

Задача 1.

Всем известно, что планета Сатурн обладает достаточно крупной и яркой системой колец, хорошо видимой даже в небольшой телескоп. Но в 2009 и 2024 и каждые 14–15 лет кольца Сатурна не видны, но они никуда не исчезают. По своей сути кольца — это небольшие частички льда и пыли, вращающиеся вокруг планеты. В силу быстрого вращения кольца сильно сплюсциваются и имеют небольшую толщину — порядка километра. Также важно, что кольца планет всегда располагаются точно в плоскости экватора. Это вызвано тем, что планеты имеют не идеально сферическую, а слегка сплюснутую к полюсам форму (из-за вращения вокруг своей оси), что делает гравитационно стабильной лишь экваториальную орбиту колец.

Ось вращения Сатурна наклонена к плоскости его обращения вокруг Солнца под углом $26,73^\circ$, а для наблюдателя на Земле почти такой же угол наклона к эклиптике. Из-за этого плоскость экватора будет иметь различный наклон к наблюдателю на Земле в разных положениях Сатурна на орбите. Когда плоскость экватора планеты (колец) совпадает с плоскостью эклиптики, они повернуты к нам ребром, а ни в один современный телескоп не различить настолько удаленный тонкий объект. Такое положение осуществляется в двух точках на орбите планеты. Год Сатурна — это как раз 29.46 лет, а 14–15 лет — половина от этого периода.

Наклон орбит Земли и Сатурна приблизительно одинаковый (разница всего в 2° градуса), и потому исчезновение колец не зависит от положения Земли на орбите. А астрономическое явление, когда центр Солнца в своём видимом движении по эклиптике пересекает небесный экватор, называется равноденствием. Именно это произойдет в 2024 году на Сатурне.

Первым это явление, как и сами кольца, наблюдал, скорее всего, Галилео Галилей в 1610 году, однако из-за низкого качества оптики он видел не кольца, а лишь «придатки» по обе стороны Сатурна. А в 1612 году кольца были расположены ребром, поэтому они стали незаметны при наблюдении в телескоп, что озадачило Галилея. А уже в 1655 году Христиан Гюйгенс, используя более совершенный, чем у Галилея, телескоп, первым увидел кольца Сатурна и объяснил их «исчезновение».

Если ось вращения планеты перпендикулярна орбите, то плоскость экватора всегда будет совпадать с эклиптикой, а значит, у таких планет с Земли никогда не будет видно колец (а на них не будет смен времен года). Такими планетами являются Меркурий, Венера и Юпитер. У Юпитера, как и у всех планет-гигантов, есть кольца. Кстати, у Юпитера достаточно большая система колец, и её можно было бы разглядеть в хороший телескоп, не будь она обращена к нам всегда ребром. Кольца Урана и Нептуна (в особенности Урана) обращены к Земле плашмя, но они слишком тонкие, и даже в таком положении их очень трудно разглядеть (ширина самого яркого кольца около 100 км).

В конечном итоге кольца Сатурна не являются гравитационно устойчивыми и действительно могут исчезнуть, разлетевшись от планеты. Но также у Сатурна есть несколько так называемых спутников-пастухов, которые своим притяжением ограничивают крайние частицы и не дают им вылететь за пределы колец.

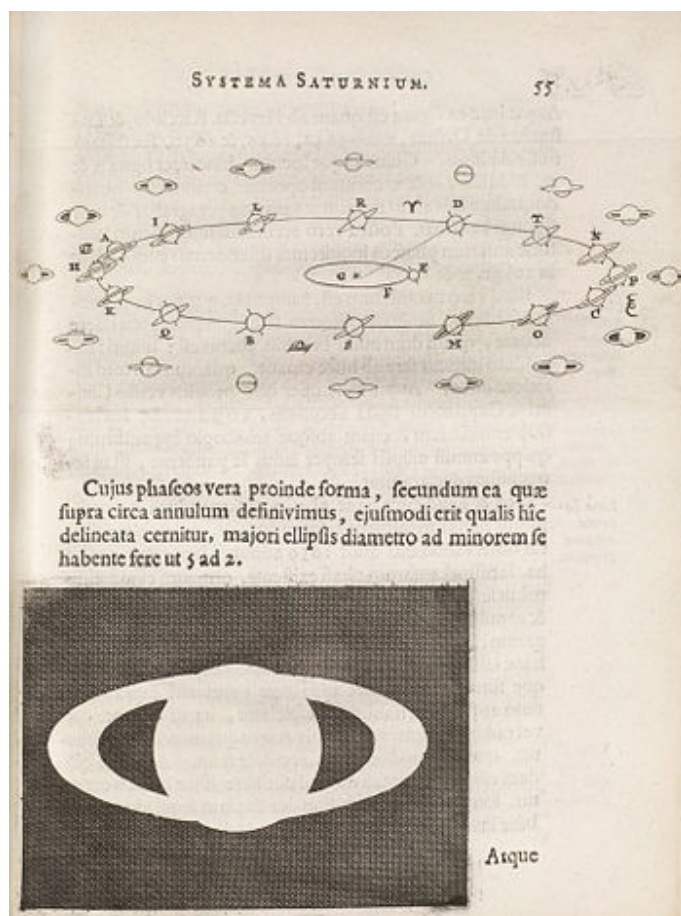


Рис. 1: Страница из книги Х.Гюйгенса 1659 года. На верхнем рисунке показаны изменения вида Сатурна и его колец с Земли на протяжении года на Сатурне.

Задача 2.

8 сентября 2016 года была запущена межпланетная станция *OSIRIS-REx*. Аппарат предназначен для исследования астероида *1999 RQ36 (Бенну)*. В рамках изучения химического состава астероида планируется взятие проб с поверхности. Чаще всего этот процесс осуществляется при посадке зонда или всей станции. Посадка на космическое тело — одна из сложнейших и самых дорогостоящих задач в астронавтике. Но с астероида можно взять пробы без посадки. Для этого аппарату нужно приблизиться к астероиду на небольшое расстояние, и чтобы скорость относительно астероида была небольшой. Для осуществления подобного маневра космическое тело должно обладать небольшой массой, чтобы двигатель без больших затрат энергии мог корректировать положение аппарата. По той же причине должна быть небольшая первая космическая скорость. Также не должно быть сильных гравитационных возмущений, то есть астероид должен быть относительно однороден, и не должно быть атмосферы, чтобы из-за трения аппарат не изменял скорость. Перед взятием грунта аппарат выйдет на низкую орбиту высотой всего 4,8 километра над поверхностью астероида и 505 дней будет осуществлять картографирование его поверхности. В дальнейшем результаты картографирования будут использованы для выбора места отбора проб вещества астероида.

Взятие проб будет осуществляться без посадки системой *TAGSAM*. Она состоит из, собственно, блока забора проб и раскладного манипулятора длиной 3,35 м, который позволит установить пробоотборник на поверхность астероида, не осуществляя посадку всего аппарата. Раскладной манипулятор представляет собой сочлененный шарнирный позиционирующий рычаг. Для облегчения процесса сбора проб грунт будет переноситься в ловушку при помощи сжатого азота, запас которого находится на спутнике. Газ поднимет небольшое облако пыли с поверхности и направит к стенкам ловушки, где образцы осядут. При таком механизме пробоотборника грунт должен быть рыхлым или мелкозернистым. Собранный грунт будет помещен в возвращаемую капсулу, которая будет отправлена на Землю.

Данный астероид был выбран не только благодаря его небольшому размеру. В процессе изучения аппарат *OSIRIS-REx* проведет исследование орбиты для ее уточнения. На данный момент существует ненулевая вероятность столкновения астероида с Землей. Астероид Бенну относится к довольно редкому спектральному классу В. Класс В соответствует углеродным астероидам, содержащим безводные силикаты, гидратированные глинистые минералы, магнетиты и сульфиды, а именно эти вещества представляют собой исходный материал, из которого формировалась Солнечная система.

Данная миссия не является первой, в которой вещество космического тела забиралось без посадки. Похожий механизм использовался аппаратом Хаябуса при изучении астероида (25143) Итокава. Также существуют и другие механизмы взятия проб грунта.

В результате ударного воздействия может образоваться облако, пролетев сквозь которое можно собрать частицы вещества небесного тела. Аппарат может выстрелить в поверхность уже отработавшим блоком или специальной болванкой, которые при ударе смогут поднять пыль с поверхности. Так поступили в миссии *Deep Impact* с кометой Темпеля 1 и в миссии *LCROSS* в рамках проекта поиска водяного льда на Луне. Особый случай — кометы. При пролете недалеко от Солнца вещество испаряется и образуется «хвост». Аппарату достаточно пролететь сквозь этот хвост. Так поступили, например, в миссии *Stardust* при исследовании кометы *81P/Вильда*. Кстати, прототип возвращаемой капсулы *OSIRIS-REx* как раз была взята с капсулы *Stardust*.

Задача 3.

Японская обсерватория Super Kamiokande — нейтринный детектор. С её помощью регистрируются элементарные частицы. Основная задача — изучение и регистрация элементарной частицы нейтрино. Нейтрино — фундаментальная нейтральная частица, участвующая только в слабом и гравитационном взаимодействии, относится к классу лептонов. Эта частица образуется в ходе термоядерных реакций в звездах, на Солнце и в результате вспышек сверхновых. Нейтрино малой энергии чрезвычайно слабо взаимодействуют с веществом, имеют в воде длину свободного пробега порядка 100 св. лет. Каждую секунду через площадку на Земле площадью в 1 см² проходит около $6 \cdot 10^{10}$ нейтрино, испущенных только Солнцем. Тем не менее при

столь большом потоке Super Kamiokande регистрирует в день только единичные события пролета. При этом частицы от Солнца должны пролететь сквозь Землю. Сама регистрация нейтрино проходит следующим образом: проходя сквозь вещество, частица может двигаться быстрее скорости света в данном веществе (но не быстрее скорости света в вакууме). При этом возникает слабое свечение — излучение Вавилова — Черенкова. Фазовая скорость волны будет выше скорости её распространения, и возникает эффект наподобие ударной волны. Свет распространяется в виде конуса вокруг траектории движения частицы, и благодаря этому мы можем определить, откуда частица прилетела. Угол при вершине конуса зависит от скорости частицы, и по этому углу можно определить, какой энергией она обладает. Излучение Вавилова — Черенкова пытаются уловить 11146 фотоумножителей, расположенных по стенам резервуара.

Данный детектор может регистрировать и другие быстрые частицы, но по направлению конуса и его размеру можно отделить нейтрино от других частиц.

Расположение обсерватории под Землей помогает уменьшить поток частиц, не являющихся нейтрино. В связи со слабостью излучения Вавилова-Черенкова обсерваторию необходимо изолировать от других источников света.

Рабочим телом нейтринного телескопа может быть любая прозрачная среда. Самая доступная — вода. Для того, чтобы регистрировать большое число прохождения нейтрино, нужно, чтобы рабочее тело занимало большой объем. Для телескопа Super Kamiokande это 50 тыс. кубических литров. Вода очищена от примесей, чтобы уменьшить рассеяние и устранить преломления из-за неоднородно распределенных примесей.

По результатам наблюдений на Super Kamiokande уже обнаружены так называемые нейтринные осцилляции, за которые ученые Такааки Кадзита и Артур Макдональд получили Нобелевскую премию по физике в 2015 году. Нейтринные осцилляции — это явление превращения нейтрино одного сорта (электронного, мюонного или таонного) в нейтрино другого сорта. При этом решилась проблема дефицита нейтрино, который должен был образоваться при термоядерных реакциях на Солнце. В будущем на этом детекторе хотят зафиксировать гипотетический распад протона.

Помимо Super Kamiokande есть и другие детекторы нейтрино. В России самый крупный детектор, где используют в качестве рабочего тела галлий и германий, расположен в Баксанской нейтринной обсерватории на Кавказе, а также строится байкальский подводный нейтринный телескоп. Крупными мировыми детекторами являются IceCube, где используется лед Антарктиды, и SNO+, где используется особая тяжелая вода, залитая в глубокая шахту. Тяжелая вода отличается от обычной тем, что вместо атомов водорода в молекуле присутствуют атомы его более тяжелого изотопа дейтерия. Такая вода практически не поглощает нейтроны, что улучшает детектирование нейтрино.

Задача 4.

Звезда V838 Единорога вспыхнула в 2002 году. Позже видимая оболочка туманности увеличила свой видимый размер с 4 до 7 световых лет в течение нескольких

месяцев.

На самом деле, вещество звезды после взрыва сверхновой расширяется со средней скоростью 5000–9000 км/с, что значительно меньше скорости света. Движение этого вещества мы не наблюдаем, а наблюдаем явление, именуемое световым эхом. Свет от вспышки сверхновой подсвечивает газ и пыль, которые уже были около звезды. При этом свет проходит разный по длине путь. Чем дальше находятся пылинки, подсвеченные вспышкой, тем позднее приходят к наблюдателю фотоны. Эта задержка создает видимость расширения облака пыли.

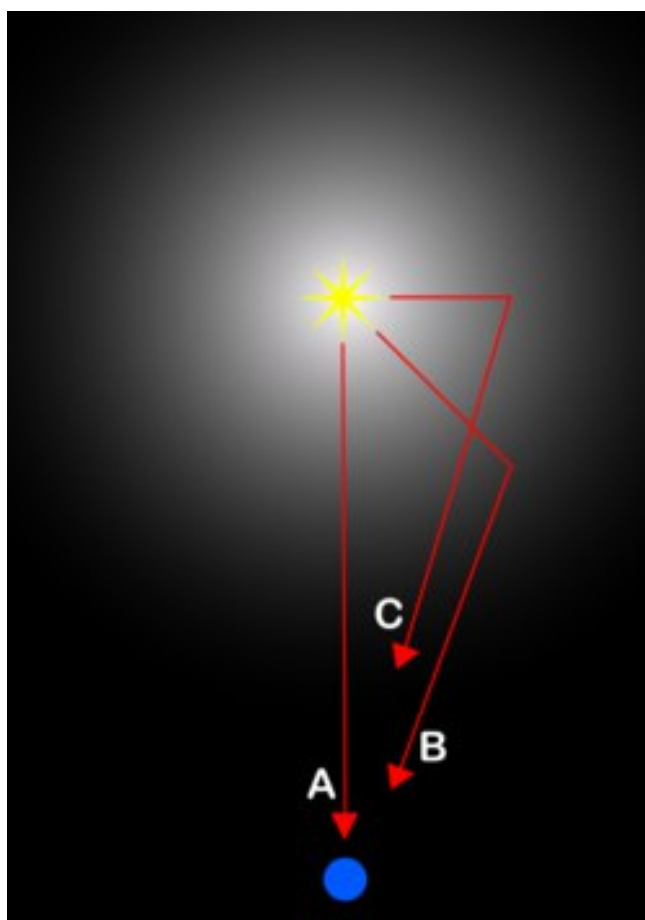


Рис. 2: Пути В и С имеют одинаковую длину и с Земли кажется, что они пришли одновременно, хотя между точками, где отразился свет, может быть очень большое расстояние.

При наблюдениях с Земли мы не ощущаем пространственного расстояния. Все объекты на небе кажутся плоскими. Если подсвеченные частицы наблюдаемых с Земли внешних слоев будут ближе, то свет от них придет раньше, чем мы ожидаем. Таким образом создается иллюзия движения быстрее скорости света.

Газ вокруг звезды имеет форму, близкую к сфере. Чаще всего такая форма образуется еще при жизни звезды, которая своим излучением рассеивает вещество вокруг себя. Также туманность такой формы может образоваться в результате сброса оболочки звезды еще до взрыва сверхновой. Важно отметить, что газ и пыль непосредственно между звездой и Землей свет в направлении Земли не отражают, а пропускают насквозь.

Наблюдения такого отраженного света дает ряд преимуществ. С помощью светового эха можно анализировать спектр сверхновых, свет которых достиг Земли еще задолго до изобретения телескопа, много столетий или тысячелетий назад. По распределению света можно определить, была ли сверхновая асимметрична. Ну и в конце концов можно изучить до этого не видимое скопление газа и пыли вокруг сверхновой.

Свет в вакууме имеет скорость $299\,792\,458$ м/с, и эта скорость считается максимально возможной, с которой может переноситься информация. Если движение не связано с переносом информации, оно может быть быстрее скорости света, например, солнечный зайчик. Фазовая скорость волн тоже не несет информации и может быть быстрее скорости света. Для движения внутри веществ скорость света может быть ниже скорости света в вакууме, например, в воде скорость света всего $225\,000$ км/с. Некоторые элементарные частицы в веществе могут обладать скоростью выше скорости света в этом веществе, но не выше скорости света в вакууме. При этом вакуум — это тоже своего рода среда, и гипотетически, если найти область пространства с энергией меньше энергии физического вакуума, то свет будет там распространяться быстрее.

Также по закону Хаббла скорость расширения пространства зависит от удаленности. На огромном расстоянии за пределами сферы Хаббла происходит расширение быстрее скорости света. Это не противоречит закону, так как расширяется само пространство.

Гипотетически при наличии кривизны пространства и при подпространственном перемещении можно за короткое время оказаться на большом удалении от начального пункта. Благодаря квантовым явлениям можно осуществить телепортацию, в этом случае передача квантового состояния на огромное расстояние может быть осуществлена за короткое время. В обоих случаях движения как такого не происходит, но можно создать эффект сверхсветового движения. А вот гипотетические частицы тахионы, в случае их существования, могут действительно двигаться быстрее света.

Задача 5.

В XVI–XVII веках корабли были преимущественно парусными, и их скорость определялось течениями и ветром. Соответственно, большинство морских путей пролегало вдоль сильных течений. Обычный маршрут пролегал через муссоны, вдоль восточного побережья Африки до Индии, а затем до Малайского архипелага, и по времени занимал год. Для такого путешествия использовались Северное и Южное пассатные течения. Направление этих течений нестабильны и обладают сезонными колебаниями.

В 1611 капитан Хендрик Браувер, отплыв 4 июня от Мыса Доброй Надежды, к 18 августа сумел дойти до Явы. Его маршрут брал начало от



Мыса Доброй Надежды, пролегал через Индийский океан по сороковым широтам на восток и поворачивал на север примерно на долготе Зондского пролива в направлении Явы.

Сороковые широты приобрели устойчивое наименование ревущие сороковые в связи с сильными ветрами, которые значительно увеличивали скорость передвижения кораблей. Эти ветра происходят от антарктического циркумполярного течения, которое, благодаря отсутствию замедляющих континентальных масс, является одним из сильнейших на планете. Данный маршрут был длиннее предыдущего, так как приходилось плыть строго по сороковой широте, а потом строго по долготе. Кроме того, самой большой трудностью было ориентирование. В те времена не было точных механизмов определения долготы, и путешественники могли пропустить поворот и потеряться.

Также удаленность от населенных земель создает определенные трудности при возможных нештатных ситуациях, хотя уменьшилась вероятность встретить пиратские корабли. В средних широтах вероятность встретить айсберг или шторм была выше. В целом прохладная погода лучше переносилась моряками, нежели жара субтропиков.

Задача 6.

В представленном тексте сделано несколько фактических ошибок. Астеризм — это легко различимая группа звёзд, имеющая исторически устоявшееся самостоятельное название. По определению Плеяды могут считаться астеризмом, но в научной и популярной литературе данный термин не используется. Плеяды находятся не в созвездии Лиры, а в созвездии Тельца. Созвездие Телец зодиакальное и легко наблюдается на экваторе, да и почти везде на планете, за исключением небольшого участка вблизи Южного полюса. Плеяды — достаточно крупное скопление из нескольких тысяч звезд. При этом около 1000 звезд находятся достаточно близко друг к другу и гравитационно связаны. Эти звезды имеют общее происхождение и возникли из одного пылевого облака. Звездная величина имеет обратную шкалу, т.е. чем звездная величина меньше тем ярче объект. Значит, Плеяды тусклее Альдебарана. Плеяды — это ближайшее к нам звездное скопление. Расстояние до него 440 световых лет, в то время как крабовидная туманность М1 находится значительно дальше от нас — на расстоянии 1 600 световых лет. Луна может отклоняться на угол всего 50 от эклиптики, и этого недостаточно, чтобы находиться в созвездии Лиры. А вот покрытие Луной Плеяд возможно, так как они находятся в созвездии Тельца, которое эклиптика пересекает. Субару — это японское наименование Плеяд, а также наименование телескопа на Гавайях, но только он не на экваториальной монтировке, а на азимутальной. Телескопы больше 6 метров слишком тяжелые, чтобы быть на экваториальной монтировке. Субару — это и название марки машины. На ее эмблеме изображены Плеяды, а на эмблеме *Mitsubishi* изображены три листа в виде ромба.