

Оглавление

Предисловие	9
Введение. А ведь мы действительно можем их увидеть	13
Об этой книге	19
Часть I. Путешествие сквозь пространство и время	
Глава 1. Человечество, Земля и Луна	23
Глава 2. Солнечная система и наши изменяющиеся представления о Вселенной	39
Часть II. Тайны Вселенной	
Глава 3. Самая счастливая мысль в жизни Эйнштейна	67
Глава 4. Млечный Путь и населяющие его звезды	94
Глава 5. Мертвые звезды и черные дыры	102
Глава 6. Галактики, квазары и Большой взрыв	128
Часть III. Путешествие за изображением черной дыры	
Глава 7. Галактический центр	155
Глава 8. Как получить изображение	179
Глава 9. Создание глобального телескопа	194
Глава 10. Экспедиция начинается	221
Глава 11. Разрешение изображения	242

Часть IV. Выход за пределы

Глава 12. За гранью воображения	267
Глава 13. За пределами теории Эйнштейна?	277
Глава 14. Бесконечность знания и ограничения	295
Благодарности	323
Члены команды ЕНТ, авторы статей о черных дырах	325
Глоссарий	335
Источники иллюстраций	346
Примечания	347

Часть I

Путешествие сквозь пространство и время

Краткое описание
нашей Солнечной системы
и первые шаги астрономии

Человечество, Земля и Луна

Обратный отсчет

Давайте вместе отправимся в увлекательное путешествие по пространству и времени — и начнем с Земли. Представьте такую картину: зеленая лужайка, а над ней возвышается ракета. Птицы растерянно вьются вокруг этого шедевра инженерной мысли. Зрелище впечатляющее. Стоит зловещая, как перед бурей, тишина. Только-только рассветает... тьма над стартовой площадкой медленно рассеивается. Природа еще и не подозревает о том аде, который начнется всего через несколько секунд.

Усталые и взволнованные сотрудники и зрители собираются на обзорной площадке. Отсюда каждый предмет, каждый человек — да и вообще вся сцена — кажутся игрушечными, как будто дело происходит в кукольном театре. Один из гостей достает телефон и начинает трансляцию события на веб-сайте — с титрами, написанными китайскими иероглифами, и вспыхивающими логотипами. Это тот самый стрим, который я смотрю онлайн, сидя в уютном номере небольшой гостиницы, расположенной в зеленой ирландской деревушке на другой стороне Земли. Я полон надежд и с замиранием сердца наблюдаю за разворачивающимися событиями.

Внезапно где-то за кадром раздается громкий голос. От звука этой прерывистой и невнятной, с металлическим оттенком речи по коже начинают бегать мурашки. Голос монотонно ведет об-

ратный отсчет, и хотя он говорит на языке, которого я не понимаю, я считаю вместе с ним. Раздается грохот, и одновременно у основания ракеты вспыхивает и озаряет темноту красновато-желтый свет. Включенный ракетный двигатель производит оглушительный рев, слышный даже здесь, в идиллической Ирландии, хотя звук издает только мой ноутбук. Земля сотрясается, опоры ракеты отклоняются, она отрывается от стартовой площадки и величественно поднимается к небу, оставляя за собой ослепительный след горячих газов... и вот наконец, устремившись в космос, она исчезает из поля зрения — как хвостатая комета, решившая вернуться обратно на небосвод.

Мне казалось, будто я снова наблюдаю старт шаттла “Дискавери”. Тогда, ранним утром 11 февраля 1997 года, мне вместе с моей усталой, но воодушевленной семьей довелось присутствовать при запуске на мысе Канаверал. До сих пор я вспоминаю гордое выражение лица моей четырехлетней дочери, смотревшей издали на направленную в небо ракету. В блеске ее глаз я увидел отблеск глаз собственных.

Двадцать один год спустя, 20 мая 2018 года, я наблюдаю всего лишь то и дело прерывающуюся прямую трансляцию из Китая. Но я точно знаю, каково это — присутствовать там сейчас. Вдобавок этот запуск совершенно особенный: ракета словно бы уносит на борту частичку меня — ведь она должна провести эксперимент, подготовленный моей командой в голландском Неймегене. Я снова чувствую себя ребенком. У ракеты особая цель: обратная сторона Луны.

Мысленно я лечу вместе с ней на Луну... и еще гораздо, гораздо дальше, как я делал много раз прежде, — лечу туда, куда меня всегда страстно тянуло: в открытый космос.

За пределами Земли

Небесный покой. Первое, что вы замечаете, когда оказываетесь в космическом пространстве, — это абсолютная тишина. Двигатели выключены, во внешнем пространстве все звуки за-

тухают. Космический телескоп “Хаббл” достиг высоты 550 километров над поверхностью Земли — высоты, почти в 70 раз превышающей высоту горы Эверест. Телескоп теперь летит в атмосфере, примерно в 5 миллионов раз более разреженной, чем атмосфера на поверхности Земли¹. Звуковые волны (то есть вибрации воздуха) человеческим ухом здесь не воспринимаются: ни шорохи, ни слова... даже самые мощные взрывы на Земле услышать тут нельзя.

В своей работе астронома я использую космические телескопы, обращающиеся вокруг Земли, слушаю истории, которые рассказывают побывавшие на орбите космонавты, и разглядываю изображения, которые они привозят на Землю. В своем воображении я тихо плыву в космосе, ощущая себя невесомым, — но в действительности несусь вокруг Земли с головокругительной скоростью 27 000 километров в час. Мощная центробежная сила, возникающая при такой скорости, казалось бы, может вытолкнуть меня с орбиты, но мощное земное притяжение уравнивает эту силу и удерживает меня там. В этом заключается секрет орбитального движения вокруг всех небесных объектов. Невесомость не означает, что вы освободились от притяжения Земли. На орбите гравитация все еще держит нас железной хваткой, но мы чувствуем себя невесомыми, потому что центробежная сила и сила тяжести полностью уравнивают друг друга. На самом деле мы находимся в состоянии свободного падения, но снова и снова не падаем на Землю, поскольку все время остаемся на удаленной траектории, так точно очерченной, что кажется, будто она была нарисована с помощью гигантского циркуля. Если бы мы замедлялись, наша траектория становилась бы все короче и ближе к Земле, пока в конце концов наше свободное падение не закончилось бы резким ударом, от которого в месте падения образовался бы кратер. Но, конечно, никто из нас такого бы не захотел!

Небольшое трение об атмосферу, с которым приходится сталкиваться нашему “космическому кораблю”, настолько мало, что мы можем обращаться вокруг Земли в течение многих лет прак-

тически беспрепятственно², ни разу не включив наш ракетный двигатель.

Совершая орбитальное движение, мы можем наслаждаться уникальным видом Земли, взирая сверху, подобно богам, на эту голубую жемчужину, сверкающую на черном бархате Вселенной. Континенты, облака и океаны образуют роскошную картину, написанную буйными красками. Ночью всю сцену освещают вспышки молний, сияющие города и мерцающие полярные сияния — поистине захватывающее зрелище! Государственные границы исчезают, и мы воспринимаем Землю как общий дом всего человечества. Линия, отделяющая нас от холодного космоса, ясная и резкая. Только отсюда, с высоты, мы понимаем, насколько тонок слой воздуха, который защищает нас от враждебного космоса и делает возможной жизнь. Погода и климат — понятия, имеющие смысл всего лишь в нешироком слое над Землей. До чего же хрупкой и уязвимой кажется наша гордая планета! Этими поразительными зрелищами и открытиями в космосе люди обязаны современным технологиям, но из-за их безрассудного использования мы сами разрушаем основу нашей жизни на уникальной голубой планете под названием Земля.

Каждый раз, когда я вижу все эти прекрасные изображения, я, помимо прочего, ощущаю одиночество и пустоту, боль и страдание, которыми наполнен наш мир. “Распростёр Он север над пустотой, ни на чем Он подвесил Землю”, — так восклицал убитый горем Иов тысячелетия назад³. Пустота неба, растягивающаяся, как черное полотно, а посередине — наша планета Земля! Тому, кто написал библейский текст, не был дарован этот взгляд сверху, а между тем в своих видениях он уже воспринимал Землю как единое целое. Старые представления человечества сегодня наполняются новыми образами, ставшими доступными нам благодаря современным технологиям. Рои спутников с камерами и датчиками, постоянно направленными на нашу планету, передают изображения облаков, континентов и океанов во всех их захватывающих дух деталях.

Иов, увидев, что Земля висит ни на чем, посетовал на это Богу. Глубоко человеческое чувство, переживаемое Иовом, это

бессмысленное страдание. И страдания и красота по-прежнему сосуществуют на нашей планете. Отдельного человека невозможно разглядеть из космоса. Страдание можно понять только вблизи, а издалека все на Земле кажется величественным и необыкновенно красивым. Даже ураганы, наводнения и лесные пожары приобретают мрачное очарование, если смотреть на них с высоты. В космосе вы удалены от страданий, которые испытывают миллиарды людей внизу, и потому земные проблемы представляются непонятными. Так не выпускает ли этот “всеохватывающий взгляд” из поля своего зрения самого человека?

Совершенно поразительно то влияние, какое может оказать даже на закаленных космических путешественников выполнение чисто технических исследовательских программ. С тех пор как в 1961 году первым космонавтом стал Юрий Гагарин, в космосе побывало более 550 человек*. Почти все они рассказали, что невероятная хрупкость Земли произвела на них глубочайшее впечатление и коренным образом изменила их личность. Процесс созерцания земного шара как единого целого оказывается сродни экстатическому состоянию. Психолог Фрэнк Уайт, который изучал этот феномен и подробно описал его, использовал термин “обзорный эффект”. Какой эмоциональный отклик вызывает в нас вид планеты? Как это нас меняет? Как мы можем использовать этот эффект? Врачи исследуют его с тех пор, как он был впервые описан. Земля уникальна, и, насколько нам на сегодняшний день известно, в космосе нет ничего сравнимого с ней. У космонавтов создается такое же впечатление. Ощущение, что ты паришь над Землей, как ангел, и видишь все сверху, не может оставить нас, людей, равнодушными. Поэтому, вдохновляясь новыми видами космоса — и из космоса, — мы не должны отстраняться от проблем людей.

* По данным на август 2023 г. — более 630. См. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_space_travellers_by_first_flight. — Прим. науч. ред.

Время относительно

Как только мы попадаем на орбиту, наше представление о пространстве и времени меняется. Мы не просто по-другому видим нашу родную планету — Землю, но меняется и наше восприятие течения дней, месяцев и лет. “Ибо тысяча лет в глазах твоих подобна только что прошедшему дню”⁴, как говорится в одном из известных псалмов. Время относительно. Люди подозревали об этом с незапамятных времен, но нигде мы не ощущаем это так ясно, как в открытом космосе.

Когда я писал свою первую программу наблюдений для космического телескопа “Хаббл”, мне пришлось разделить последовательности команд на 95-минутные блоки, потому что именно столько времени требовалось телескопу для обращения вокруг Земли. На его орбите Солнце восходит и заходит каждые 95 минут. Для телескопа сутки делятся на 95 минут, и астронавты на Международной космической станции также наблюдают восходы Солнца каждые 95 минут. Я видел это в своем компьютере, готовя программу наблюдений и мысленно путешествуя по Вселенной.

Но относительность времени означает нечто большее, чем просто иная длина дня. В космосе часы идут не так, как на Земле, хотя вряд ли кто-то думает, что это возможно. На орбите высотой 20 000 километров над Землей они за день убегают на 39 микросекунд. И, следовательно, за 70 лет наши земные часы отстают от наших космических часов на одну секунду. Кажется, что это не так уж и много, и все же у нас сегодня нет проблем с тем, чтобы измерить эту представляющуюся ничтожной разницу, — разницу, которая является ключевым аспектом общей теории относительности Альберта Эйнштейна: время действительно относительно. Эта теория описывает не только нашу Солнечную систему, но и черные дыры, и пространственно-временную ткань всей Вселенной.

Путь к открытию был необычайно долг. В широком смысле он начался с фундаментальных открытий, таких как открытие строения нашей Солнечной системы и законов, которые ею

управляют, а также с изучения структуры и законов всего космоса. В узком же смысле он начался с того, что мы поняли парадоксальную вещь: свет ведет себя и как волна, и как частица, — и это его свойство непосредственно связано со знаменитой специальной теорией относительности Эйнштейна.

Можно сказать, что глубокое понимание замечательных свойств света явилось ключом ко всему. Более прочего поражает здесь то, что свет не только дает нам возможность видеть все вокруг, позволяя, в частности, исследовать Землю, Луну и звезды, но еще и теснейшим образом связан со временем, пространством и гравитацией.

Давайте обратимся к истории современной физики. Для Исаака Ньютона — автора теории тяготения — свет состоял из маленьких корпускул, то есть мельчайших частиц. Позже, в XIX веке, шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл, взяв за основу блестящую революционную работу Майкла Фарадея, доказал, что свет и все другие формы излучения представляют собой электромагнитные волны. И радиосигналы, используемые в технологии *Wi-Fi*, сотовых телефонах или автомобильных радиоприемниках, и тепловое излучение, регистрируемое приборами ночного видения, и рентгеновские лучи, которые мы используем, чтобы рассмотреть кости под кожей, и даже видимый свет, который воспринимают наши глаза, — все это, согласно теории Максвелла, суть колебания электрических и магнитных полей. Они отличаются друг от друга только своей частотой и способами, с помощью которых мы их производим и измеряем. Но по сути все эти колебания представляют собой одно и то же явление, а именно — свет: видимый свет, свет с длиной волны из радио-, инфракрасного или рентгеновского диапазона.

В частотном диапазоне, используемом мобильными телефонами, волны колеблются миллиард раз в секунду, а их длина составляет больше 20 сантиметров. Волны видимого света колеблются секстиллионы раз в секунду, и их длина в сто раз меньше диаметра волоса. Поскольку световые волны определенного цвета и частоты всегда колеблются с одинаковой скоростью, свет является идеальным метрономом для часов и этало-

ном времени. Самые точные оптические часы на сегодня откалиброваны так, что их точность составляет более 10^{-19} секунд⁵. За все время существования Вселенной (на сегодня это примерно 14 миллиардов лет) такие часы отстанут всего примерно на полсекунды! Это такая степень точности, о которой предыдущие поколения даже не мечтали.

Но что именно вызывает эти колебания? Долго считалось, что все космическое пространство заполнено так называемым эфиром. Имелся в виду не тот эфир, который растворитель, а эфир — гипотетическая среда, в которой электромагнитные волны (или световые, или радиоволны) распространяются во все стороны, как звуковые волны в воздухе.

Одним из свойств уравнений Максвелла — самым обескураживающим и неожиданным для физиков, причем остающимся таковым и по сей день, — является представление о том, что свет с любой длиной волны, распространяющийся в пустом пространстве, должен всегда двигаться с одной и той же постоянной скоростью, не зависящей от того, как быстро движется наблюдатель. Рентгеновский луч столь же быстр, как радиоволна или лазерный луч, и в уравнениях Максвелла скорость света не зависит от скорости приемника или излучателя. То, что свет распространяется с конечной скоростью, мы знали самое позднее с конца XVII века, когда Оле Рёмер измерил движение спутников Юпитера и использовал их в качестве часов⁶. Но разве не должна скорость света меняться в зависимости от того, летишь ли ты с большой скоростью сквозь таинственный эфир или стоишь на месте?

Допустим, я плыву на серфборде в океане. Сильный ветер дует в сторону берега, а я гребу от него перпендикулярно линии прибоя. Волны приближаются ко мне с большой скоростью — на самом деле почти так же быстро, как они набегают на берег. Но если я меняю направление и быстро гребу в ту же сторону, куда устремлены ветер и волны, моя скорость почти равняется скорости волн под моим серфбордом. По сравнению с ним скорость волн мала, однако скорость волн относительно берега очень высока.

То же самое относится и к звуковым волнам. Если я еду на велосипеде при попутном ветре, звук клаксона едущего за мной автомобиля достигает моих ушей несколько быстрее, чем когда ветра нет, — и я слышу предупреждение немного раньше. Если же я поеду навстречу ветру, то услышу гудок сзади несколько позже: звук тоже распространяется против ветра. Если бы я мог крутить педали со сверхзвуковой скоростью, я никогда не услышал бы гудка. Если бы я крутил педали еще быстрее и опередил собственные звуковые волны, то преодолел бы звуковой барьер и создал ужасный шум, поскольку многие из производимых мною звуков достигли бы человека, слышащего их, одновременно. Но, в отличие от пилотов реактивных самолетов, ни одному велосипедисту еще не удалось преодолеть звуковой барьер.

Радиоволны должны вести себя подобным же образом — по крайней мере так думали люди более ста лет назад. По их представлениям эфир, в точности как воздух в нашей атмосфере, заполняет пустоту космического пространства, а Земля, бороздящая эфир со скоростью 100 000 километров в час по орбите вокруг Солнца, схожа с моим велосипедом или серфбордом. Если вы измерите скорость света в направлении движения Земли вокруг Солнца, то эта “скорость света” должна быть на самом деле совершенно другой, чем скорость, измеренная под прямым углом или в точно противоположном направлении. Иными словами, она должна зависеть от того, при “попутном” или “встречном” ветре движется свет в эфире.

Именно этот эффект пытались измерить американские физики Альберт А. Майкельсон⁷ и Эдвард У. Морли в конце XIX века. Для этого они измерили относительную скорость света в двух световых коридорах (или каналах), расположенных перпендикулярно друг другу. Эксперимент закончился полной неудачей. Ученые не смогли увидеть сколько-нибудь существенного различия в скоростях света. Таким образом, не было найдено прямых доказательств существования эфира — он оказался просто иллюзией.

Неудачи могут быть прорывными, и этот неудачный эксперимент стал одним из тех немногих, которые принято называть

ключевыми, так как они направили развитие физики и астрономии по ее нынешнему пути. Дело в том, что совершенно неожиданный крах теории эфира обрушил всю систему взглядов и потому пришлось, отбросив старые модели, начать искать новые идеи. Лучшими из них оказались идеи молодого Альберта Эйнштейна⁸, который был готов радикально все переосмыслить и создать новую теоретическую основу физики. Пока другие физики все еще пытались пробить головой стену, Эйнштейн стремительно ворвался в новую эру, в которой пространство и время больше не были абсолютными. Возникла смелая теория — теория относительности Эйнштейна, существенно изменившая веками доминировавшую концепцию мироздания.