

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

Из предложенных 7 заданий рекомендуется выбрать самые интересные (1–2 задания для 8 класса и младше, 2–3 для 9–11 классов). Перечень вопросов в каждом задании можно использовать как план единого ответа, а можно отвечать на все (или некоторые) вопросы по отдельности. Ответы снабдите разумным количеством примеров и пояснений по вашему выбору.

1. Как все знают, на небе звёзды светят собственным светом, а планеты — отражённым. Бывает ли так, чтобы звезда — не светила? И наоборот, какое у планет может быть собственное излучение? Чем, собственно, отличаются планеты и звёзды?

В этом вопросе под словом «светит» мы понимаем видимый свет. Светом этот диапазон электромагнитного излучения (длина волны в интервале от 0,4 до 0,7 мкм) мы называем только для своего удобства. Физически этот диапазон ничем не выделяется и не отличается от инфракрасного излучения (длина волны больше) и ультрафиолетового (длина волны меньше).

Человеческий глаз начинает воспринимать как светящиеся предметы, нагретые до температуры примерно 550 °С.

Тепловое электромагнитное излучение испускают все нагретые тела. В частности, наша Земля. В чём легко убедиться, например, с помощью оборудования для ночного видения в инфракрасном диапазоне. Если бы мы могли самостоятельно наблюдать излучение инфракрасного диапазона, то вполне могли бы назвать светящейся и свою планету.

Свойства теплового излучения, как это естественно ожидать по названию, зависят от температуры излучающего тела. Чем больше температура, тем излучение оказывается более интенсивным, и, главное, тем большая часть спектра излучения попадает в видимый диапазон. (Речь идёт о достаточно плотных телах, в частности, как раз о планетах и звёздах.)

Обычные звёзды имеют достаточно высокую температуру поверхности (несколько тысяч градусов), и, соответственно, испускают тепловое электромагнитное излучение во всех диапазонах длин волн, в том числе и в диапазоне видимого света.

Иногда звёздами также называют объекты, которые через какое-то время станут светящимися звёздами, но пока ещё не разогрелись и не достигли высокой температуры. И, соответственно, пока не светятся. Или же у них пока разогрета только внутренняя часть, а до поверхности свет не доходит.

Звезда (бывшая) может иметь слишком большую массу и относительно небольшие размеры, из-за чего испускаемый свет не может преодолеть гравитационное притяжение и вырваться наружу. Такие объекты иногда так и называют — «чёрные дыры».

Может быть и так, что звезда светится, как ей и положено, но что-то мешает её наблюдению. Для нас (земных наблюдателей) это тоже будет выглядеть так, что «звезда не светится». В формулировке вопроса явно не

оговаривалось, нужно или нет рассматривать такие ситуации. Поэтому при оценивании ответов рассмотрение таких случаев оценивается баллами, но не требуется в качестве обязательного.

В дневное время звёзды (кроме Солнца) не видны с поверхности Земли. Конечно, днём звёзды не гаснут и светятся как обычно. Просто яркость солнечной засветки в атмосфере оказывается намного больше яркости звёзд, сами звёзды на таком ярком фоне просто незаметны.

При этом само голубое небо (а точнее, земная атмосфера) светит отражённым и рассеянным солнечным светом. (Кстати, на самом Солнце бывают тёмные пятна — участки поверхности, которые хотя и светятся, но с существенно меньшей интенсивностью, чем остальная солнечная поверхность).

Звёзды также могут исчезать на время из-за того, что они загораживаются Луной или астероидом, или даже просто облаком в атмосфере Земли. Внешне это выглядит так, как будто звезда погасла, а потом зажглась.

Заметим, что даже когда условия наблюдения звёзд на ночном небе с поверхности Земли кажутся идеальными, на самом деле они искажаются земной атмосферой до полной неузнаваемости. И то, что мы видим — это скорее не сами звёзды, а свечения земной атмосферы. (Подробнее об этом см. ответ на вопрос № 7).

Ну и звезда может просто находиться очень далеко от нас — тогда её излучение будет незаметным. Также не очень заметно световое излучение звёзд, находящихся на поздних стадиях эволюции. Эти объекты хотя и горячие, но имеют маленький размер и маленькую излучающую поверхность. Некоторые из них так и называются — карлики.

Тела с холодной (в нашем понимании) поверхностью теплового излучения в видимом диапазоне практически не испускают.

Отметим, что поверхность планеты не обязательно холодная. Так, температура поверхности и атмосферы Венеры может достигать 550 градусов и более. Наблюдая эту планету, мы, кроме отражённого солнечного излучения, видим и её собственное тепловое излучение (правда, это излучение почти полностью попадает в инфракрасный, а не видимый диапазон, что обусловлено плотным и более холодным облачным слоем атмосферы Венеры).

Горячие места могут образовываться и на других планетах. Например, горячая и потому светящаяся вулканическая лава.

Также свечение может быть связано с разогревом падающих на планету метеоритов. А если метеорит достаточно крупный — он может устроить не только сильное свечение в атмосфере, но и мощный взрыв на поверхности планеты, также сопровождающийся световой вспышкой. (Например, вспомним метеорит, упавший в Челябинской области 15 февраля 2013 года: его полёт в атмосфере сопровождался очень ярким свечением.)

Кроме того, на планетах могут быть источники света нетепловой природы. (Нетепловое излучение также есть и у звёзд, но там оно вносит очень незначительный вклад в общую яркость.)

Далее мы не будем рассматривать свечение объектов, созданных человеком, и биологических объектов, считая, что в вопросе речь идёт о наблюдениях с Земли других планет.

В атмосферах планет могут наблюдаться свечения, связанные с тем, что атомы и молекулы по какой-то причине переходят в возбуждённое состояние, а затем возвращаются в основное состояние, излучая лишнюю энергию в виде света. На Земле такие эффекты, связанные с попаданием в атмосферу космических частиц, называются Полярными сияниями. В основном они наблюдаются у полюсов, что обусловлено геометрией магнитного поля Земли (которое влияет на траекторию заряженных частиц). На других планетах могут происходить аналогичные явления, соответствующие строению атмосферы и магнитного поля планеты. (Атмосферные излучения имеют линейчатый спектр, по которому можно определить, какие атомы или молекулы такое излучение испускают — то есть получить информацию о химическом составе атмосферы планеты.)

В атмосферах планет, также, как и на Земле, происходят электрические явления, сверкают грозовые разряды (молнии).

Теоретически, излучение светового диапазона могла бы генерировать магнитосфера планеты. Но реально такие явления именно в видимом диапазоне обнаружены не были, хотя, например, магнитосфера Юпитера является очень мощным источником излучения в диапазоне радиоволн.

Планеты от звёзд в основном отличаются массой. От массы зависит, сожмётся ли вещество под действием сил тяжести настолько сильно для того, чтобы там начали происходить термоядерные реакции, которые и являются источником энергии для звезды. Чтобы стать звездой, космическому объекту достаточно иметь массу примерно в 10 раз меньшую массы нашего Солнца. Объекты меньшей массы так и останутся относительно холодными и будут называться планетами.

Конечно, между планетами и звёздами бывают и другие отличия (впрочем, обусловленные первоначальным различием масс). Например, Земля и Солнце различаются по химическому составу и, разумеется, по температуре и размерам.

---

**2.** Линия тропика в северном полушарии Земли (параллель  $23,5^\circ$  северной широты) исторически называется тропиком Рака, а в южном — тропиком Козерога. Когда и почему установили такие названия? Быть может, по тем животным, которые на этих широтах водятся? Насколько правильны эти названия сейчас, в 21 веке?

Названия тропика Рака и тропика Козерога не имеют никакого отношения к животным, которые водятся в этих широтах.

Эти названия связаны с названиями созвездий Рака и Козерога. Созвездия получили такие названия в глубокой древности (предположительно более 2 тысяч лет назад) в связи со сходством их очертаний и внешнего вида живых существ — реальных или мифических.

Взаимное расположение звёзд на небе человечеству было известно, опять же, с глубокой древности. Для получения таких знаний вполне достаточно

жить в одном месте, ежедневно в течении года наблюдать ночное небо и сопоставить результаты наблюдений между собой. Такие наблюдения имели важное практическое значение — они позволяли вести календарь, ориентироваться по сторонам света, определять свою географическую широту. Также, несомненно, кроме практических целей эти наблюдения были связаны и с мифологией. Всё это способствовало созданию достаточно хорошо продуманных систем ориентирования на звёздном небе. Системы координат, как мы бы сейчас сказали. И все такие системы координат по сути были сферическими — позволяли ориентироваться из точки наблюдения по всем возможным направлениям пространства.

Отдельный интерес представляло расположение на звёздном небе Солнца. Точнее, само Солнце одновременно со звёздами обычно не наблюдается, но можно мысленно представить (вычислить) место, где оно находится, если бы звёзды были видны. Или, что тоже самое, какой участок звёздного неба в данный сезон года не виден из-за того, что засвечивается для наблюдателя на Земле Солнцем. Именно так и определяются сезоны солнечного календаря. (Скорей всего люди смотрели на созвездия после захода Солнца и до его восхода и примерно прикидывали его положение. Потом скорей всего заметили, что полная Луна на небе находится против Солнца и тогда повысили точность определения положения Солнца.)

Солнце может располагаться на звёздном небе не в произвольном месте, а только в определённой полосе. Условные линии, ограничивающие это полосу, назывались тропиками. (Тропик — поворотный круг по древнегречески.) Солнце во время своего сезонного путешествия по звёздному небу перемещается между этими линиями тропиков. Дойдя до такой линии, оно разворачивается и начинает движение в обратном направлении.

Примерно 2 тысячи лет назад в период самых длинных дней в году (в Северном полушарии) Солнце находилось на линии тропика и засвечивало собой созвездие Рака (или, как говорят, находилось в этом созвездии). Поэтому линия и получила название тропика Рака. А в сезон самых коротких световых дней Северного полушария Солнце находилось на другой линии тропика и засвечивало собой созвездие Козерога. В связи с чем возникло название тропика Козерога.

Много позднее, в эпоху Великих географических открытий (в 15–17 веках) выяснилось, что наша Земля имеет шарообразную форму. И оказалось, что для ориентирования на поверхности сферической Земли удобно использовать те же методы (те же системы координат, как бы мы сейчас сказали), что и на звёздном небе. Например, наносить на карты Земли и звёздного неба условные параллели и меридианы. Так, некоторые объекты, раньше использовавшиеся для ориентирования среди звёзд, стали использоваться на Земле. В том числе и условные линии тропиков.

Земными тропиками стали называть географические параллели, прямо над которыми (то есть если смотреть в небо вертикально вверх) находятся линии тропиков на небе. Солнце в дни солнцестояний при наблюдении с линий земных тропиков в полдень будет располагаться в зените: в декабре — для южного тропика, а в июне — для северного тропика.

Полуденная высота Солнца над горизонтом и длина светового дня (эти величины связаны между собой — чем больше одна, тем больше и другая) существенно влияют на климат в данной местности. Чем длиннее световой день, тем больше успевает прогреться поверхность Земли в данном месте. Чем более отвесно падают солнечные лучи на поверхность Земли, тем больше солнечной энергии попадает за одинаковое время на одинаковую площадь поверхности. Именно этим обстоятельством определяется жаркий тропический климат (в местности, где световой день всегда достаточно длинный) и смена времён года в умеренных широтах (где — попеременно в Северном и Южном полушарии — длина светового дня увеличивается в летний период и уменьшается в зимний).

Линии тропиков (параллели 23,5° северной широты и 23,5° южной широты) ограничивают тропическую область Земли — область, которую Солнце может освещать перпендикулярно земной поверхности. Географическая широта тропиков равна углу между осью суточного вращения Земли и перпендикуляром к плоскости орбиты Земли вокруг Солнца 23,5°.

Тропические созвездия — то есть созвездия, в которых солнце находится в момент достижения небесного тропика (или, что то же самое, когда в соответствующем полушарии Земли везде, кроме тропической зоны, максимальна продолжительность светового дня) — определяются тем, в какую именно сторону (ориентируясь относительно звёзд) ось вращения Земли наклонена.

Ориентация в пространстве оси суточного вращения Земли меняется очень медленно. В результате астрономические события, связанные с перемещением по небу Солнца, повторяются по сезонам из года в год. Разница между двумя соседними годами (и даже на протяжении десятилетий и столетий) практически незаметна. Именно на этой повторяемости основан солнечный календарь и связанные с ним понятия (в том числе и тропики).

(Кто-то может написать непосредственное название явления — «прецессия». Полный круг земная ось делает за примерно 26000 лет.)

Однако для более длинных промежутков времени — тысяча лет и более — разница оказывается существенной. В современную нам эпоху Солнце, достигая на небе тропика Рака (на Земле в этот день наблюдается максимальная продолжительность светового дня для данной в Северном полушарии на тропике Рака и севернее) уже не находится в созвездии Рака. Аналогично, тропик Козерога сейчас уже никак не связан с созвездием Козерога. Но названия тропиков с древних времён остались совпадающими с названиями этих созвездий.

С помощью математических вычислений можно установить, когда эти (ныне «устаревшие») названия были «правильными». Получается, что было примерно 2 тысячи лет назад.

**3.** Как будет изменяться вес пакета молока (1000 г), если опускаться с ним к центру Земли? Как будет изменяться его вес, если отправиться с ним в космос (например, на МКС), на Луну, на другие планеты, за пределы Солнечной системы, за пределы Галактики?

Уточним, что весом нашего пакета молока в каком-то месте мы будем называть силу, которую нужно приложить к пакету, чтобы удержать его в этом месте.

На поверхности Земли вес равен  $mg$ , где  $m$  — масса пакетика, а  $g$  — ускорение свободного падения (на поверхности Земли равно примерно  $9,81 \text{ м/с}^2$ , в разных местах поверхности Земли может немного отличаться).

В центре Земли ввиду симметрии вес будет равен 0 (нет выделенного направления, в котором могла бы действовать сила).

При перемещении пакета молока от поверхности до центра Земли вес уменьшается до нуля. Однако в процессе этого перемещения есть участок, где вес, наоборот, возрастает. Это происходит из-за приближения к массивному ядру Земли, плотность которого в несколько раз больше плотности земной коры. Максимум находится на глубине около 2,5 тысяч километров. Там вес примерно на 10% больше, чем на поверхности. (Разумеется, это установлено расчётным путём, а не экспериментально).

На МКС вес пакета молока будет равен нулю — пакет будет висеть в невесомости в пределах МКС, для его удержания в этом положении прикладывать дополнительных сил не требуется.

На поверхности Луны вес предметов примерно в 6 раз меньше, чем на поверхности Земли.

Вес нашего пакетика молока на поверхности других планет зависит от массы и радиуса планеты. Вес можно посчитать по формуле

$$P = G \frac{mM}{R^2},$$

где

$m$  — масса пакета молока (1 кг)

$M$  — масса планеты

$R$  — радиус планеты

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$  — гравитационная постоянная.

Интересно, что более точное значение гравитационной постоянной в настоящее время неизвестно из-за сложности экспериментальных измерений. За последние несколько лет рекомендуемое для использования в расчётах значение гравитационной постоянной несколько раз уточнялось, при этом цифры «6,67» оставались такими же, а следующая цифра уже менялась. Разумеется, речь идёт именно о точности эксперимента, а не об изменении самой величины  $G$  со временем.

За пределами Солнечной системы и нашей Галактики ничего принципиально другого не наблюдается. Скорее всего законы природы там точно такие же, как и на Земле, и вес определяется точно также.

**4.** Бывают минералы, которые занимают заметно больший объём, чем образовавшие их вещества, из-за чего такие минералы раздвигают в стороны окружающие породы. Приведите хотя бы 2 примера таких минералов и опишите их (почему они ведут себя таким образом, почему представляют интерес, как их можно обнаружить).

Самый известный пример — вода и лёд. Вода, замерзая и превращаясь в лёд, увеличивает занимаемый объём примерно на 9%. Происходит это из-за того, что в кристаллической структуре льда молекулы воды располагаются менее компактно, чем они могут это сделать в жидкой воде. (Впрочем, у льда существуют и кристаллические модификации, плотность которых больше плотности воды — они образуются под большим давлением.)

Обнаружение льда никаких сложностей не представляет. Важность воды для жизни и хозяйственной деятельности человека также очевидна.

Другие вещества, у которых объём в твёрдом состоянии больше, чем в жидком, также встречаются, но относительно редко.

Метамикты — радиоактивные минералы, первоначальное кристаллическое упорядочение структуры которых нарушается в процессе радиоактивного распада отдельных атомов и появления на их месте других атомов. А неупорядоченная структура занимает больше места, чем упорядоченная.

Внешний признак для обнаружения таких минералов в горных породах — от места расположения такого включения по породе во все стороны распространяются трещины.

Так как метамикты содержат радиоактивные элементы, их можно обнаружить по радиоактивному излучению с помощью приборов, регистрирующих такое излучение. При нагревании метамиктные минералы уменьшаются в объёме вплоть до своего естественного (неувеличенного) объёма за счёт восстановления (полного или частичного) исходной кристаллической структуры. По этому признаку их также можно идентифицировать. Это же объясняет и причину заметного разрушения окружающих горных пород — увеличение объёма произошло уже после застывания и охлаждения пород и утраты пластичности.

Метамикты интересны как источники радиоактивных элементов (прежде всего урана) и как маркеры для обнаружения месторождений радиоактивных элементов.

Один из самых распространённых на земле минералов — кварц ( $\text{SiO}_2$ ) имеет несколько кристаллических модификаций. Переход из одной модификации в другую происходит с повышением температуры и сопровождается скачкообразным увеличением объёма. В процессе нагревания при достижении температуры  $573^\circ\text{C}$  объём увеличивается на 0,8%, затем при достижении температуры  $870^\circ\text{C}$  происходит увеличение объёма на 12,7%. Подобным образом ведут себя и многие другие минералы.

Породы с высоким содержанием кварца будут механически разрушаться при нагревании или охлаждении при прохождении через указанные температуры ( $573^\circ\text{C}$  и  $870^\circ\text{C}$ ). Такое нагревание и охлаждение может происходить как по естественным причинам, так и создаваться искусственно (например, с помощью электронагревателя). На этом основан способ термобурения, когда при прохождении скважины породы разрушаются не буром, а многократным нагреванием и охлаждением вблизи подходящей температуры.

В качестве ещё одного важного примера можно привести минерал

эттрингит. Химическая формула  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ . Этот минерал встречается в природе и даже считается полудрагоценным (возможно, потому, что большие по размеру экземпляры встречаются редко).

Этот же минерал, образуясь при застывании цемента, обеспечивает увеличение объёма застывающего цемента. Такой цемент делают специально — он подходит для герметизации швов и стыков в тоннелях и подобных сооружениях. Расширяясь и создавая высокое давление, цемент проникает во все щели и пустоты, застывает там и делает невозможным протекание там воды.

Образование эттрингита в уже готовых цементных конструкциях, наоборот, может привести к их разрушению, что является серьёзной проблемой.

Можно привести и различные другие примеры. Тем более, что в вопросе хотя и есть слова «заметно бóльший объём», но конкретного нижнего предела изменения объёма не указано. А то или иное изменение объёма вещества происходит практически при любом физическом или химическом процессе.

---

**5.** В 1973 году произошло извержение вулкана на острове Хэймаэй (Исландия), которое известно тем, что идущую на город лаву останавливали морской водой, качая её насосами из океана. Как именно вода останавливала лаву? Какие другие крупные извержения вулканов вы знаете? Использовались ли во время этих извержений какие-либо способы защиты населения?

Возможности людей по управлению текущим потоком лавы сильно ограничены. Такой поток бесполезно полностью заливать водой. Потоки лавы могут течь по дну водоёма под толщей воды. При этом снаружи потока от охлаждения водой образуется плотная корка, внутри которой продолжает течь жидкая лава. Просто поливая водой поток лавы, остановить его скорее всего не получится (по крайней мере сделать это быстро).

А это — как раз самое важное. Заливание чего-либо лавой — действие практически необратимое (в отличие, например, от наводнения, когда затопленное пространство возможно осушить).

Но можно попытаться управлять направлением потока лавы, направив его по пути, где ничего ценного нет (если есть такая возможность) или же пожертвовав чем-то менее ценными, сохраняя более ценное и полезное.

Ввиду технической сложности и опасности такого мероприятия этим обычно либо не занимаются, либо такие попытки оказываются неудачными.

Во время извержения вулкана Хельгафедль на острове Хэймаэй в 1973 году проводились масштабные работы по охлаждению лавы водой с участием большого количества людей и техники.

Это извержение и связанные с ним события приобрели большую известность, чему способствовало сразу несколько обстоятельств — уникальность и неожиданность самого природного явления (вулкан считался давно потухшим), энтузиазм населения и масштабность работ по борьбе с лавой, большой причинённый ущерб и даже специальные дополнительные налоги, временно введённые в Исландии для покрытия расходов по ликвидации последствий извержения.

Поливание водой, безусловно, в определённой степени повлияло на траекторию потоков лавы. Эффективнее всего было поливать переднюю часть потоков лавы. Тогда из охлаждённой водой и затвердевшей лавы получается своеобразная запруда, и последующие порции лавы находят себе дорогу вниз по склону в другом месте. Постоянно охлаждая поток лавы с одной стороны, его траекторию можно сдвинуть в противоположную сторону на заметное расстояние.

Такой результат расценивался местными жителями как определённый успех, хотя значительного ущерба всё равно избежать не удалось.

Крупными можно считать извержения вулканов, существенно повлиявшие на рельеф земной поверхности за счёт излияния большого объёма лавы и выброса большого объёма пепла (они как раз и известны по оставшимся геологическим образованиям из застывшей лавы и прослоям вулканического пепла, осевшего из атмосферы), заметно повлиявшие на климат Земли за счёт выбросов в атмосферу большого количества пепла и газов («вулканическая зима») или причинившие заметный ущерб людям (сильным взрывом, выбросами лавы, пепла, газов, твёрдых фрагментов и т. п.).

Классический пример — погребённый под слоем вулканического пепла в результате извержения Везувия 24 августа 79 года древнеримский город Помпеи.

Крупнейшим за последние 5 тысяч лет считается извержение вулкана Таупо в Новой Зеландии около 180 года н. э. Это извержение не причинило непосредственного ущерба людям (Новая Зеландия в это время скорее всего просто не была населена).

Последнее по времени крупное извержение — извержение вулкана Пинатубо на Филиппинских островах в июне 1991 года.

Вулканическая активность наблюдается на значительных по площади территориях Земли, в том числе густонаселённых. Совсем отказываться от проживания на таких территориях явно нецелесообразно.

Самый эффективный способ защиты населения от извержений вулканов — своевременная эвакуация. Для этого необходимо изучение процессов вулканической деятельности, их постоянный мониторинг и своевременное принятие решений об эвакуации в случае необходимости. Для любой возможной эвакуации, естественно, необходимо заранее подготовить место переселения, пути следования к этому месту, продумать организацию жизнеобеспечения на новом месте (снабжение продовольствием, медицинское обслуживание и т. п.; неорганизованная эвакуация может принести больше вреда, чем само извержение вулкана).

Извержение вулкана может сопровождаться мощными взрывами, от которых трудно придумать какой-либо другой способ защиты, чем эвакуация. То же относится к выбросам газов, непригодных для дыхания, и выбросам вулканического пепла, который может всё засыпать (как это произошло в Помпеях).

Лавовый поток, обладая большой массой и плотностью, как правило, сминает и срывает все находящиеся на своём пути препятствия — строения,

земляные возвышенности естественного и искусственного происхождения. Защищаться от такого потока с помощью дамб, земляных валов и тому подобных сооружений практически бесполезно. Существенно повлиять на движение потока лавы могут только оказавшиеся на пути скальные породы.

Один из немногих случаев успешного управления лавовым потоком — извержение вулкана Этна, расположенного на восточном побережье Сицилии, в 1983 году. В этом случае лавовый поток вышел на отрог и мог повернуть как в одну, так и в другую сторону. Причём один из вариантов был куда менее благоприятным с точки зрения возможного ущерба, чем другой.

Здесь была выполнена достаточно сложная техническая работа, суть которой заключалась в рытье от имеющегося лавового потока нового русла в нужном направлении и в последующем разрушении с помощью взрывов твёрдой стенки лавового потока, что позволило лаве вытечь в новое искусственное русло, и поток был перенаправлен на другую сторону отрога.

Процессы, подобные вулканической деятельности на Земле, наблюдаются и на других космических телах. Самые характерные пример — гора (вулкан) Олимп на Марсе и вулканическая деятельность на Ио (спутнике Юпитера).

---

**6.** Везде ли на Земле (и всегда ли) можно пользоваться компасом для ориентирования по сторонам горизонта? А на других планетах?

В настоящее время Земля имеет магнитное поле такой конфигурации, что она похожа на двухполюсный магнетик, магнитные полюса которого расположены вблизи географических полюсов Земли. Магнитные линии такого магнитного поля идут от одного магнитного полюса к другому. Поэтому, узнав направление магнитного поля в данном месте поверхности Земли, можно с той или иной точностью узнать направление на магнитный полюс. А заодно и направление на географический полюс, расположенный рядом с ним.

Такой способ ориентирования хорошо работает в средних широтах. А в полярных областях вблизи магнитных полюсов ориентирование по магнитному полю становится всё менее точным, а в определённых районах и бесполезным — там, где магнитные линии перпендикулярны земной поверхности. Также, чем ближе мы располагаемся к географическому и магнитному полюсам, тем больше различаются направления на них. А для наблюдателя, располагающегося между географическим и магнитным полюсами, эти направления будут противоположными (то есть северный конец стрелки компаса там будет показывать на юг).

В разных местах Земли встречаются магнитные аномалии. Это места залегания больших массивов намагниченных геологических пород (в частности, железных руд). Так, в районе Курской магнитной аномалии магнитное поле залегающих там пород в несколько раз превышает глобальное магнитное поле Земли. Магнитное поле этих пород может перевесить глобальное магнитное поле Земли, в результате направление результирующего поля может быть любым. То есть северный конец стрелки компаса в различных местах на территории Курской магнитной аномалии может показывать

не только на север, а в вообще в любом направлении. Ориентирование по сторона света с помощью компаса оказывается невозможным. Эта аномалия — далеко не единственная, на Земле есть много других подобных мест.

Кроме того, с развитием промышленности на появилось много искусственных объектов, искажающих естественное магнитное поле Земли — прежде всего это массивные конструкции из магнитных материалов (железа, стали), а также линии электропередач постоянного тока.

Способность магнитного поля Земли ориентировать в определённом направлении намагниченные предметы (например, поплавков с магнитной стрелкой) известны с глубокой древности. Первые дошедшие до нас упоминания прототипов современного компаса относятся к Китаю и датируются концом первого тысячелетия нашей эры. Первые упоминания об использовании компаса в Европе относятся к 12 веку.

Путешественники, ориентируясь с помощью компаса (прежде всего в открытом океане и в пустынях, где нет других ориентиров) и маршруты, которые ими были таким образом пройдены, фактически составили и зафиксировали подробную историю магнитного поля Земли за несколько предыдущих столетий (по понятным причинам не сохранилась информация об интенсивности магнитного поля, которая для ориентирования была не нужна).

Как мы теперь знаем, с течением времени направление магнитного поля Земли в каждой точке меняется достаточно существенно. Например, в Лондоне с 1580 по 1820 год направление стрелки компаса поменялось на 35 градусов. А в современную эпоху скорость изменения положения магнитных полюсов Земли составляет более 60 км в год. То есть по компасу можно сходить в поход на 1 день и затем вернуться, ориентируясь по тому же компасу в обратном направлении. То же самое можно сделать через несколько дней и даже через месяц. А вот если мы попробуем повторить по архивным записям путешествие 100-летней давности, точно повторяя все элементы ориентирования по компасу, то в итоге попадём уже совершенно не туда, где путешественник побывал 100 лет назад.

Что же касается более крупных промежутков времени, соответствующих геологической истории Земли, то оказывается, что магнитное поле Земли много раз меняло своё направление на противоположное. То есть северный и южный магнитный полюса менялись местами. В те моменты, когда это происходило, магнитное поле Земли, как предполагается, было совсем слабым. Историю смены направлений магнитного поля земли можно проследить по постоянно изливающимся и застывающим магматическим породам. Каждый слой, застывая, сохраняет то направление намагниченности, которое было в этом месте в момент застывания. В результате получаются слои пород, имеющих намагниченность в противоположных направлениях. Последняя перемена направления магнитного поля Земли происходила примерно 700 тысяч лет назад.

Точная причина возникновения магнитного поля Земли неизвестна. Одно из предположений — гипотеза так называемого магнитного динамо, предполагающая создания магнитного поля в результате течений ядре

Земли жидкой составляющей, проводящей электрический ток. Для создания нужных условий также требуется достаточно быстрое вращение Земли вокруг своей оси.

У Венеры никакого достаточно сильного магнитного поля нет, что можно объяснить отсутствием быстрого суточного вращения (хотя у этой планеты есть необходимое для эффекта магнитного динамо жидкое ядро).

У Марса, наоборот, есть быстрое вращение, но нет жидкого ядра. Соответственно, также нет сколько-нибудь значительного магнитного поля.

Нет подходящих условий и, соответственно, нет существенного магнитного поля у Меркурия, Луны и более мелких космических тел — ледяных планет, астероидов и т. п.

Нептун имеет достаточно сильное магнитное поле, которое, однако, совершенно непригодно для ориентирования с помощью компаса. Магнитная ось наклонена примерно на 47 градусов к оси вращения и проходит на большом расстоянии от центра планеты. Вращение Нептуна с периодом около 16 часов приводит к периодическим изменениям структуры магнитосферы. У магнитного поля Нептуна есть и много других интересных особенностей. Но из сказанного уже понятно, что с компасом на такой планете делать совершенно нечего.

На Уране дело обстоит аналогично — магнитное поле есть, и структура его похожа на то, что имеется на Нептуне. От магнитного компаса на Уране также нет практически никакой пользы.

---

## 7. Из чего состоят звёзды, которые вы видите на небе?

Прежде всего отметим, что с поверхности Земли в буквальном смысле слова можно наблюдать (видеть) только одну звезду — наше Солнце.

Видимость других звёзд (а в вопросе речь идёт про видимые на небе звёзды) несколько условна, что требует дополнительных пояснений.

Невооружённым глазом мы видим звёзды в виде светящихся точек.

При попытке рассмотреть их в телескоп, находящийся на поверхности Земли, мы увидим так называемые диски дрожания. То есть «дрожащие» (постоянно меняющие яркость) круглые пятна, сформированные из света звезды неоднородностями земной атмосферы. Размер диска дрожания существенно больше, чем ожидаемый размер изображения звезды, и практически никакой информации о внешнем виде звезды диск дрожания не содержит. Поэтому видимые звёзды на ночном небе — это скорее атмосферные оптические явления, чем собственно сами звёзды. (Ситуацию можно сравнить с тем, как в сильном тумане мы видим свечение фонаря, а сам фонарь — не видим).

При этом из космоса (из-за пределов земной атмосферы) звёзды наблюдать можно. Для некоторых относительно близких и удобных для наблюдения звёзд уже удалось составить карты поверхности (аналогичные тем, что уже давно составлялись для поверхности Солнца).

(Изображения дисков звёзд можно получить и с помощью наземных телескопов интерферометров (Very Large Telescope Interferometer — VLTI), но эти изображения практически ничего не говорят о составе звёзд.)

Видимые (светящиеся в оптическом диапазоне) звёзды в основном состоят из водорода и гелия с небольшими примесями (обычно не более нескольких процентов) других химических элементов. Точнее, в центральной части звезды, где температура достигает миллионов градусов, вещество существует в виде плазмы, в которой ядра химических элементов не связаны с электронами. В поверхностных слоях звезды (излучение которых мы и видим) также имеются атомы с полностью или частично заполненными электронными оболочками.

Электронные переходы в этих оболочках создают спектральные линии излучения, по которым мы и можем судить о химическом составе звёзд. Но основное излучение звёзд — непрерывный спектр теплового излучения (по этому спектру можно определить температуру каждой звезды).

Нагреваются звёзды за счёт термоядерных реакций — то есть слияний и распадов атомных ядер, проходящих с выделением энергии. Реакции происходят по последовательным циклам — цепочкам превращений. В этих реакциях в основном расходуется водород и образуется гелий, а остальные элементы превращаются друг в друга циклически.

Один из таких циклов (он называется протон-протонным) состоит в последовательном образовании дейтерия (из двух ядер атомов водорода — протонов), трития (из ядра дейтерия и протона), с последующим образованием из двух ядер трития ядра гелия и снова двух протонов. В некоторых названных реакциях также образуются позитроны и нейтрино (которые, можно сказать, тем самым тоже входят в состав звезды).

Для протон-протонного цикла нужны только протоны (ядра атома водорода). В звёздах также могут протекать ядерные реакции, в которых, циклически превращаясь друг в друга, участвуют азот, кислород и углерод. При этом расходуются протоны и образуются (далее не участвующие в цикле) ядра гелия.

В звёздах могут протекать и другие ядерные реакции, которые не играют существенной роли в выделении энергии и разогревании звёздного вещества, но служат источником самых разных химических элементов в звёздном веществе.

Мы не будем подробно описывать циклы ядерных реакций в звёздах (приводить их схемы и уравнения), так как такую информацию легко найти в интернете. Отметим только, что поскольку синтез элементов идёт последовательно из лёгких элементов (начиная с водорода), в звёздах преобладают более лёгкие элементы (синтезированные по цепочке первыми). Таким образом в звёздах образуются элементы в основном до железа включительно, так как синтез более тяжёлых элементов идёт уже не с выделением, а с поглощением энергии.

Отдельно нужно отметить взрывы сверхновых звёзд. Такие события в нашей Галактике наблюдаются с Земли невооружённым глазом (правда, последний раз такие события наблюдались достаточно давно — в 1572 и 1604 годах), а в других галактиках их можно наблюдать достаточно часто (с помощью телескопа и других технических средств). Во время такого взрыва у звезды существенно меняется (увеличивается) температура, изме-

няются условия протекания циклов ядерных реакций, и, как следствие, меняется химический состав.

Частично остаточные вещества от других звёзд (в том числе и взрывов сверхновых) могут принимать участие в образовании новых звёзд. И поэтому в уже образовавшихся звёздах могут содержаться тяжёлые элементы.

В принципе, к видимым звёздам можно добавить и звёзды, видимые в телескоп. К таким звёздам можно отнести ещё белые карлики (они могут практически полностью состоять из гелия, углерода, других тяжёлых элементов, в зависимости от массы), нейтронные звезды (в большей степени состоят из нейтронов). Например, белый карлик в центре туманности Кольцо (M57) имеет яркость 15m, нейтронная звезда (пульсар) в центре крабовидной туманности (M1) имеет яркость 16.5m, и теоретически их можно увидеть в 8-метровый телескоп.

---