-образный профиль рельефа. Если, например, взять такой вертикальный разрез поперёк озера Байкал, то он будет очень похож на такую букву «М». Также выглядят и разрезы и других озёр на разломах коры, например, африканских Ньяса, Танганьика и др. — озёр, возникающих в зоне материковых рифтов. Они с двух сторон окружены горными хребтами (не очень высокими — с высотами 2–3–4 км), и у них есть зона центрального провала, которая по мере раздвижения трещины всё время углубляется, но одновре-

менно и засыпается обломочными породами. Глубины Байкала — это примерно 1,6 км от уровня поверхности воды: Байкал является самым крупным материковым рифтовым разломом, он просто достиг наибольших размеров и по длине (более 600 км), и по ширине (около 80 км в наиболее широкой части), его глубина 1620 м. Интересно отметить, что уровень Байкала находится на высоте примерно 400 м над уровнем моря, то есть этот провал внизу уходит ниже уровня океана уже сейчас более чем на 1 км. Если бы Байкал соединялся с Мировым океаном, он бы заполнился солёной водой и был бы резкой впадиной, трещиной, причём глубина трещины составляла бы порядка 1 км, что соответствует уже по крайней мере глубокому морю. По мере того, как его берега-половинки будут разъезжаться дальше, как створки автоматических дверей, глубина озера будет также увеличиваться.

Такой же процесс, напомним, происходил 600 миллионов лет между Африкой и Южной Америкой. Стандартный пример, который приводится в школьной географии, состоит в следующем: когда вы прикладываете вырезанную карту материка Южной Америки к Африке, и они благополучно сходятся. Это одно из «мнемонических» доказательств того, что когда-то они объединялись и были одним целым вместе. Конечно, помимо «доказательств методом вырезания» есть и масса других доказательств из геологии, из биологии, из тонких химических анализов пород, которые выстилают эти зоны, и т. д.

Так вот, на примере Байкала мы видим раннюю фазу рождения океана. То есть фазу растрескивания материковой коры. Потом, через сотни миллионов лет, эти половинки тоже сильно разъедутся, как Южная Америка с Африкой. Зоны между этими разъехавшимися частями заполнятся тонкой океанической корой, и на этом месте будет новый широкий океан. Сейчас Атлантический океан уже достаточно широкий, а Байкалу всё это предстоит. Точно так же, как предстоит разъехаться большой рифтовой зоне, которая протянулась через всю Африку с севера на юг.

Это — к вопросу о рождении океанов.

К вопросу об их дальнейшей жизни. Какие океаны у нас на Земле сейчас растут, а какие сжимаются? За счёт того, что движение материков продолжается, Атлантика расширяется.

И вот сейчас я возвращусь к теме срединно-океанических хребтов. У вас есть тонкая океаническая кора. Посередине у вас, соответственно, провал, соответствующий рифтовому расходу. По бокам — как раз эти хребты. Надо сказать, что они как раз точно также имеют М-образный профиль симметрично. В некоторых случаях, как я говорил, вершины этих срединно-океанических хребтов могут выходить над поверхностью воды в виде островных систем. Система срединно-океанических хребтов охватывает почти весь земной шар, проходя по середине не только Атлантического, но также и Индийского и вокруг всего Южного океанов. Значит, все эти океаны на нашей планете разъезжаются и расширяются.

Исключение из этого общего правила составляет только один океан — собственно, тот, который всегда в истории Земли и был единым и великим океаном — это океан Тихий.

Наша Земля, если вы посмотрите на глобус, состоит как бы из двух половинок. Одна половинка — это полушарие «океаническое» — его как раз занимает весь Тихий океан. Другая половинка Земли — «материковая», куда можно отнести все материки и все прочие водные пространства между ними. Создаётся такое впечатление, что суперматерик Пангея в своё время, находясь на одной из сторон нашей планеты, раскололась на части, и сейчас её осколки продолжают разъезжаться. При этом, расходясь в разные стороны на одной половине Земли, они тем самым начинают, и сейчас это движение идёт, как бы наезжать на Тихий океан на другой половине планеты с разных сторон. То есть Тихий океан сейчас является «сжимающимся» океаном, со всех сторон на него наступают материковые блоки. Наступление материков сопровождается явлением спрединга, — это когда материк наезжает на океаническую плиту. Поскольку материк всегда существенно толще, то когда он наезжает на более тонкую океаническую плиту, то он, естественно, делает с ней то же самое, что делает ледокол с льдиной — он её подминает и топит под себя. Океаническая плита начинает тонуть вниз и погружаться вниз, а край материка, естественно, подпирается вверх. В этом случае возникает система ещё более резкого перепада высот: на краю материка возникает высокий хребет, а на краю океанической плиты — глубокий жёлоб. Самый характерный пример такой зоны — это западный край Южной Америки. Соответственно, горы здесь — Анды (максимальная высота более 6700 м), а максимальная глубина в Чилийском жёлобе — около 8800 м. Полный перепад высот в этом случае достигает более 15 км. Естественно, эта система не стабильная, — она динамическая, поскольку имеет на Земле на характерном расстоянии меньше 1000 км (между глубиной жёлоба и до максимальной высоты) перепад высот в 15 км можно только в динамической системе. То есть когда материк реально «едет» на океаническую плиту и придавливает её под себя.

Я привёл пример Тихого океана, как сжимающегося. Конечно, сказать при этом, что Тихий океан когда-нибудь исчезнет совсем, — это было бы слишком смелым утверждением. Во-первых, на это потребуются характерное время ещё порядка миллиарда лет. Во-вторых, прогнозировать куда и какой материк поедет в дальнейшем — это мы можем только сейчас, что называется, на ближайший период, скажем, не более 100 миллионов лет вперед. А дальше, на более длительных интервалах времени, — куда каждый блок земной коры будет продвигаться, куда его повернёт, или как он начнёт крутиться и т. д., — предсказать невозможно, это примерно то же самое, что предсказывать движение льдин. Прогнозы будут достаточно необоснованные. Поэтому я не думаю, что Тихий океан когда-нибудь исчезнет совсем.

Столкновения материков между собой тоже бывают. И не только бывают — такое столкновение имеет место быть и сейчас. Плита Индостана с очень хорошей скоростью въехала в Евразию с южного направления. Результат Вам известен — выросла горная система Гималаев, где находится высочайшая точка литосферы нашей планеты — гора Джомолунгма. В принципе, ещё одна такая зона материкового сжатия возникнет, опять-таки, условно говоря, через 200–300 миллионов лет, когда Австралия

врезается в Юго-Восточную Азию. Сейчас Австралия едет по направлению примерно на северо-восток, а там находится плита островов Индонезии, а затем край Южной Азии. Вот когда она туда приедет и провозаимодействует — там тоже начнётся мощный рост горных систем.

Я напоминаю, что вся система Гималаев — это как раз взаимодействие двух сталкивающихся материковых плит, а система Анд, как и многочисленные другие горные системы — это граница материк/океан. А срединно-океанические хребты — это разъезд двух океанических плит. Такие процессы приводят к рождению океанов, или, наоборот, к их схлопыванию (точнее, уменьшению их площади).

В этой теме также был затронут вопрос о таянии полярных льдов и возможном подъёме уровня океанов. Вопрос хороший, спасибо! Тем более актуальный — сейчас: «климат-гейт» у всех на устах. Как говорится, у одних что-то теплеет, а у других — не очень. Обвиняют друг друга в недостоверности информации и т. д. Так что же будет, если наша Арктика растает? Такое, кстати, в её истории уже неоднократно бывало. Кстати, и Антарктида не всю свою жизнь была покрыта ледяным панцирем, как вы знаете. В какое-то время (несколько миллионов лет назад) она тоже приехала на Южный полюс (а до этого она была таким же нормальным материком, как, например, Австралия), а потом уже вся обледенела — сейчас максимальная толщина ледяного покрова там составляет около 4,5 км в некоторых местах. И, естественно, что основание Антарктиды такая толща льда на поверхности немножечко притопила. Кстати, в это время примерно и наступило современное неустойчивое состояние глобального климата — за счёт того, что Антарктида является мощным холодильником для всей Земли. Согласно некоторым гипотезам, климат Земли находится в колебательном состоянии с переменными эпохами оледенений, потеплений и т. д. — несколько характерных периодов в десятки и сотни тысяч лет. Не миллионы и миллиарды, а сотни тысяч. Вопрос о том, в каком именно интервале мы сейчас живём — это вопрос совершенно отдельный. Арктика тоже таяла несколько раз, так что там много чего росло и бегало. Но, возвращаясь к вопросу об океанах, нельзя сказать, что такое таяние приведёт к возникновению нового океана, всемирному потопу и т. д. Просто потому, что объёмы воды, которые содержатся во льдах даже Антарктиды, приведут максимум к поднятию уровня моря метров на 60. А мы говорим о километрах. То есть это вещи, несопоставимые на два порядка величины. Уровень Мирового океана в истории Земли много раз колебался. У нас были периоды, когда океан был метров на 100 ниже нынешнего уровня; и наоборот, были времена, когда он был метров на 20 выше.

Современная береговая линия — это тоже очень динамическое понятие, очень многие территории материков раньше были дном моря. Например, если вы пойдёте на геологическую экскурсию — вы можете найти массу морских окаменелостей. Понятно, что в своё время эта территория была дном моря. Обращу ваше внимание: дном моря, а не глубокого океана, — то есть здесь не было километровых глубин, но могли быть глубины в десятки и сотни метров. И это всё — нормальная геологическая история Земли,

которая течёт не первый миллиард лет. Но не было никогда катастрофического потопа, который покрыл бы всю поверхность Земли. Такого не бывает, потому что воды столько не наберётся нигде. Во льдах, во всяком случае, такого количества воды точно нет.

По этой теме еще один интересный вопрос: а могут ли материки на Земле собраться обратно в новую «Пангею»?

Напомню, что материки движутся по конвективным ячейкам мантии, и поэтому, вообще говоря, они могут расползтись в разные стороны и так в разных сторонах планеты и остаться.

Поэтому весь вопрос состоит в том, как именно устроено движение в самой мантии Земли. С достаточной точностью этого пока нам не известно, потому что, напомню, те движения материков, которые в настоящее время происходят, мы измеряем по состоянию «сейчас». По палео-геомагнитным данным (намагниченность пород в коре Земли) мы можем выяснить их прежние движения на несколько сотен миллионов лет назад. Но спрогнозировать движение материков вперёд по времени гораздо сложнее. Поэтому точного ответа никто не даст.

Есть, однако, гипотеза о том, что конвективные зоны в мантии имеют также имеют глобально-упорядоченный характер: то есть они бурлят не случайным образом, как манная каша в кастрюле, а циркуляционным образом, как глобальная атмосфера или глобальные океанские течения Земли. И тогда, действительно, возможен такой вариант, что в одной зоне нашей планеты происходит глобальное расхождение мантии (и материков над ней), и мы именно сейчас в эпоху этого глобального расхождения и живём (материки из Пангеи разъехались). А потом, через 0,5–1 миллиард лет материки могут попасть в другую планетарную зону глобального схождения мантии — там мантия будет опускаться вглубь планеты и «подсасывать» к себе материки на поверхности. Тогда они, действительно, в некоторую область вновь соберутся, сомкнутся и будут некоторое время вновь существовать в таком «конгломеративном» состоянии.

Но вопрос, насколько это вероятно, насколько такое состояние устойчиво и будут ли материки себя так хорошо и правильно вести — это совершенно не факт. Обычно всегда что-нибудь разбить и рассыпать намного проще, чем потом собрать и склеить, как все знают по массе бытовых примеров. Но если мы сумеем организовать мощное и упорядоченное движение мантии, направленное на её схождение, то в одном полушарии Земли мантия будет подниматься и расходиться, а в другом — сходить и опускаться вниз, вот тогда все материки оттуда разбегутся, а сюда все соберутся.

7. Какие астрономические явления всегда будут для нас «неожиданными» (непредсказанными)?

Жизнь сложна, и предсказывать её сложно как минимум, и невозможно как максимум. Это — общефилософский тезис.

Что можно предсказывать? Точнее, предрасчитывать. Предсказывать и предрасчитывать можно только те явления и те процессы, которые, во-пер-

вых, хорошо изучены. Мы о них имеем правильное представление и знаем точные законы. И второе — что мы умеем их точно рассчитывать (у нас есть необходимые методики расчётов и необходимые вычислительные мощности для их реализации).

Примерами таких астрономических явлений являются орбитальные движения планет. В течение долгих-долгих веков люди верили в астрологию, считали, что там планеты как-то гуляют между звёзд, в какие-то нужные комбинации встают. И как-то на людей действуют — правильным или не очень правильным образом.

Сейчас мы орбитальные движения планет знаем и рассчитываем с точностью лучше сантиметров. И можем попадать своими космическими аппаратами, запускаемыми с Земли, в спутники других планет с точностями в сотни метров. Это как раз пример нормально понятого, адекватно понятого процесса, могущего быть рассчитанным предельно точно — настолько, насколько дают возможность наши измерительные системы. Измерения мы сейчас делаем на Земле — существенно точнее миллиметра, а расстояния до других планет — до нескольких сантиметров. Это — измерительные точности.

А, соответственно, вся теория — с учётом всех-всех поправок: гравитационных, релятивистских и т. п. — тоже к этой точности пришла. И поэтому мы, если захотим (если дадут деньги), попасть в нужную точку всегда сможем.

Что мы не можем предсказывать? Мы не можем предсказывать те явления и события, природу которых мы не понимаем. Если природу не понимаем, то о чём речь — не знаем, так не знаем. . .¹²

Но мы можем понимать природу, но сам процесс может носить случайный характер. Примером является приход метеоров. Метеоры на нас сыпятся постоянно. Это — мощный поток ежедневно. Ночью их иногда можно наблюдать. Они объединяются в потоки. Мы знаем, например, что в августе будет поток Персеид. И далее весь список потоков. Но приход конкретного метеора в конкретное место мы, естественно, предсказать не можем.

Падение крупных метеоритов и астероидов — процесс в общем-то понятный, но предсказывать его невозможно.

Это примерно то же самое, что предсказывать землетрясения. Мы можем зонировать Землю, мы можем сказать, что «это зона сейсмической активности — здесь высокие дома строить, наверное, не надо». Но сказать, что землетрясение произойдёт такого-то числа в такое-то время с такой-то мощностью — этого мы делать не можем.

Активность на Солнце — мы её примерно понимаем, но точно не прогнозируем.

¹²Но и тут мы можем несколько «обхитрить» природу. Так, мы можем не знать и не понимать до конца процессы, происходящие на далёком периодическом пульсаре. Но, заметив его периодичность, мы можем предсказывать очередные периоды входящих от пульсара радиосигналов и надеяться, что его период не сойдёт (что также иногда случается).

Активность нормальных звёзд. Активные фазы эволюции звёзд — взрывы сверхновых, гамма-всплески, взрывные процессы на звёздах. . . Мы представляем себе, о чём идёт речь. Но сказать: «Вот там сейчас взорвётся звезда!» невозможно.

Столкновение спутников на орбите. Казалось бы, мы сами эти спутники наделали и назапускали. Но их столько! А особенно те, которые вышли из эксплуатации. Недавно был первый в истории человечества случай: два спутника взяли и лоб в лоб столкнулись. Не спутник с осколком другого — это много раз уже было — а лобовое столкновение двух спутников с образованием огромного количества мусора. Событие понятное, но не было предсказано.

Критерии проверки.

За хороший, логичный, разумный (с учётом возраста школьника) ответ ставится **5 баллов**.

Дальше нужно посмотреть критерии — если по ним получается больше баллов, то поставить больше.

Если ответ неразумный — также смотреть критерии и поставить столько баллов, сколько получается. (Обычно это будет немного или просто 0. Но иногда может получиться даже больше 5 — эти баллы, таким образом, школьник получит за начитанность и эрудицию).

Разбалловку следует рассматривать исключительно как примерную и применять **творчески**. В частности, если в работе школьника есть разумная мысль, явно в разбалловке не указанная — эту мысль нужно оценить аналогично имеющимся критериям.

Если в работе имеется содержательное утверждение, в котором вы сомневаетесь — по возможности просьба проверить его в интернете.

За неверные, но логически и научно обоснованные предположения можно поставить 1 балл (или даже 2 балла — в случае очень хорошего объяснения).

При подведении итогов в первую очередь учитывается количество заданий, за которые поставлено **5 или более баллов**. (А в младших классах предполагаются более мягкие критерии.)

Максимальное количество баллов за каждый вопрос не ограничено. Впрочем, баллы существенно больше 5 на подведение итогов практически не повлияют. Понятно, что если ответ на вопрос — хороший и содержательный, то деление такого ответа на логические составные части и оценивание их баллами в существенной степени зависит от вкусов проверяющего. Достичь единого стандарта в этом случае невозможно. Тем не менее баллы нужно стараться ставить в разумном соответствии с критериями — с целью информирования школьников об их результатах (школьники будут сопоставлять свои баллы с этими же критериями).

Из предложенных 7 заданий мы рекомендуем выбрать самые интересные и ответить на них (школьникам 8 класса и младше рекомендуется 1–2 задания, школьникам старших классов — 2 или 3). Перечень вопросов в каждом задании можно использовать либо как план единого ответа, либо отвечать на все (или некоторые) вопросы по отдельности.

Ответы нужно снабдить разумным количеством примеров и пояснений по вашему выбору. Перечислять дополнительные примеры не обязательно (за них к оценке правильного ответа добавляются дополнительные баллы).

1. Почему именно 2009 год объявлен ЮНЕСКО Международным Годом Астрономии?

400 лет (1609 год)	1
изобретения (применения) телескопа	1
Галилео Галилеем	1
Линзы и зеркала древности и средневековья, очки	2
Изобретение подзорной трубы Липперсгеем (Нидерланды)	3
Применение подзорной трубы для астрономических открытий	1
Горы на Луне	1
Спутники Юпитера	1
Фазы Венеры	1
Млечный путь на звёзды	1
Пятна на Солнце	1

Юбилеи каких важных событий в истории науки мы отмечаем в этом году?

400 лет публикации книги Кеплера «Новая астрономия», содержащей два из трёх его законов движения планет	2
170 лет Пулковской обсерватории	2
80 лет Московского планетария	2
50 лет начала реализации советской лунной программы: «Луна-1» — пролёт вблизи Луны, «Луна-2» — доставка вымпела, «Луна-3» — первые изображения обратной стороны Луны.	3
40 лет высадки на Луну	2
Другие	1

2. Почему Луна — спутник маленькой Земли, а не огромного Солнца?

Почему одни небесные тела — чьи-то спутники, а другие — «в свободном полёте»? Могут ли спутники «переходить» от одного хозяина к другому? И вообще, если встречаются два тела, то кто вокруг кого «должен» обращаться?

Кто вокруг кого обращается — вопрос выбора системы отсчёта	1
Понятие центра масс системы	1
Понятие о гравитации	1
Закон всемирного тяготения, Ньютон	2
Понятие гравитационного потенциала $U = -GM/R$	1
Зависимость траектории от полной энергии (потенциальной и кинетической): $K + U > 0$ разлёт, $K + U < 0$ замкнутая траектория	1
Ускорение притяжения $a = GM/R^2$	1
Соотношение ускорений Луны от Земли и Солнца	1
Кеплеровы траектории в поле тяготения	2
Задача двух тел: движения вокруг центра масс	1
Системы двойных и кратных звёзд	2
Задача трёх тел — нет аналитического решения в общем случае	3
Приливная сила $a_t = 2GMr/R^3$	3
Отрыв спутника от «хозяина»: $a_t > a$	2
Луна: $a_t < a$ — спутник Земли; «Земля-Луна» — спутник Солнца	1
Траектория Луны вокруг Солнца	1
Передача момента вращения — удаление Луны	1
Движения в поле многих тел (скопления, галактика)	1
Изменение масс двойной системы — эффект пращи	1
Точки либрации (точки Лагранжа)	2
Случаи неточечных и деформируемых тел	1
Слияния галактик	1

3. Что изучает наука гляциология? Почему именно гляциологические исследования во всем мире стали так актуальны в последнее время? (Кстати, немецкое слово «Glatze» означает 'лысина'.)

Природные льды	2
Исторически — глетчеры в Альпах	2
Обоснованное предположение «гляциология — наука о пустынях»	1
Образование ледников	1
Скорость движения ледников	1
Таяние ледников	1
Климатические вариации	1
Гренландия	1
Исследования прежних атмосфер по ледовым кернам	2
Антарктида	1
Морские льды	1
Лёд на других планетах: Марс, Ганимед и др.	2
Лёд на Луне	2

4. В качестве одной из возможных первопричин крушения аэробуса над Атлантикой (А-330 «Эр Франс», 01.06.2009) рассматриваются так называемые «спрайты». Что это за явление и почему спрайты могут быть опасны для полёта самолётов?

Спрайт (англ. Sprite — фея; эльф) — редкий вид грозовых разрядов. Спрайты возникают в нижней части ионосферы Земли — на высотах примерно 50–150 км. Что существенно выше высоты обычных грозовых разрядов, происходящих на высоте не более 15–20 км.

Спрайты — малоизученный объект ввиду редкости, сложности и опасности наблюдения. По этой причине и сам термин «спрайт» (что именно называть спрайтом, а что — нет) пока не является устоявшимся. Первые наблюдения подобных явлений, на которые обратили внимание, относятся к 1989 году.

Вид молнии (грозовой разряд)	2
Типичные параметры молнии	1
Структура грозовых облаков	2
Высота спрайтов, ионосфера	2
Понятие о глобальной электрической цепи Земли	2
Трудность наблюдения спрайтов (зарницы)	1
Молния и самолёты	2
Технические отказы и развитие аварийной ситуации до катастрофы	1
Выводы из катастрофы	1

5. Астрономию 21 века называют всеволновой. Какие волны в распоряжении астрономов уже есть? Каких пока ещё нет? Каких, надо полагать, никогда и не будет?

Электромагнитные — весь спектр	2
Радио, субмм, ИК, вид, УФ, рентген, гамма — перечислены	1
Указаны длины волн (частоты)	2
Указаны приёмники, инструменты или проекты	2
Гравитационные волны — понятие	2
Эффекты ОТО — двойные пульсары	2
Детекторы и поиски гравитационных волн	2
Механические волны — возмущения и движения сред	1
Планетные тела — сейсмические, акустические в жидких и атмосферах	1
Ударные волны — в звёздах, сброс оболочек, звёздный ветер	2
Магнитогидродинамические — корона Солнца, магнитосфера Земли, гелиосфера	2

Волны плотности в спиральных галактиках	1
Нет: звук в космосе — нет среды	1
Нет: сильные, слабые взаимодействия — короткодействующие	1

6. Какие новые океаны могут возникнуть на нашей планете Земля в обозримом будущем? Когда примерно? Какие, наоборот, могут исчезнуть?

Изменения геометрической конфигурации мирового океана, очевидно, могут происходить в результате горизонтальных (движения, смещения) и вертикальных (поднятия/опускания) перемещений элементов земной поверхности. А также в результате поступлений или изъятий объёмов воды в мировом океане, что также приведёт к затоплению либо осушению части земной поверхности.

Также, формально, исчезновением части океана можно считать промерзание этой части до дна.

С современной точки зрения, подтверждённой многочисленными наблюдениями и измерениями, земная поверхность состоит из нескольких литосферных плит. Литосферные плиты являются относительно жёсткими образованиями и перемещаются друг относительно друга. Известны с достаточной точностью направления и скорости взаимного перемещения в настоящее время, а также процессы, происходящие на границах литосферных плит. Это позволяет дать прогноз деформации современного рельефа земной поверхности на некоторое время вперёд.

Однако, имеющиеся в настоящий момент научные данные не позволяют предсказать стабильность дальнейшего поведения земной литосферы, предсказать время и место возможных катастрофических изменений. Поэтому составление точного долгосрочного прогноза невозможно. Мы можем лишь делать отдельные гипотетические предположения. И, соответственно, оценивать их разумность.

Литосферные плиты	1
Геодинамика — понятие	1
Рифт и спрединг	1
Скорости движения плит	1
Пангея, Тетис	2
Расширение Атлантики, Индийского, Южного океанов	1
Сжатие Тихого океана	1
Характерное время 500 млн. лет	1
Байкал	1
Большой Африканский рифт	1
Красное море, Мёртвое море	1

7. Какие астрономические явления всегда будут для нас «неожиданными» (непредсказанными)?

Понятие предсказуемости — расчётные движения небесных тел	2
Малые тела и приближение астероидов — патруль	1
Падение метеороидов, болидов — раннее предупреждение	1
Метеорные потоки, метеорный патруль	1
Землетрясения, цунами — прогнозы, служба оповещения	1
Активность Солнца — патруль (служба Солнца)	1
Активность нормальных звёзд	1
Активные фазы эволюции, взрывы — новые, сверхновые	1
Гамма-всплески	1
Столкновения спутников на орбите — космический мусор	1
Принципиально новые феномены (пульсары, жизнь вне Земли)	1
Невозможность наблюдения и предсказания каких-либо событий за световым горизонтом	1

Примечание. Рассмотренный вопрос ставился с физической точки зрения: о теоретической возможности предсказаний будущих астрономических событий по теоретически доступным данным наблюдений.

Но у вопроса есть и «информационная» составляющая. Современные возможности астрономических наблюдений позволяют наблюдать космическое пространство с такой точностью и детализацией, что количество деталей, которые мы в принципе можем увидеть на всём небе, сравнимо с количеством атомов на Земле.

Практически любой объект Солнечной системы мы вообще можем наблюдать на атомном уровне, посыл туда оборудованный соответствующим образом космический аппарат или даже экспедицию космонавтов.

*Но **одновременно** мы всё это наблюдать не можем. Нам просто не хватит ни места на Земле для размещения всех необходимых приборов, ни материала для их строительства. Да и записать результаты наблюдений тоже будет некуда.*

Увы, реально наблюдать мы можем только крошечную часть доступного для наблюдений космического пространства. Но, правда, что именно и когда наблюдать — мы в основном можем выбирать сами.

Про остальные же астрономические события, увы, никто никогда не узнает. И никогда не предскажет. Так как наблюдения, на основе которых в принципе можно было бы сделать предсказания, тоже не проводились.

Описанная ситуация крайнего информационного насыщения отчасти преодолевается организацией мониторинговых и патрульных наблюдений по заранее выбранным параметрам. И затем уже — прицельными подробными наблюдениями тех объектов, которые нас заинтересовали.

Также в критериях описанная ситуация отчасти соответствует пункту «Принципиально новые феномены».