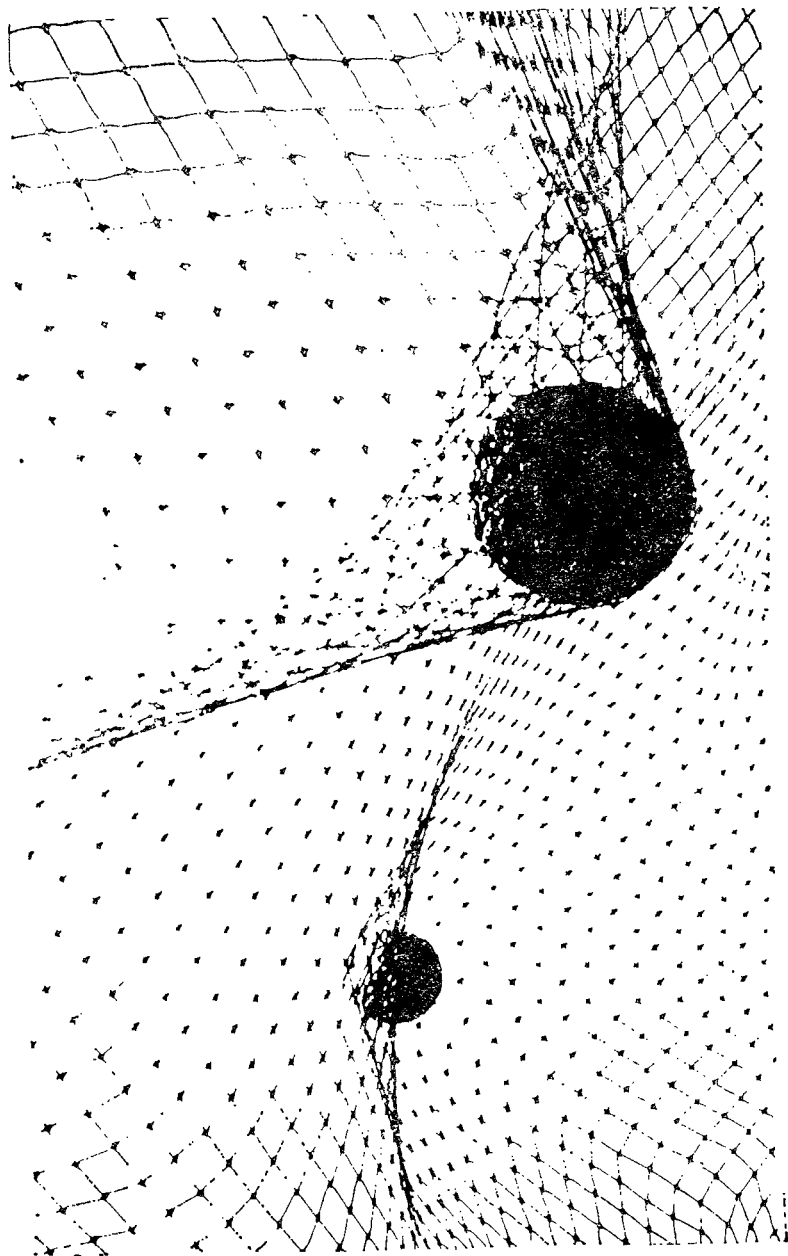


# ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ИДЕЙ



Р. ПОДОЛЬНЫЙ

# ЧЕМ МИР ДЕРЖИТСЯ?

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»  
МОСКВА 1978

Подольный Р. Г.

П44 Чем мир держится? М., «Знание», 1978.  
(Жизнь замечательных идей).

192 с.

В списке исследователей гравитации немало великих имен. И сегодня эту самую слабую и одновременно самую могучую из известных физикам силу взаимодействия исследуют тысячи ученых, ставя тончайшие опыты, выдвигая остроумные предположения и гипотезы.

В книге рассказывается, как эта проблема изучалась в прошлом и как она изучается в настоящее время

Для широкого круга читателей

П 20400—050  
073(02)—78 26—78

53

## САМАЯ СЛАБАЯ, САМАЯ МОГУЧАЯ

«Героиня» этой книги — сила тяготения, она же гравитация, или, совсем длинно, сила гравитационного взаимодействия.

Тяготение удерживает Луну у Земли, Землю у Солнца, а нас с вами — на поверхности родной планеты. Тяготение стягивает звезды в пары и шаровые скопления, управляет движением комет и даже лучей света. Звездное небо, каким мы его видим, — итог многих миллиардов лет работы гравитационных сил. И если Солнечная система медленно, но верно тянется через космическое пространство по направлению к созвездию Геркулеса — можете не сомневаться, ее влечет та же самая сила.

На Земле тяготение — наш постоянный спутник.

Вот говорят, например, что вся используемая человеком энергия, кроме атомной, результат работы Солнца. Ветры дуют, потому что воздух нагревается лучами Солнца. Вода в реках течет, а не лежит глыбами льда, потому что ее греет наша дневная звезда. В дровах, в каменном угле, в нефти запасена солнечная энергия. Но ветры не дули бы, если бы расширяющийся под воздействием солнечного тепла воздух не становился легче, а сами понятия «легче» и «тяжелее» связаны с тяготением. Да и воздуха на Земле не было бы, не удерживай его гравитация. И реки текут под уклон, потому что их гонит эта наша верная помощница. И мертвые деревья скапливались на дне болот, превращаясь в каменный уголь, в числе прочего, под воздействием собственной тяжести.

Да что говорить! Вещество нашей планеты удерживается вместе в составе небольшого по космическим масштабам шарика все той же гравитацией. И она же держит звезды и соединяет их в галактики. Так что, собственно говоря, без тяготения вообще не было бы ни людей, ни деревьев, ни планет и звезд.

Тяготение, полагает большинство ученых, собрало миллиарды лет назад Землю из куда более мелких тел, подарило ей Луну, сберегает нам атмосферу. Тяготение сформировало все живое на Земле. Мы еще поговорим в специальной главе о взаимоотношениях жизни и гравитации, а пока — только один пример. Обыкновенный

лесной гриб, выросший в спутнике в состоянии невесомости, «забывает» напрочь свою заданную миллионлетиями форму, обходится без шляпки, а вместо красной, стройной, изысканно округлой ножки вырастает у него неровный угловатый столбик.

*Что держит нас на этом шаре, кроме силы тяготения?*

*Станислав Ежи Лец*

Силе тяготения в науке долго не везло. Нельзя сказать, чтобы ученые ею не занимались. Наоборот, стоит оглянуться на историю исследования этой проблемы, чтобы увидеть: почти каждый крупный физик по меньшей мере высказывал по этому поводу свои соображения, а чаще посвящал гравитации специальные работы.

Но, как пишет английский писатель и ученый Артур Кларк в книге «Черты будущего», «сила тяготения стоит как-то особняком от других сил природы. Свет, тепло, электричество, магнетизм — все можно генерировать, создать множеством различных способов, и все они обладают свойством взаимопревращения... А вот генерировать гравитацию мы совсем не умеем, и, судя по всему, она совершенно индифферентна к любым воздействиям, которые мы пытаемся на нее оказать».

Множество статей и даже книг о гравитации заявляют (и напрасно!), что тяготение — единственная сила, которую человек до сих пор не умеет использовать, подчеркивают то обстоятельство, что она выступает как противник человека чуть ли не во всех затеваемых им работах.

Но это, право же, далеко не точно. Тот факт, что все тела на Земле притягиваются нашей планетой, человечество начало использовать с незапамятных времен. Знаменитый «отец кибернетики» Норберт Винер был более прав, когда настаивал на том, что тяготение было для человека с самого начала и союзником, и врагом. В силу своей всеобщности и своего постоянства оно стало для нас самым верным среди друзей и самым непреклонным среди противников. Какой толк был бы в палке, сбивающей с дерева плоды, если бы они не падали на землю? Не будь тяготения, первобытным охотникам не понадобилось бы загонять стада оленей или быков к крутым обрывам, с которых животные в панике падали и разбивались. И мамонт проваливался в вырытую на его пути

и замаскированную яму, погубленный собственным немалым весом, все той же силой тяготения, которую человек, по сути, поставил себе на службу.

Открытие рычага (осмысленное Архимедом, но фактически сделанное и успешно использовавшееся за тысячелетия до него) можно считать победой если не над тяготением, то над силой тяжести, препятствующей перемещению особо тяжелых предметов. Завоевание водной стихии, начиная с сооружения первого подобия плота, было использованием закона, открытого опять-таки много тысячелетий спустя тем же Архимедом. Когда реки, озера, а потом и моря стали транспортными путями, вода начала играть для человечества роль своеобразного кэйворита каменного века \*. И играет эту роль до сих пор. Через всю историю архитектуры и строительства, например, проходит поиск средств, способных противостоять действующей на сооружения силе тяжести.

Можно, конечно, довести рассуждения до абсурда. Лезешь, скажем, в гору — так тоже борешься с тяготением. А спускаешься с горки — его используешь... Но, если говорить серьезно, то ворот и кабестан — вехи в борьбе с тяготением. Как лошадь под седлом или запряженная в телегу, как рельсы под поездом, как воздушный шар, как самолет наконец... Запуск первого советского спутника обозначил собой не только начало космической эры в истории человечества, но и новый рубеж в его борьбе с тяготением. А еще через четыре года первый землянин по-настоящему почувствовал, что такое невесомость.

Есть у Вадима Шефнера стихотворение «Ступени».

Завидовал кто-то птицам,  
Но был не из рода Дедалов,—  
Чтоб медленно вверх возноситься,  
Он лестницу вырубил в скалах.

. . . . .

Ступени — замена полета,  
Ступени — замена паденья.  
Ступени — работа, работа,  
Терпенье, терпенье, терпенье.

---

\* Кэйворит — вещество, непроницаемое для тяготения, созданное в фантастическом романе Герберта Уэллса «Первые люди на Луне».

Пусть ангелы в горнем полете  
Смеются над неокрыленным,—  
Не богу — работе, работе  
С киркой отбиваю поклоны.

Усилья, усилья, усилья,  
Спина — будто натерта солью.  
А вдруг это крылья, крылья  
Проклевываются с болью?

Крылья у человечества прорезаются! И вправду — с болью. Но ведь рождение каждого из нас тоже принесло матери не только радость, но и боль.

Пока что путь к победам над тяготением шел не через познание природы и характеристик силы гравитации. Мы просто противопоставили силе силу. Так когда-то человек смирил силой дикую лошадь, заставил ее тянуть повозку. Но должны были пройти тысячелетия, прежде чем он оседлал давно уже служившего ему коня, сделал его не только помощником, но и другом. Придет время, мы научимся не только побеждать гравитацию, но и властвовать над ней, «потеряем» еще одного врага, а союзника обратим в верного друга. Самого могучего во Вселенной и в то же время самого слабого...

Центральный закон диалектики, по Марксу и Энгельсу,— закон единства и борьбы противоположностей. И один из самых знаменитых парадоксов Нильса Бора можно рассматривать попросту как отражение действия этого закона в природе. Великий датский физик вполне в духе своей науки так определил действительно глубокие физические истины: если они верны, то верны и истины, им противоположные. Вот уж, кажется, парадокс парадоксов! Но все же каждый из нас, порывшись в памяти, без особого труда найдет — хотя бы среди обрывков школьных знаний — немалое число примеров, подтверждающих мысль Бора. Один из них — история научных представлений об атоме... Две с половиной тысячи лет назад была высказана впервые глубочайшая истина о существовании мельчайшей неделимой частицы материи — атома. Сегодня мы сохраняем за атомом его имя «неделимого», но знаем, что он делится. Эти две истины противоположны друг другу и верны одновременно, но верны для разных уровней строения материи и для разных уровней познания ее.



В этой книге нам часто придется вспоминать парадоксальное определение, данное Бором действительно глубоким истинам.

Уж, наверное, не случайно самая могучая из сил Вселенной оказывается одновременно и самой слабой. Огромен и неисчерпаем мир — вширь и вглубь. Но ученые знают только четыре типа работающих в нем сил, четыре разновидности взаимодействий в мире.

Самую могучую из этих разновидностей так и зовут сильной — говорят о «сильных взаимодействиях». Их сфера действия — элементарные частицы, атомное ядро. «Сильные силы» связывают его частицы воедино. Следующее по мощи взаимодействие — электромагнитное. Оно возникает между телами, несущими электрический заряд. Следующая ступенька вниз — и мы приходим к силам, проявляющимся в некоторых реакциях между элементарными частицами. Так они слабы, что их и называли слабыми взаимодействиями. Гравитационное взаимодействие — несравненно слабее и этих сил, даже по названию слабых.

Вот два протона в атомном ядре. Между ними должны действовать все четыре вида мировых сил. Ядерные силы — раз (в ядре же эти протоны); электромагнитные — два (эти протоны несут положительный электромагнитный заряд); слабые (протоны же элементарные частицы) и, наконец, гравитационные — протоны, как все тела, имеют массу и притягиваются друг к другу по закону всемирного тяготения. Так вот сильное взаимодействие между протонами примерно в сто раз превышает по мощи электромагнитное. То, в свою очередь, сильнее слабого взаимодействия... в сто миллионов раз. Но гравитационное «хуже» и слабого-то еще в десять триллионов триллионов (или в десять миллиардов квадрильонов) раз. Ради краткости это записывают так —  $10^{25}$ . А уж между сильным и гравитационным взаимодействиями разрыв примерно в десять в тридцать восьмой степени раз — сильное мощнее в сто квинтильонов квинтильонов раз.

Масса Земли равна примерно шести, помноженному на десять в двадцать седьмой степени граммов. Если для простоты расчета убрать множитель шесть, то получается, что Земля во столько же раз тяжелее миллиардной доли грамма, во сколько раз электромагнитные силы

взаимодействия между протонами мощнее сил тяготения между ними же.

Еще более впечатляющую картину дает сравнение сил взаимодействия между двумя электронами (электромагнитный заряд у каждого из них по абсолютной величине тот же, что у протона, зато масса почти в две тысячи раз меньше массы протона). Здесь электромагнитные силы уже десять в сорок третьей степени раз больше гравитационных — как раз во столько же раз, во сколько раз Земля тяжелее одной десятиквотриллионной доли грамма.

Нет в нашем мире силы слабее, чем гравитация!

Но проигрывая в этом, гравитация берет свое и на планете и во Вселенной благодаря другим своим качествам. Сильные взаимодействия сверхмогучи, но место действия у них очень ограниченное — атомное ядро.

У электромагнитных сил область приложения куда шире. Но и они по масштабам своего действия далеко уступают гравитации. Ведь частицы и тела могут иметь как положительные, так и отрицательные заряды, могут быть и нейтральными. В космических телах и масштабах эти заряды, естественно, складываются и почти целиком — по воздействию на окружение космического тела — «взаимоуничтожаются».

О слабых взаимодействиях, проявляющихся лишь на уровне элементарных частиц, и говорить нечего. Слишком узко поле их действия.

А слабой гравитации подвластно все — от света до звезд, и расстояние даже межзвездное для нее не преграда. Гравитационные заряды всегда «складываются». Мы не знаем вещества, которое бы не несло «гравитационного заряда». О гравитации порой говорят как о всеобщем свойстве материи. Это универсальная, самая «тотальная» из известных человеку сил природы.

А может, мы поспешили, назвав ее всеобщей, если она значительна только в макро- и мегамире, то есть в мире больших и гигантских величин? Пожалуй, нет, не поспешили. Да, в молекуле, атоме, атомном ядре гравитация не играет никакой роли. Слишком велики межатомные и даже межнуклонные расстояния при сверхничтожных размерах масс атомов и элементарных частиц. Но по мере нашего проникновения в глубь материи мы, быть может, выйдем к таким структурным частям элементарных частиц, расстояния между которыми ока-

жуются настолько ничтожны (по сравнению с их массами), что гравитация вновь заявит здесь о себе во весь голос.

Мало того. Все остальные взаимодействия могут носить двоякий характер. Тела, несущие электромагнитные заряды одного знака, отталкиваются, тела с зарядами противоположного знака притягиваются. В атомном ядре на одном расстоянии сильное взаимодействие проявляется в притяжении нуклонов (протонов и нейтронов) друг к другу, на более близком расстоянии — во взаимотталкивании ядерных частиц. Слабое взаимодействие тоже может происходить по-разному...

А вот гравитация, тяготение, всегда проявляется только в притяжении тел, она в этом отношении демонстрирует завиднейшее постоянство. Есть, правда, гипотезы о том, что просто мы имели до сих пор всегда дело только с положительным гравитационным зарядом тел, а возможна, так сказать, отрицательная масса, с другими гравитационными свойствами. В своем месте мы еще о таких гипотезах поговорим, но пока что останемся на твердой почве достоверно известных фактов.

По крайней мере две с половиной тысячи лет человек сознательно стремится понять эту силу, определить ее, осмыслить, истолковать и использовать. Его борьба за познание природы тяготения необычайно поучительна. И не только сама по себе. Проблема тяготения стала ключом к раскрытию свойств движения, пространства, времени.

Каждый закон, открытый наукой, может рассматриваться как представитель всех законов природы. История каждого открытия, сделанного человеком, — зеркало, в котором отражаются не только свойства мира, но и свойства человечества.

Законы гравитации выступают в качестве своеобразного эталона среди физических законов, образца, с которым можно сравнивать, на который можно равняться.

Недаром ведь ньютоновский закон всемирного тяготения был назван величайшим обобщением, достигнутым человеческим разумом. Американский физик Ричард Фейнман в цикле лекций, который переведен и издан у нас в стране под названием «Характер физических законов», в качестве постоянного и характерного примера использует именно закон Ньютона — «может быть, потому, что этот великий закон был открыт одним из

первых и имеет любопытную... историю. Вы скажете (продолжает Фейнман): «Да, но это старая история, а мне хотелось бы услышать что-нибудь о более современной науке». Может быть, более новой, но не более современной. Современная наука лежит в том же самом русле, что и закон всемирного тяготения».

Можно добавить и, по-видимому, Фейнман не стал бы возражать против такого добавления, что именно закон Ньютона и стал началом этого русла, он был истоком реки, проложившей русло, в котором с тех пор развивается наука. Потому, в частности, что с ним в науку по-настоящему твердо и навсегда вошло число.

История проблемы — эти два слова образуют одно понятие, у которого есть, как полагается каждому уважаемому понятию, две стороны: в данном случае эти стороны можно определить как «физическую» и «историческую».

Понимание — пусть на популярном уровне — физической стороны дела открывает нам ни более ни менее как устройство Вселенной, «план мироздания», как сказали бы в прошлом веке. Понимание движения науки, ее исторического развития дает нам представление и о законах такого развития и о людях, которые законы открывали. А этого из учебника, как правило, не узнаешь: туда попадают одни только формулы в сопровождении лишь имен тех, кто их впервые написал.

Путь к одному открытию можно рассматривать как модель пути к любому другому открытию. Можно ли руководствоваться такой моделью, когда ты ищешь пути к новым открытиям?

Алгоритма, строгого набора правил перехода от старого открытия к новому, еще никто не создал, хотя сотни людей, занимающихся так называемым науковедением, в конечном счете, по-видимому, ищут именно такой алгоритм. Но во всяком случае история науки издавна оказалась хотя бы в одном отношении в более выгодной позиции, чем просто история: если кому-то могло показаться, что история ничему не учит, то об истории науки и самый отпетый скептик этого не осмелится сказать.

Владимир Ильич Ленин писал: «Весь дух марксизма, вся его система требует, чтобы каждое положение рассматривать лишь (а) исторически; (б) лишь в связи с другими; (в) лишь в связи с конкретным опытом истории».


Мы пройдем в книге по пути, которым развивалась идея тяготения, и будем более или менее внимательно приглядываться к наиболее заметным вехам и памятникам по сторонам этого пути.

Рассказ о жизни замечательной идеи тяготения разбит на три части. Первая — «Вчера» — посвящена ее истории до появления общей теории относительности. Вторая — «Сегодня» — говорит о современной ситуации в науке о гравитации. Третья — «Завтра или никогда» — разнородна. В ней есть главы об открытиях, в неизбежности которых ученые уверены, есть попытки заглянуть в будущее науки, есть изложение идей, в чьей реальности большинство физиков сомневается.

Разумеется, такое деление книги весьма условно. История науки — часть ее, она проникает в сегодня так же, как и в завтра.

Идеи древних греков порою живо обсуждаются и сейчас на семинарах в физических институтах, предположения, выдвинутые сотни лет назад, могут обернуться реальностью в будущих экспериментах.

Путь познания неделим.



# ВЧЕРА

## ДОГАДКИ. АРИСТОТЕЛЬ И МНОГИЕ ДРУГИЕ

«**Л**ицом к лицу лица не увидать», — сказал поэт. Человечество же всегда стояло лицом к лицу с тяготением. Оно было слишком близко, обыденно, повседневно. К нему настолько привыкли, что не замечали.

Оказалось легче и проще догадаться, что Земля — шар (кстати, одним из веских доводов против этого в течение двух тысяч лет считался вопрос, почему с Земли тогда не падают люди, живущие на «нижней стороне» такого шара?), чем обнаружить земное притяжение.

Мы восхищаемся гением древних греков, но как странно звучит сегодня предположение вѣликого Платона о том, будто твердые тела падают на землю, а вода из облаков вливается в ручьи, реки и моря потому, что «подобное стремится к подобному». И все-таки это великолепная догадка, поскольку Платон сформулировал мысль о взаимном притяжении тел, пусть и видел он это притяжение не там и трактовал его неверно.

*Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль.*

*Константин Циолковский*

На первый взгляд кажется чрезвычайно огорчительной история взаимоотношений с тяготением величайшего ученого древности Аристотеля. Создается впечатление, что этот творец двадцати наук — от логики до метеорологии, мудрейший из мудрых, человек, которого обычно включают в список десяти ученых, больше всего сделавших для человечества, тут ошибался чуть ли не на каждом шагу, словно не мог разобраться в элементарных вещах. Вот, например, одна цитата: «Падение массы золота, или свинца, или какого-нибудь другого тела происходит тем быстрее, чем больше его размер». Это утверждение Аристотеля, как и некоторые другие, принималось потомками на веру две тысячи лет!

Что это — абсолютное отсутствие наблюдательности у гения? Конечно, нет. Не случайно же такое «отсут-

ствие наблюдательности» проявляли ученые на протяжении еще девятнадцати веков. И совсем не только потому, что они находились в рабском подчинении авторитету Аристотеля — подчинении, заведомо отвергавшем всякую проверку утверждений древнего философа. Ведь его выводы проверяли, и кто! — например, сам Леонардо да Винчи. Великий художник и ученый бросал тела разного веса и пришел к тому же итогу: скорость падения зависит от веса тела.

В чем же здесь дело? Тут нужно искать причины прежде всего исторического характера. Древние еще не умели, по-видимому, вкладывать точный количественный смысл в понятия «быстрее» и «медленнее». Тяжелые тела действительно падали быстрее легких, а насколько именно — поди измерь... Число стало главным героем научных сражений лишь с приходом в науку Ньютона. Ведь даже Галилей далеко не всегда придавал численным определениям должное значение.

И все-таки Аристотель, даже допуская одну из самых поразительных своих «ошибок», мимоходом, обосновывая неверный вывод, знакомит нас с одним из своих самых поразительных научных прозрений. Он считал, что разная скорость падения тел объясняется их разной тяжестью и сопротивлением среды, в которой происходит падение. В пустоте все тела — тяжелые и легкие — падали бы одинаково быстро. Для Аристотеля это блестящее обобщение — тот самый прием, который в геометрии называется приведением к абсурду. Ведь пустоты, по мнению философа, в природе не только нет, но и быть не может. Природа боится пустоты. Значит, не могут тела тяжелые и легкие падать с одной и той же скоростью...

Словом, на ошибках ученых прошлого можно изучать не только и даже не столько психологические тонкости индивидуального познания, но и исторические особенности мышления целых эпох.

Одной из важнейших дат в истории физики считается по праву 365 год до н. э. В этом году девятнадцатилетний Аристотель — впервые в мире — отметил, что свободное падение тел представляет собой ускоренное движение.

Касаясь причины того, почему предметы падают на землю, а пар поднимается к небу, Аристотель с его стремлением к «устроению» строгого и точного миропонимания

рядка давал (вслед за Платоном) этому простое объяснение. В мироздании всему отведено свое место. Планетам — круговые орбиты. А тяжелым телам — центр мира. И если что-то даже находится «не на своем месте», то оно во всяком случае стремится его занять.

Аристотель не был первым, кто задумался над тем, почему тяжелые тела падают на землю. Но его фигура олицетворяет для нас науку Древней Греции, его догадки, достижения и ошибки характерны для целой эпохи. Поэтому разговор о том, как началась наука о тяготении, естественно все-таки начать с рассказа об этом ученом.

Аристотель считался прямым потомком бога. Асклепий, бог исцелитель, покровитель медицины и врачей, хранитель здоровья — отличный божественный предок. В длинной линии поименно перечисляемых его потомков — Аристотель. Но вопреки традиции врачом Аристотель не стал, хотя его прадед, дед и отец занимали почетные и доходные должности придворных врачей македонских владык. Он получил признание еще при жизни, более того — в относительно молодые годы, и получил полной мерой. Филипп Македонский, недавний пациент и покровитель отца Аристотеля, пригласил ученого, которому тогда было сорок с небольшим, в учителя к своему сыну Александру. И написал, мол, не тем он счастлив, что есть у него сын Александр, а тем, что может этот сын учиться у Аристотеля. Плата за уроки была поистине царской. Восстановил македонский царь Стагиру, родной город Аристотеля, взятый незадолго до того штурмом и разрушенный, и собрал в него прежних жителей, большую часть которых пришлось для этого выкупить из рабства.

Но главным занятием Аристотеля было не обучение царевичей, а создание новых наук. Можно даже сказать: Науки — с большой буквы.

Не мог он не высказаться и о тяготении. И о движении тоже (а мы увидим дальше, как тесно связаны природой эти два понятия).

Аристотель полагал, что тело движется, пока на него влияет какая-то сила. Перестанет она действовать — тело остановится. Как просто! Но не надо сразу смеяться. Хорошо нам — после Галилея и Ньютона. Альберт Эйнштейн не осуждал гениального грека. В книге «Эволюция физики», написанной совместно Эйнштейном и



Инфельдом, так и говорится, что это положение Аристотеля, по существу, отвечает обычному житейскому опыту.

Закон инерции, кажущийся нам сейчас очевидным, пельзя было, с точки зрения авторов «Эволюции физики», просто и прямо вывести из реальных обыденных событий. Тут требовалась высокая степень абстрактного мышления. Чтобы достигнуть ее, человечеству пришлось дожидаться появления сначала Галилея, а потом Ньютона. А для IV века до н. э. то, что можно назвать «Законом Аристотеля», было, выходит, вполне допустимым обобщением. Неверным? Да нет, верным — по крайней мере на первый взгляд, даже на первый взгляд настоящего ученого — кто посмеет сказать, что Аристотель им не был?

Греки ведь не знали быстродвижущихся тел, если не считать, конечно, стрелы, пущенной из лука, или камня, брошенного пращей. А кроме того, как уже говорилось, у греков не было точного количественного подхода к скорости.

Аристотель видел, что колесница останавливается, когда останавливается впряженный в нее конь. И подталкиваемый камень перестает двигаться, стоит рабу присесть отдохнуть. Он сделал обобщение, вывел закон — и хорошо еще, что этот закон, раз он неправильный, был так «легко» опровергнут через две тысячи лет.

*Сперва собирать факты, и только после  
этого связывать их мыслью.*

*Аристотель*

Аристотель стоял на рубеже двух эпох. Он замыкал цепь великих древнегреческих угадывателей тайн природы. Он открывал блестящий ряд ученых, которые не только делали открытия, но и систематизировали знания, накопленные наукой до них, искали и находили новые пути к истине. Демокрит и Эмпедокл до него, Евклид и Архимед после него — эти имена хорошо характеризуют место Аристотеля в античной науке. Он был первым великим систематизатором в истории науки и тем самым, как бы странно это ни казалось на первый взгляд, положил конец великим догадкам древних греков.

Галилей разрушил аристотелево представление о движении ~~и падении~~ тел. Ньютон окончательно разделался

с идеей о стремлении тяжелых тел к «центру Вселенной». Можно было бы перечислять и перечислять имена физиков, биологов, медиков, опровергнувших то или иное утверждение древнего философа, но каков же был вклад в науку человека, для одного лишь исправления ошибок которого потребовались усилия стольких гениев!

Смерть воспитанника Аристотеля — великого завоевателя Александра Македонского обернулась для воспитателя трагедией. Освободившиеся от страха перед грозным тираном афиняне видели в Аристотеле прежде всего его приближенного. Философу пришлось бежать из Афин, чтобы, по собственному выражению, избавить город от нового преступления перед философией — первым преступлением Афин перед ней было осуждение на смерть Сократа.

А вскоре ученый умер... Возможно, утопился. Возможно, потому, что не смог пережить гонений. Его смерть родила прекрасную легенду.

...Блистательный военный поход Александра Македонского был одновременно самой грандиозной научной экспедицией. По рассказу древнеримского историка Плиния, несколько тысяч людей при армии Македонца специально занимались поиском животных, поскольку учитель Александра Аристотель как раз в это время работал над своей «Историей животных». Жадно встречал Аристотель известия, приносимые возвращавшимися из походов греками, сообщения о странных камнях, растениях, животных, необычных природных явлениях. Много интересного узнавал великий ученый, но самые поразительные новости принесли воины, побывавшие на побережье Индийского океана. Они свидетельствовали, что там дважды в сутки морская вода поднимается на много локтей и идет на сушу, чтобы через несколько часов отступить. Иначе говоря, Аристотелю описали приливы и отливы.

В Средиземном море приливы и отливы настолько незначительны, что греки на них подросту не обращали внимания, не замечали их — может быть, еще и потому, что привыкли. Поэтому индийские новости потрясли Аристотеля. Как и подобало настоящему ученому, Аристотель стал искать причину, по которой происходят приливы и отливы. Не смог найти ее. И от отчаяния якобы бросился в море.

Уж такая-то легенда говорит о характере своего героя больше, чем многие правдивые истории. Счастлив ученый, предполагаемое самоубийство которого современники приписывали не личным несчастьям и не политическим гонениям, а великой страсти к науке.

Древние называли морские приливы «могилой человеческого любопытства». Кто первый понял, точнее сказать — подметил, что приливы как-то связаны с Луной, точно неизвестно. Для римлян I века до н. э. это была уже настолько тривиальная истина, что Юлий Цезарь мимоходом упоминает о ней в своих «Записках о Галльской войне». А понять было нелегко, потому что даже семнадцать веков спустя Галилей считал идею о Луне, управляющей приливами, глупейшим предрассудком. Впрочем, и противник Галилея в этом вопросе, Кеплер, мог сослаться для объяснения только на особую власть Луны над водой.

Замечательно утверждение историка Плутарха: «Луна упала бы на землю как камень, чуть только уничтожилась бы сила ее полета». Под такой фразой подпишется любой физик нашего времени.

И все-таки преувеличивать значение даже столь блестящих догадок не стоит.

Древняя Греция была богата мыслителями, каждый из которых оставил после себя множество идей.

Среди тысяч противоречащих друг другу формулировок не могут не найтись совпадающие с теми, к которым пришла современная наука. А на те, что не совпадают, мы просто не обращаем внимания — ведь это не интересно. Было бы чрезвычайно любопытно провести детальный анализ, чтобы более или менее точно определить, какая доля догадок древних греков основывается на том, что можно назвать научным предвидением, а какая представляет собой просто «случайные попадания».

А порою мы вкладываем в отрывочные фразы гениев прошлого смысл, который поразил бы самих авторов этих фраз.

В средние века догадки становятся, в общем, определеннее и точнее.

Шотландец Иоанн Скот Эригена в IX веке полагал, что по мере удаления от Земли тяжелые тела должны становиться легче.

Англичанин Аделяр из старинного города Бата тремя веками позже прямо написал, что если в Земле вырыть колодец огромной глубины и бросить в него камень, то в центре Земли камень остановится и дальше не полетит. Вот для сравнения цитата из «Заинтересной физики» Я. И. Перельмана: «...с углублением в землю тела не увеличиваются в весе, а напротив, уменьшаются. Объясняется это тем, что в таком случае притягивающие частицы земли расположены уже не по одну сторону тела, а по разные его стороны... Достигнув центра Земли, тело совсем утратит вес, сделается невесомым, так как окружающие частицы влекут его там во все стороны с одинаковой силой».

Насколько мы можем судить, Аделяр тут исходит из общих представлений древних о шаре как идеальной и исключительной геометрической форме.

Роджер Бэкон, самая, быть может, поразительная личность в истории европейской науки, во всяком случае между античностью и Возрождением, объяснил падение тел силой притяжения, направленной к центру Земли. Как просто и ясно это положение сегодня! Но тогда для такой четкой формулировки понадобился гениальный ум, кроме всего прочего, предвидевший такие открытия будущего, как колесницы, движущиеся без лошадей, корабли, не нуждающиеся в гребцах и парусах, наконец летательные машины.

Итальянский писатель и медик Джироламо Фракасто-ро заявляет в 1538 году, что все тела притягиваются.

Великий исследователь магнетизма Вильям Гильберт, лейбмедик королевы Елизаветы Английской, считал землю гигантским магнитом, притягивающим все мелкие тела. Это была, пожалуй, первая попытка найти общие корни магнетизма и гравитации — первая из серии попыток, не прекращающихся и по сей день.

Некоторые востоковеды полагают, что к открытию закона всемирного тяготения в XII веке довольно близко подошел замечательный ученый и поэт Анвари (Эшвери). Ему помешал, увы, слишком трезвый расчет, который увел его из науки в поэзию. Оборванный и голодный ученый как-то встретил на городской улице роскошно одетого всадника на прекрасном коне и с удивлением узнал, что это придворный поэт. Анвари тогда оставил науку ради почестей и богатств, которые сулила карьера поэта. Но кончил он свою жизнь все равно в нищете,

хотя его стихи издают до сих пор, а песни на его слова и поныне поют в Таджикистане и Иране. Анвари менее известен, чем Фирдоуси и Саади, но вместе с ними его причисляют к «трем пророкам» персидской поэзии. И все-таки этот человек написал: «Враг души моей стихи — я их так лелеял. О, правоверные, горе лелеять врага!»

Догадки о существовании тяготения, родившиеся до конца XVI века, не образуют стройной системы. Нельзя построить, расположив их в хронологическом порядке, лестницы, по ступеням которой познание в этой конкретной области двигалось бы от Аристотеля к Галилею. Чтобы превратить здесь отдельные «провидения» в доказанные законы, человечеству нужно было предварительно получить, так сказать, общее среднее образование: накопить достаточно сведений астрономических и физических, освоить систематические знания по математике, обучиться на новом уровне философии и логики...

Открытия средневековья и Возрождения во многих отраслях науки подготовили тот прорыв физики вперед, который оказался связан прежде всего с исследованием проблем тяготения.

## ПОДСТУПЫ. ГАЛИЛЕЙ И КЕПЛЕР

**Ч**тобы появились законы, надо было найти четкие связи между явлениями и выразить их в математических формулах.

Тяготение равно повелевает падением тел, находящихся на Земле, и движением небесных тел. Чтобы найти общий, единый «для неба и земли» закон всемирного тяготения, надо было сначала выяснить — по отдельности — казавшиеся не связанными между собой закономерности падения камня и движения светил.

Выполнение первой из этих задач выпало на долю Галилео Галилея.

Для истории исследования тяготения важны прежде всего не астрономические наблюдения и открытия великого астронома, хотя именно они составили его славу, не горы на Луне, не спутники Юпитера и многое другое, но его умение ставить опыты на Земле, вырывая у природы истину.

Ученый, сверстник Галилея.  
Был Галилея не глупее.  
Он знал, что вертится Земля,  
Но у него была семья.

Так писал Евгений Евтушенко в стихотворении «Карьера». Поэт, в общем, точен. После Коперника не так уж мало ученых разбиралось в том, что вокруг чего вертится. Галилей был достаточно смел, чтобы вести пропаганду идей Коперника до той самой минуты, когда перед ним замаячил костер. Он отрекся, но после стольких лет борьбы, что само отречение — с точки зрения церкви — уже запоздало. Народная память задним числом оправдала борца, вложив ему в уста знаменитое: «А все-таки она вертится!»

Нисколько не умаляя значения Галилея в истории науки, мы вправе посчитать защиту и пропаганду гелиоцентрической системы при всей важности этого дела только мелкой деталью его биографии. Да и важна она оказалась постольку, поскольку за популяризатором стоял его авторитет как ученого и талант как писателя. Как Ньютон велик и без анекдота про пресловутое яблоко, так Галилей велик и без преследований со стороны церкви.

Для темы этой книги всего важнее три направления в работах Галилея.

Первое связано с изучением падения тел и движения маятников.

Второе — с развитием принципа относительности (впрочем, о принципе относительности и вкладе в эту идею Галилея лучше поговорить позже, когда речь пойдет о научных событиях, в ходе которых этот принцип стал одной из основ теории тяготения).

На третьем направлении был открыт закон инерции, закон, по которому тело сохраняет состояние покоя или равномерного движения, пока не вмешается внешняя сила. Правда, это формулировка более поздняя, ньютоновская, но предтечей Ньютона был Галилей. Вот как сам великий итальянец изложил этот закон в конце своей жизни: «Степень скорости, обнаруживаемая телом, ненарушимо лежит в самой его природе, в то время как причины ускорения или замедления являются внешними».

Два самых ярких с внешней стороны эпизода научной жизни Галилея (если оставить в стороне его пресле-

дования церковью) связаны с двумя зданиями города Пизы. С высоты знаменитой Пизанской башни он бросал «пробные тела» (выражаясь языком современной физики) разного состава и массы и обнаружил, что все они падают с почти одинаковой скоростью; небольшая же разница зависит от сопротивления воздуха, которое, как мы знаем, сам Аристотель советовал принимать во внимание. Результат этих опытов известен нам всем по школьным урокам физики: все тела падают равномерно-ускоренно, с одним и тем же (если исключить влияние среды) ускорением.

С законами, управляющими движением маятника, мы все тоже познакомились в школе; кроме того, впереди у нас специальная глава об определении силы тяжести с помощью маятников.

Поэтому здесь уместно ограничиться цитатой из рассказа Вивiani, ученика и первого биографа Галилея.

«В 1583 г., имея около двадцати лет от роду, Галилей находился в Пизе, где, следуя совету отца, изучал философию и медицину. Однажды, находясь в соборе этого города, он, со свойственной ему любознательностью и смекалкой, решил наблюдать за движением люстры, подвешенной к самому верху, не окажется ли продолжительность ее размахов, как вдоль больших дуг, так и вдоль средних и малых, одинаковой; ибо ему казалось, что продолжительность прохождения большой дуги может сократиться за счет большей скорости... И пока люстра размеренно двигалась, он сделал грубую прикидку — его обычное выражение — того, как происходит ее движение взад и вперед, с помощью бисней собственного пульса...»

Эта «грубая прикидка» дала ученым один из самых совершенных приборов для определения времени, силы тяжести и многого другого.

Наблюдательность юноши была поразительна: все, что попадало в поле его зрения, подлежало исследованию, все равно, находилось оно на земле или на небе.

Важнейшей из своих заслуг перед наукой Галилей считал создание учения о падении тел. Об этом говорит он сам устами героев своей написанной в форме диалогов книги «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки»: «Я твердо верю, что как немногие свойства круга, установленные в третьей книге «Элементов» Евклида (говоря для примера),

послужили исходным пунктом для обнаружения множества других, более скрытых соотношений, так и то, что изложено и доказано в настоящем кратком трактате, попав в руки других пытливых исследователей, укажет им путь ко многим удивительным открытиям; мне думается, что так оно и будет, так как этот предмет своей значительностью превосходит все другие явления природы.

С одной стороны, Галилей здесь сам себя сравнивает с Евклидом, с другой — возлагает надежды на будущих пытливых исследователей; все это с уверенным достоинством. Но обратим внимание: он уверенно объявляет падение тел самым значительным из явлений природы. Однако оговаривает в этой книге, что полагает неуместным или невозможным вдаваться в исследование проблемы, какая причина вызывает падение.

В поисках причины тяготения Галилей не пошел намного дальше Аристотеля. Только-только рождавшаяся опытная наука часто брала на веру то, чего проверить еще не могла.

«Небесную часть» работы по созданию фундамента будущего великого закона выполнил прежде всего Иоганн Кеплер.

Причем в данном случае на примере Галилея отлично видна правота пословицы «На всякого мудреца довольно простоты». Галилей и Кеплер были большими друзьями и высоко ценили, как правило, научные достижения друг друга. Переписка этих двух предтеч Ньютона — один из важнейших документальных источников об их эпохе. Но вот Кеплер делает самое великое из своих открытий: приходит к выводу, что планеты движутся вокруг Солнца не по кругам, а по эллипсам, и формулирует три закона такого движения планет, три закона, которые получили имя Кеплера и обессмертили его.

Эти законы были проявлением в конечном счете закона всемирного тяготения; до сих пор законы Кеплера в обобщенной и уточненной форме применяются в небесной механике, когда исследуются орбиты двух гравитационно связанных небесных тел. Словом, это было действительно экстраординарное открытие; даже сама формулировка законов Кеплера оказала в дальнейшем влияние на формулировку Ньютоном его законов.

Кеплеровское открытие отнюдь не осталось незамеченным. Одни ученые восхищались, другие оспаривали. И только один крупный астроном молчал. Это был сам



Галилей. Между тем Кеплер сделал свои выводы и предал их гласности как раз в то время, когда именно астрономия была главным занятием Галилея. Он не мог не знать законов Кеплера. Но ни в одном его напечатанном произведении, ни в одной рукописи, оставшейся неопубликованной, ни в одном письме великий итальянец словом не обмолвился об эпохальном открытии своего современника, коллеги и друга. Он был слишком предан кругу как идеальной форме; обращение круга в эллипс было для Галилея тем же, чем для его собственных идейных противников обращение Земли из центра мира в обыкновенную планету. Он не мог принять это. Но от идейных противников Галилея самого его отличала внутренняя честность. Принять не мог и не мог опровергнуть, а потому молчал. Не считал себя вправе с высоты общих правил обрушиваться на конкретные исследования. Будто и не было для него величайшего астрономического события эпохи — из тех, что не связаны с работами самого Галилея \*.

Галилей и Кеплер — два этих имени навечно остались стоять рядом в истории науки. Их письма доносят до нас тепло дружеских отношений людей, протягивающих друг другу руки через страны, измученные войнами и эпидемиями, религиозной враждой и преследованиями. Какие же это разные люди!

Галилей — рационалист до мозга костей, человек трезвого ума, здравомыслящий в лучшем и высшем смысле этого слова.

Кеплер — человек увлекающийся, для него астрология не была просто отхожим промыслом, как для многих астрономов его времени, вечно пуждавшихся в деньгах. Он брался предсказывать по положению планет не только судьбы людей, но и погоду, то и дело попадал тут впросак и потом долго и нудно оправдывался с помощью новых астрологических соображений. Оправдывался, пожалуй, не столько перед невольными обманутыми им поклонниками, сколько перед самим собой. А точнее, пожалуй, оправдывал астрологию.

Он сопоставлял орбиты планет вокруг Солнца с правильными многогранниками (интересующихся подроб-

---

\* Можно добавить, что планетные орбиты — эллипсы — довольно близки к кругу. Эта близость формы и позволяла, вероятно, Галилею всю жизнь сопротивляться идее Кеплера. Однако идея ведь была доказана, Кеплер не гипотезу выдвинул, а сделал открытие!

ностями отсылаю к книге К. Левитина «Геометрическая рапсодия», вышедшей в издательстве «Знание» в 1976 году). А позднее пытался объяснить закономерности расстояний между орбитами планет, исходя из интервалов музыкальных тональностей. Работу, посвященную этой теме, он назвал «Гармония мира». Он мог использовать в качестве тяговой силы для планет, вращающихся вокруг нашей дневной звезды, не более и не менее как ангелов.

Для Кеплера все планеты были существами одушевленными, он полагал, что планета «имеет ощущение величины углов». Солнце для него — движущая душа Солнечной системы; именно Солнце (когда была отброшена гипотеза об ангелах) стало, по Кеплеру, двигать планеты вокруг себя. При этом, опираясь на открытие англичанина Вильяма Гильберта, обнаружившего, что Земля — большой магнит, Кеплер создает гипотезу о том, что и Солнце и все планеты — шарообразные магниты. Магнитное взаимодействие, однако, объясняет не движение планет вокруг Солнца — тут решающая роль самого светила для Кеплера аксиома, — а изменения расстояния от планеты до Солнца на разных участках орбиты.

Надо сказать, уже сама мысль о том, что движение планет совершается под воздействием какой-то внешней силы, была глубоко новаторской, в той же или почти той же мере, как превращение круговых орбит в эллиптические. И в каком бы фантастическом облике эта сила ни выступала, само появление представления о ней было важным подступом к будущему закону всемирного тяготения.

Кеплер говорит и о существовании собственно тяготения. Но находит, что оно действует только между покоящимися телами.

Зато иногда он дает формулировки, куда более четкие, чем Галилей. Вот, например: «Тяжелые тела (в особенности, если мы помещаем Землю в центре мира) не устремляются к центру мира так таковому, но как центру сродственного шарообразного тела, именно Земли. Поэтому где бы ни находилась Земля, или куда бы она ни переместилась... всегда к ней устремляются тяжелые тела. Если бы два камня были помещены вблизи друг от друга в каком-либо месте мира, вне круга действия третьего сродственного тела, то эти камни сошлись бы в промежуточной точке, причем каждый из них прибли-

зился бы к другому на такое расстояние, каким является громада второго камня сравнительно с первой. Если бы Земля и Луна не удерживались своей естественной силой или любой ей равнозначной каждая на своей орбите, то Земля приблизилась бы к Луне на  $1/54$  часть расстояния, а Луна опустилась бы к Земле на остальные 53 части его, и здесь бы они соединились; все это, однако, в предположении, что плотность той и другой равны и одинаковы. Если бы Земля перестала притягивать свои воды, то все воды морей поднялись бы и втеснили в тело Луны».

По поводу таких мыслей Кеплера покойный советский астроном Н. И. Идельсон писал: «Кто станет отрицать теперь, что в этих тезисах заложены положения, которые вошли затем в стройную архитектуру ньютоновской динамики? Но самое существенное здесь то, что у Кеплера все эти положения создаются почти вне всякого контакта с опытом, они налагаются на природу как некоторые умозрительные выводы, как предпосылки будущих опытов вообще».

Это суровый, но справедливый вывод. Впрочем, нельзя недооценивать ту эвристическую, как сейчас говорят, роль, которую играли для Кеплера его неверные послышки. «Шесть аксиом» планетного движения, одна из которых была приведена, по меньшей мере наполовину носят мистический характер, но они помогли ему создать три бесспорно верных и бесспорно материалистических закона.

Не в первый и не в последний раз в истории науки ученый ухитряется делать верный вывод, опираясь, кроме верных посылок, и на явно неверные. Известно, что спустя триста лет для Эйнштейна в его работе над теорией относительности важнейшую эвристическую роль играл «принцип Маха», утверждавший, что все природные явления — результат взаимодействия тел. Прошли десятилетия, и сам Эйнштейн увидел неполноту этого принципа, неприменимость его в новой физике, опирающейся на понятие поля, а все-таки в свое время «принцип Маха» ему помог.

Вот так многие явно ошибочные взгляды Кеплера, даже астрологические его убеждения кое в чем способствовали его астрономическим открытиям. Из этого не следует, конечно, что астрология всегда полезна — тут скорее применим тот шахматный принцип, который гла-

сит, что игроку в партии лучше руководствоваться плохим планом, чем не иметь никакого.

Многое в особенностях мышления Кеплера можно объяснить влиянием эпохи.

Мистицизм был присущ средневековому мышлению, астрономы, как правило, были по совместительству и астрологами, а алхимики часто одушевляли в своих рассуждениях химические элементы и соединения, с которыми работали, — не то что далекие планеты и Солнце, как Кеплер. В этом смысле великий астроном был ученым средневековья (увы, не последним), в то время как Галилей — первым ученым нового времени. Можно даже, пожалуй, сказать, что отдельные характерные черты рассуждений Кеплера восходят к еще более древнему, чем средневековье, мифологическому мышлению.

Древнегреческие мыслители отбросили мифы, в которые они перестали верить, а Кеплер два с лишним тысячелетия спустя вернулся к антропоморфизации, очеловечиванию сил природы. Это один из многих исторических парадоксов: эпоха, наконец-то создающая новую науку, берет порою на вооружение тот подход к природе, который, казалось бы, устарел много веков назад и был отброшен учеными, знавшими несравненно меньше своих коллег конца XVI — начала XVII веков.

Но, может быть, в том и заключается объяснение парадокса, что общий запас знаний человечества о явлениях природы многократно вырос, между тем, с одной стороны, обрушилось мироздание, построенное античными философами и, с другой — исследователи только еще учились формулировать законы по-новому, с должным вниманием к математической стороне дела. Так не было ли для Кеплера одушевление природы, по сути, чем-то вроде строительных лесов или, как говорят сегодня, эвристическим приемом? Только сам-то он считал эти леса неотъемлемой частью возводимого им здания новой астрономии.

Леса мифологизации в физике отработали свое и были окончательно отставлены и сожжены не одними только преемниками, но частью и современниками Кеплера, в том числе Галилеем.

Вот что утверждает Галилей (на триста лет раньше, чем это стало тривиальной истиной): «Философия написана в той величественной книге, которая постоянно лежит открытой у нас перед глазами (я имею в виду

Вселенную), но которую невозможно понять, если не научиться предварительно ее языку и не узнать те письмены, которыми она написана. Ее язык — язык математики, и эти письмены суть треугольники и другие геометрические фигуры, без помощи которых невозможно понять в ней по-человечески хотя бы одно слово; без них мы можем только кружиться впустую по темному лабиринту».

*...Без «человеческих эмоций» никогда не бывало, нет и быть не может человеческого искания истины.*

*В. И. Ленин*

И вот тут мы подошли к еще одному поразительному парадоксу. Галилей, издевающийся равно над схоластикой, астрологией и «учеными», которые отказываются заглянуть в телескоп, гневно возражающий (до своего судебного процесса) против требований, чтобы о гелиоцентрической системе Коперника говорили не как о реальности, а как об удобной для астрономических расчетов абстракции, — этот самый Галилей, как мы видели, не смог принять превращения круга в эллипс. В результате не принял и кеплеровских законов. Для него этот собрат был слишком свободомыслящ, разумеется, в науке.

Он то пишет одному из коллег, что Кеплер зашел «что называется, слишком далеко», что его «фантазии» подорвут авторитет системы Коперника. То прямо говорит (в другом письме, написанном через четыре года после смерти Кеплера): «Я всегда считал Кеплера человеком свободного (пожалуй, даже слишком) и острого мышления, но мой метод рассуждения решительно отличен от его метода; разумеется, может оказаться, что в наших работах об одних и тех же предметах, однако только в отношении движений небесных тел, мы могли встретиться в некоторых, хотя и немногих построениях... но этого не будет обнаружено и в одной сотой части моих мыслей».

*...Какова сила истины: в то время, как вы пытаетесь ее опровергнуть, сами ваши нападки возвышают ее и придают ей большую ценность.*

*Галилео Галилей*

Галилея, наверно, страшно раздражала мистическая и метафизическая мешанина, сопровождавшая в роли

неизбежной шутовской свиты подлинно королевские идеи его великого современника. При этом он порою выплескивал вместе с водой и ребенка. Как возмущала гениального итальянца мысль Кеплера, что приливы и отливы вызываются Луной! Он видел в этом отрывку астрологии, хотя Кеплер опирался тут на точные наблюдения, даже если к самой идее пришел под влиянием своей любимой лженауки.

Кеплер не считал, что мышление может быть слишком свободным. Вот высший комплимент, которым он удостоил память Коперника: он был человеком «высшего гения и, что в этих (астрономических) вопросах особенно важно, свободного мышления».

Высшим гением, выходит, обладать мало...

Именно за свободу мышления, наверное, Маркс называл Кеплера (вместе со Спартаксом) одним из своих любимых героев.

Кеплер сохранил куда больше лженаучных и даже донаучных предрассудков, чем Галилей, зато умел лучше справляться со своеобразными научными предрассудками. Как ни странно, отвергнуть идею круга как идеальной и единственно возможной планетной орбиты было труднее, чем поменять в системе мира местами Солнце и Землю. В последнем случае ведь можно было сослаться и опереться на какую-никакую, но все же достаточно древнюю традицию, напоминать другим (и, главное, себе), что такие-то и такие-то древние греки тоже так думали.

Спор между кругом и эллипсом начал Кеплер и решал его в пользу эллипса вопреки «авторитету всех философов».

Галилей так полагался на свой рассудок, что оказался не только великим ученым, но и первым в ряду тех борцов против «безумных идей», которые противопоставляли этим идеям не догму, как враги самого Галилея, а здравый смысл. Вот как он возражает против связи приливов и Луны: «Признать, что тут действуют Луна и Солнце и что они вызывают подобные явления — все это совершенно претит моему рассудку». Конечно, он говорит о рассудке, но не случайно здесь употреблено столь эмоциональное слово «претит».

И новый парадокс!

В жизни и даже пропаганде коперниковского учения Галилей был гораздо смелее Кеплера, выступал (до

своего процесса) решительнее, а когда он однажды «договорился» до идеи о множественности миров, Кеплер считал нужным осторожненько, экивоками напомнить в письме коллеге об участии Джордано Бруно.

Пожалуй, эти два титана были предшественниками Ньютона не только в научном плане. Он соединил в фундаменте своей теории всемирного тяготения достижения их мысли, а в себе некоторые разноречивые черты их характеров. Блестящий математик, еще более великий, чем Кеплер, он опирался на опыт в еще большей степени, чем Галилей. Суровый рационалист, как тот же Галилей, Ньютон время от времени словно сбрасывал с себя груз логики, и тогда в худшем случае допускал... чуть ли не божественное происхождение тяготения, зато в лучшем — передачу силы притяжения от тела к телу без посредников. Идею, которой возмущались многие его современники (а иногда и он сам), которую Галилей объявил бы тяжелейшим научным грехом, но без нее не мог быть сформулирован закон всемирного тяготения.

Нередко укоряют великих людей прошлого: мол, они открыли не все, что, как кажется на современный взгляд, могли открыть. Еще бы один шагок вперед, бросок мысли, дополнительный расчет, добавочное обобщение — и новый важный закон появился бы на пятьдесят—сто лет раньше.

Не будем забывать: каждый раз между двумя научными законами, отделенными друг от друга временем, лежит не только конкретный путь «от мысли к мысли», но и кропотливая работа многих исследователей.

Это очень хорошо видно на примере Галилея. Он делает гигантский прорыв на фронте борьбы с незнанием — прорыв на широком участке. Если продолжать дальше сравнение, то прежде чем развить прорыв, наука должна закрепиться на занятом плацдарме, подтянуть тылы, пополнить боеприпасы, заменить устаревшее вооружение. Галилей — великий борец против многих положений Аристотеля. Однако причиной падения тел для него остается стремление всех тел собраться в один центр — почти по Аристотелю. Справедливости ради нужно сказать, однако, что Галилей говорил и о множественности центров тяготения.

Луна, полагал Галилей, остановись она, упала бы на Землю с тем же ускорением, что и камень, брошенный

с Пизанской башни. Он не думал, что расстояние от центра Земли может сказаться на ускорении падения. Чтобы это увидеть, надо было признать за законом тяготения некоторый набор свойств, характерный и для законов изменения других явлений.

Знали же, например, что действие магнита с расстоянием быстро ослабевает.

Роберт Гук, английский физик и химик, старший современник Ньютона, сумел сделать этот шаг. Он пришел к выводу, что тяготение с расстоянием ослабевает. Увы, он пытался проверять свою совершенно справедливую мысль, проводя опыты с маятниками разной длины на башнях Вестминстерского аббатства, а высота башен была — при тогдашних приборах — слишком мала для обнаружения разницы в силе тяжести. Он же категорически утверждал, что все небесные тела обладают тяготением, иначе они разлетелись бы по прямым линиям во все стороны, а не были бы «привязаны» к своим орбитам. Он пришел в конце концов и к выводу о том, что тяготение ослабевает пропорционально квадрату расстояния, а потом весь остаток жизни доказывал, что именно ему, Роберту Гуку, принадлежит приоритет в создании закона всемирного тяготения.

Мы точно знаем, что о таком ослаблении тяготения говорилось и до Ньютона и до Гука. Итальянец Альфонсо Борелли утверждал это в печати еще в 1665 году, когда Ньютон только еще размышлял над своим законом. И все же одно дело в науке — сказать, а другое — доказать. Борелли опирался лишь на наблюдения за движением спутников Юпитера. Роберт Гук выдвинул общую идею, которую не смог доказать математически по той простой причине, что он не умел составлять требовавшиеся в данном случае уравнения. С Вселенной — Галилей прав — надо говорить на ее языке. Иначе ты, может быть, и поймешь общий смысл ее речений, но «переводчиком» стать не сможешь.

## ЗАКОН ОТКРЫТ!

«И в том же году я начал думать о тяготении, простирающемся до орбиты Луны... Все это было в 1665 и 1666 гг. — в годы чумы, ибо в те дни я был на заре своей поры изобретений и математика и фило-



софия волновали меня более, чем когда-либо после...» — писал уже постаревший Исаак Ньютон.

Всю науку о природе тогда называли натуральной философией. Но, видно, не случайно Ньютон здесь опустил определение к слову «философия». Потому что для установления связи между падением на землю пресловутого яблока и движением Луны вокруг Земли требовалось и чрезвычайно широкое, именно философское, а не только физическое обобщение.

Один из друзей Ньютона, человек по имени Стекли, остался в истории, поскольку оставил нам историю ньютоновского яблока: «После обеда погода была жаркая; мы перешли в сад и пили чай под тенью нескольких яблонь. Были только мы вдвоем. Между прочим, сэр Исаак сказал мне, что точно в такой же обстановке он находился, когда впервые ему пришла в голову мысль о тяготении. Она была вызвана падением яблока, когда он сидел, погружившись в думы. Почему яблоко всегда падает отвесно, подумал он про себя, почему не в сторону, а всегда к центру Земли? Должна существовать притягательная сила в материи, сосредоточенная в центре Земли. Если материя тянет другую материя, то должна существовать пропорциональность ее количеству. Поэтому яблоко притягивает Землю так же, как Земля — яблоко. Должна, следовательно, существовать сила, подобная той, которую мы называем тяжестью, простирающаяся по всей Вселенной».

Мысль, которая создала первую подлинно научную систему мира. Стоит сказать, что для Ньютона тяготение было не просто одним из свойств материи, а главным ее свойством, ключом к решению загадок Вселенной. Потому что «такие свойства тел, которые не могут быть ни усиляемы, ни ослабляемы, которые оказываются присущими всем телам, над которыми возможно проводить испытания, должны быть почитаемы за свойства всех тел вообще». Главный труд своей жизни великий ученый назвал «Математические начала натуральной философии». В нем Ньютон, опираясь на соединение открытых им законов механики и закона всемирного тяготения, провозгласил, что задача науки объяснить мир в целом, исходя из начал механики. Вот отрывок из авторского предисловия к первому изданию «Начал».

«Вся трудность... как будет видно, и состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы,

а затем по этим силам изъяснить остальные явления. Для этой цели предназначены общие предложения, изложенные в книгах первой и второй. В третьей же книге мы даем пример вышеупомянутого приложения, объясняя систему мира, ибо здесь из небесных явлений, при помощи предположений, доказанных в предыдущих книгах, математически выводятся силы тяготения тел к Солнцу и отдельным планетам. Затем по этим силам, также при помощи математических предположений, выводятся движения планет, комет, Луны и моря. Было бы желательно вывести из начал механики \* и остальные явления природы, рассуждая подобным же образом, но многое заставляет меня предполагать, что все эти явления обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел, вследствие причин покуда неизвестных, или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга».

Обратим внимание на то, как настаивает Ньютон на желательности вывести «из начал механики» все явления природы.

Всеобщность тяготения так же поражала воображение человека, открывшего эту всеобщность, как поражает она воображение человечества до сих пор. В этом свойстве, присущем всему без исключения, Ньютону виделся корень многих других явлений, более того, в определенном смысле корень всех основных свойств материи. Великий англичанин положил начало поискам в этом направлении — поискам, которые продолжаются по сей день.

Тысячи астрономов изучали звездное небо, пути планет и Луны. Миллиарды людей каждый день сталкивались с тем, что все могущее упасть — падает. Ньютон первый объявил, что то и другое происходит по одному и тому же закону.

Сначала он «просто» хотел узнать, Земля ли — единственное место, где действует сила тяжести. И в пару к самому прославленному в мире яблоку он взял ближайшее к нашей планете небесное тело — Луну. И предположил, что сила, удерживающая Луну на ее орбите

---

\* По Ньютону, «...механика есть учение о движениях, производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений, точно изложенное и доказанное».

вокруг Земли,— та же самая, что притягивает тела, находящиеся на поверхности Земли и вблизи от нее.

Известен был (уже немало тысяч лет) период обращения Луны — 27,3 суток. Ускорение свободного падения на Земле тоже было известно — 9,8 метра на секунду в квадрате — знаменитая цифра, с которой мы довольно рано встречаемся на школьных уроках физики. Теперь оставалось вычислить центростремительное ускорение нашего спутника, направленное к центру Земли. Оно оказалось равно 0,0027 метра на секунду в квадрате. То есть примерно в три тысячи шестьсот раз меньше ускорения свободного падения. А расстояние до Луны от центра Земли как раз в шестьдесят раз ( $60^2 = 3600$ ) больше, чем от центра Земли до поверхности самой планеты. Изменение силы тяжести ослабевало пропорционально квадрату расстояния между притягивающимися телами.

«Итак,— торжествовал Ньютон,— сила, которую Луна удерживается на своей орбите, если ее опустить до поверхности Земли, становится равной силе тяжести у нас, поэтому она и есть та сила, которую мы называем тяжестью, или тяготением».

Впервые мысль об единой природе тяжести на Земле и тяготения в космосе была доказана строгим математическим расчетом.

Это и было зафиксировано в законе всемирного тяготения. Очень серьезным аргументом в пользу именно такого воздействия расстояния на силу тяготения была аналогия с освещенностью. Исаак Ньютон много занимался исследованием света и знал, что освещенность поверхности лучами от какого-либо источника света обратно пропорциональна квадрату расстояния от этого источника.

*Формой развития естествознания, поскольку оно мыслит, является гипотеза.*

*Фридрих Энгельс*

Сам Ньютон считал величайшим достоинством своих теорий строгую опору на опыт (на самом деле далеко не всегда она была такой строгой, как казалось ученому). Вот его задиристое заявление: «Все, что не выводится из наблюдений, следует называть гипотезой; гипотезам же, либо метафизическим, либо физическим, либо

скрытых свойств, либо механическим, нет места в экспериментальной философии».

Приглядимся поближе к этой фразе. Во-первых, сразу ясно, что сегодня мы понимаем термин «гипотеза» иначе, чем Ньютон, поэтому его знаменитое «гипотез не строю» (или «не измышляю» — в зависимости от перевода) не должно служить заветом или упрёком для современных физиков. Сам Ньютон, безусловно, тем и занимался, что строил гипотезы и проверял их. Во-вторых, что гораздо важнее, здесь Ньютон кидает камешки, а вернее — целые глыбы, в огороды своих предшественников. Это Кеплер объяснял орбиты в Солнечной системе скрытыми свойствами Солнца и планет; это Галилей любил выдвигать «механические гипотезы»... В науке последователь разрушает часть наследства, полученного от тех, по чьему пути он идет, — это неизбежно.

Главное, значит, для Ньютона наблюдения. Что же, верно. Но чего бы стоили наблюдения сами по себе, если бы он не нашел для их обработки соответствующего математического метода. Больше того, он фактически и заявляет время от времени, что подменяет физику математикой. Категорически утверждает, что «исследует не виды сил и свойств их, а лишь их величины и математические соотношения между ними». (Между прочим, схожие фразы встречаются и в научных трудах, выходящих в наши дни первым изданием. Только относятся эти труды к лингвистике, антропологии, истории, куда математика лишь начинает проникать).

Переход на язык математики позволял строго доказывать свою правоту оппонентам. Но дело было не только в этом. В физике накопилось столько определений понятия «сила», столько предполагаемых разновидностей сил, что отказ от разбирательства, какие силы что собой представляют, переход к исследованию одних лишь величин да соотношений их позволяли Ньютону сделать свое учение единообразным, стройным. Он выполнил, наконец, тот завет Галилея о правилах чтения книги по имени Вселенная, которому сам Галилей был лишь частично верен.

Ньютон сменил непрочный фундамент под законами Кеплера, очистил их от мистической шелухи, отпугивавшей Галилея (хотя, подчеркнем еще раз, сами законы, вероятно, отпугивали Галилея еще больше, чем их обоснование), показал связь между законами Кеплера и Га-

лилеевой силой тяжести, сделал три закона Кеплера следствиями одного закона всемирного тяготения, оправдал кеплеровскую теорию приливов.

Дмитрий Иванович Менделеев особенно ценил в законе всемирного тяготения то, что его созданием Ньютон показал возможность «с единой точки зрения охватить весь механизм мировых явлений». Нельзя недооценивать силу этого закона и как примера, поданного Ньютоном будущим ученым, включая, конечно, и Менделеева.

Итак, союз математики, философии и физики, опирающихся на факты, привел к рождению нового закона.

Вот он:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}.$$

Здесь в числителе произведение  $m_1 \cdot m_2$  масс взаимодействующих тел, в знаменателе квадрат расстояния между ними;  $G$  — коэффициент в этой формуле, так называемая гравитационная константа, она же постоянная тяготения.

Тут следует заметить, что закон Ньютона не был теоретическим в современном смысле этого слова. Формула Ньютона «просто» представляла собой математическое описание опытного факта. Так что Ньютон имел право — во всяком случае по поводу закона всемирного тяготения — сказать о себе, что он в науке строит достоверности (а не какие-то там гипотезы!).

В конце предыдущей главы рассказывалось о том, как некоторые физики с разных сторон подбирались к закону всемирного тяготения, как Гук пришел к закону «обратных квадратов» и т. п. Казалось бы, идея носилась в воздухе, наука созрела для того, чтобы ее освоить. Между тем дальнейшая история закона всемирного тяготения, сформулированного Ньютоном, ясно показывает, что дело обстояло совсем не так. Единодушного восторга ученые отнюдь не выразили. Одни не признавали закон из-за его чрезмерной простоты, другие — из-за чрезмерной сложности пути, по которому Ньютон пришел к своему великому закону.

Во времена Ньютона его современники немало помучались, пытаясь постигнуть вновь провозглашенный закон природы.

Только один пример. Прошло уже много времени с «годов чумы», Ньютон уже опубликовал свое открытие

(а для того, чтобы он на это решился, понадобилось целых восемнадцать лет\*! Нет, не любил спешить с выводами и публикациями человек, которым гордится человечество), и вот его любимый ученик Котс, спора и надежда ученого, сам уже профессор, впоследствии, кстати, автор предисловия ко второму изданию «Математических начал натуральной философии», пишет учителю, что еще способен понять, как это Земля притягивается к Солнцу, но вот что и Солнце притягивается к Земле — это выше его разума. Право же, обидно и грустно, наверное, было Ньютону читать такое письмо. Правда, позже Котс не только понял, наконец, в чем тут дело, но и дал в своем предисловии ко второму изданию «Начал» такое изящное разъяснение вопроса: «Что тяготение между Землею и телами есть действие взаимное и соответственно равное, обнаруживается следующим рассуждением. Вообразим, что весь объем Земли подразделен на две каких бы то ни было части, равные или неравные между собою, тогда, если бы их тяготения друг к другу не были бы между собою равны, то меньшее уступило бы большему и по соединении частей они стали бы двигаться по прямой линии, уходя в бесконечность, в ту сторону, куда направлено большее усилие, что совершенно противоречит опыту». Великолепный образчик мысленного эксперимента, как принято сегодня называть такие рассуждения!

*На свете есть вещи поважнее самых прекрасных открытий,— это знание метода, которым они были сделаны.*

*Готфрид Лейбниц*

Здесь, пожалуй, самое место небольшому отступлению, которое можно назвать, например, так:

## ВРЕМЯ ПРИЗНАНИЯ

**К**ак скоро оказалось общепризнанным в ученом мире открытие Исаака Ньютона? Ответ должен быть таким: последнее конкретное возражение против закона всемирного тяготения, принадлежащее крупному

---

\* Задержку иногда связывают и с тем, что Ньютон ожидал появления уточненных данных о движении Луны по ее орбите.

ученому, было опубликовано в 1745 году. Французский математик и астроном Алексис-Клод Клеро (между прочим, со своим первым научным докладом в Парижской академии наук он выступил, когда ему было всего двенадцать лет) утверждал, что некоторые детали вычисленной им орбиты Луны требуют исправления закона всемирного тяготения. Впрочем, потом он перепроверил свой результат и обнаружил ошибку, на этот раз собственную.

Христиан Гюйгенс, которого сам Ньютон называл великим ученым, изобретатель часов с маятником, сделавший чрезвычайно много и для уяснения того, по каким законам происходит падение тел и для прояснения роли центробежной силы вращения Земли,— этот самый Гюйгенс сначала называл закон всемирного тяготения абсурдным, а чуть позже — маловероятным. Спустя почти шестьдесят лет после того, как Ньютон опубликовал свой закон, величайший математик эпохи Леонард Эйлер выражал сомнения в универсальности и даже точности этого закона.

Журнал «Земля и Вселенная» как-то перепечатал из английского астрономического журнала «Отчет о заседании, которого на самом деле никогда не было».

Некий молодой астроном, репутация которого была далеко не прочной, сделал на этом вымышленном заседании доклад о выведенном им новом законе. Сам доклад не приводится. Мы знакомимся только с выступлениями ученых, обсуждавших идеи юного коллеги,— обсуждавших и осуждавших.

Астронома бьют фактами, которых его теория не может объяснить. Между прочим, все факты — подлинные, и хотя некоторые из них не имеют никакого отношения к данной теории, но большинство астрономических наблюдений, на которые ссылаются оппоненты, справедливы. Правда, почти все эти наблюдения были сделаны спустя десятки и сотни лет после разработки «доложенной» теории. Потому что перед нами типичный образец научного юмора, а в роли осмеянного докладчика выступает молодой Ньютон — в ту пору даже еще не сэр Исаак (титул он получил много позже, и, по-видимому, прежде всего в связи со своей деятельностью по руководству лондонским монетным двором).

Вероятно, по-настоящему оценить этот юмористический отчет могут только астрономы. Однако есть среди

заданных оппонентами вопросов по крайней мере один, который снова и снова задается авторам новых теорий: «Я хотел бы спросить докладчика, откуда он знает, когда пишет свои уравнения, что здесь не играют роли какие-либо другие так называемые «силы», кроме тех, которые представлены написанными им членами? Не может ли проблема зависеть от других эффектов, пока что неизвестных науке? До тех пор, пока этот вопрос не разрешен, совершенно ясно, что любое предполагаемое согласие с наблюдениями является чисто случайным,— если применить самое мягкое возражение».

Примерно такие вопросы задавали и самому Ньютону. Ему напоминали о том, например, что нельзя даже приступить к попыткам создать теорию притяжения Луны к Земле, пока ничего не известно о внутреннем строении нашей планеты. Предположим, однако, что внутреннее строение было бы в ту пору известно. Тогда от великого англичанина наверняка потребовали бы предварительных сведений о внутреннем строении Луны. А уж допустить, что верное для Луны и Земли верно для Вселенной,— это казалось совсем немыслимым. И кому казалось! В том же юмористическом отчете о заседании вполне точно, разве что с некоторой модернизацией языка, излагается точка зрения одного из современников Ньютона, притом — великого современника.

«Я недавно получил,— говорит оппонент,— приватное сообщение от профессора Гюйгенса, в котором он информирует меня, что для него принцип взаимного притяжения частиц материи является совершенно непонятным и неприемлемым... Как все мы хорошо знаем, профессор Гюйгенс — ученый с общесвропейской репутацией, мнением которого нельзя легкомысленно пренебрегать. Я думаю, что докладчик поступает неблагоразумно, отказываясь следовать его советам... Есть множество людей, кроме докладчика, с оригинальными идеями о причинах орбитального движения планет. Действительно, сам профессор Гюйгенс предложил вполне удовлетворительное объяснение тех эффектов, которые пытается объяснить докладчик. Я могу сейчас лишь самым кратким образом напомнить общую сущность его теории. В ней показывается, что имеется некая весьма разреженная среда, движущаяся вокруг Земли с большой скоростью и толкающая к Земле всякое встречаемое ею тело. По-моему, эта теория вдвойне привлекательна не



только вследствие ее крайней простоты и изящества, но и потому, что она одним ударом устраняет потребность в идее о действии на расстоянии — идее, которая всегда останется отвратительнейшей чертой любой теории, подобной представленной сегодня».

Последний аргумент тоже действительно приводился, мало того, сам Ньютон тяжело переживал это самое дальное действие, от которого ему было некуда деться.

А каково было Ньютону слышать тот вопрос, который он, судя по всему, и сам себе отчаянно задавал, хоть пытался отбиться от него своим «гипотез не строю».

«...Совершенно очевидно, что то, как два куса вещества притягивают друг друга,— если они это делают,— должно зависеть от первичной структуры самого вещества и ни от чего более. Однако это вопрос, о котором мы практически ничего не знаем и которому, насколько я понимаю, не уделено никакого внимания в обсуждаемой теории. Но ведь докладчик утверждает, что он каким-то образом «открыл» закон, управляющий взаимодействием, и это делается без какого-либо рассмотрения природы или причин этого взаимодействия! Как он может объяснить этот вопиющий абсурд? Разве не следовало поискать доказательства самого закона, прежде чем пускаться в изучение его довольно очевидных следствий?» — так в юмористическом отчете несколько по-современному излагается «проклятый» вопрос, мучивший и самого Ньютона.

Нет, не зря Ньютон столько лет ждал с публикацией своего закона. Он вдвое перекрыл десятилетний срок, назначенный Горацием «для выдерживания в столе» литературных публикаций. И не помогло. Ньютон мог бы ждать еще двадцать лет — современная ему наука не созрела для быстрого признания закона всемирного тяготения. Даже когда опубликованный закон стал действовать на ученых самим фактом своего существования, он был скорее признан в Англии, чем в Европе, и легче принят учеными второго ранга, чем научными звездами первой величины.

А поскольку закон Ньютона, как мы с вами повторяем вслед за Фейнманом, своего рода эталон законов природы, то и история его признания имеет тоже, так сказать, эталонный характер и вполне годится для моделирования истории открытий — после того как они сделаны.

Истина рождается в споре — гласит древняя пословица. Точнее сказать, она признается в спорах. И каких спорах!

Великий французский писатель Вольтер оставил нам картину разногласий между учеными в 1727 году — в год смерти Ньютона: «Если француз приедет в Лондон, он найдет здесь большое различие в философии, а также во многих других вопросах. В Париже он оставил мир полным вещества, здесь он находит его пустым... В Париже давление Луны на море вызывает прилив и отлив, в Англии же, наоборот, море тяготеет к Луне. У картезианцев\* все достигается давлением, что, по правде говоря, не вполне ясно, у ньютонианцев все объясняется притяжением, что, однако, немногим яснее».

Вскоре, однако, великий остроумец стал не подтрунивать над ньютонианством, а проповедовать его. В научном споре он принял сторону Лондона, а не Парижа. Мы знаем Вольтера прежде всего как автора глубоких, грустных и смешных повестей, полуиронических поэм, трагических пьес. Но он занимает почетное место в истории и как один из крупнейших популяризаторов науки. Ему принадлежат «Послание к маркизе дю Шатле о философии Ньютона», «Истолкование основ Ньютоновой философии».

Историки полагают, что научно-популярные работы Вольтера положили начало тому движению во французских литературе и искусстве, которое породило революционную по своей сути «Энциклопедию», созданную группой французских просветителей. Энциклопедию, ставшую звеном в цепи явлений, подготовивших Великую французскую революцию.

## ЭПОХА ТРИУМФА И ТРАГЕДИЯ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ

**И**ногда любят противопоставлять простоту и ясность Ньютонова закона тяготения сложности нынешней эйнштейновской теории относительности.

Но закон стали понимать, когда привыкли к нему...

Очень похожая история произошла с теорией Максвелла, раскрывшего главные законы электромагнетизма.

---

\* Последователей французского философа Декарта.

Через сорок лет после того, как она была сформулирована автором, его соотечественник, крупнейший английский физик Уильям Томсон, получивший за научные заслуги титул лорда Кельвина\*, много занимавшийся исследованием электричества, писал, что так называемая электромагнитная теория света «пока ничего нам не дала... Мне кажется, что это скорее шаг назад...» Это было сказано в 1904 году. Тогда теорию Максвелла преподавали едва ли в половине университетов Европы. С действительно широчайшим признанием ей пришлось подождать до 1920 года.

Эйнштейновой общей теории относительности повезло больше. На то были свои причины, о которых пойдет речь в своем месте. А сейчас мы заглянем в эпоху, разделяющую Ньютона и Эйнштейна.

Большая часть XVIII века и весь XIX век были для закона всемирного тяготения временем величайшего торжества, какое только может прийти на долю научной теории.

Когда в 1759 году к Земле подошла комета, примерная дата появления которой была предсказана англичанином Галлеем, а затем уточнена французом Клеро, это событие стало всемирным торжеством науки. К тому, что можно вычислять сроки лунных и солнечных затмений, все давно привыкли — ученые, пожалуй, еще с древневавилонских времен. Но предсказать появление кометы, которую и позже, в XIX веке, называли еще «беззаконной» (Пушкин), — о, это была победа!

А в 1798 году знаменитый английский физик и химик Генри Кэвендиш проверил закон всемирного тяготения уже не «на небе», а на Земле, проверил его соблюдение на притяжении обычных земных предметов не к нашей планете, а друг к другу.

На кварцевой нити он подвесил коромысло с двумя маленькими шариками. Заранее промерил, какие усилия нужны, чтобы на тот или иной угол закрутить нить. Потом поднес к шарикам два больших свинцовых шара — так, чтобы один из них оказался у одного конца и по одну сторону от коромысла, а другой — у другого и по другую сторону. Нить закрутилась — насколько именно, было уже вовсе легко измерить благодаря чрезвычайно

---

\* Старая русская энциклопедия Брокгауза и Ефрона в посвященной ему статье дважды (!) называет лорда Кельвина «величайшим из современных физиков».

остроумной идее Кэвендиша. Посередине коромысла было укреплено легкое зеркальце. На него падал луч света, отражался и приходил на «подставленную» измерительную шкалу. Поворот коромысла определял, на какое именно деление шкалы упадет отраженный луч. Дальше совсем просто оказалось составить пропорцию между силой воздействия на шарики массы свинцовых шаров и массы планеты.

Этот эксперимент был по меньшей мере втрое историческим. Во-первых, как уже было сказано, закон Ньютона наконец-то довольно точно был проверен на поверхности Земли, а не «на небе», не на наблюдениях за далекими планетами. Во-вторых, были определены средняя плотность и вес нашей планеты. А в-третьих, Кэвендиш попутно, «между делом», определил численное значение коэффициента в формуле закона всемирного тяготения, гравитационной постоянной.

Ученые считали, считали, считали, опираясь на закон всемирного тяготения, и наша Земля обзавелась новыми сестрами, дальними спутницами Солнца, планетами Уран и Нептун, был предсказан Плутон, открытый только в 1930 году. Сотни работ были посвящены тому, как проявляется закон всемирного тяготения в движении Луны, Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера, Урана и спутников трех планет, названных здесь последними.

В 1842 году астроном Бессель, наблюдая за самой яркой звездой нашего неба Сириусом, заметил странные колебания в положении ее на небе.

Опираясь на закон всемирного тяготения, Бессель предсказал, что у Сириуса есть невидимый спутник большой массы. Так теоретически открыли двойные звезды: спустя двадцать лет астрономы увидели спутник Сириуса, а сейчас мы знаем, что двойных звезд во Вселенной — большинство.

Гениальный математик и астроном Лаплас преклонялся перед Ньютоном, а закон всемирного тяготения называл совсем коротко: «закон природы». На основе закона Ньютона, одного-единственного — Лаплас верил — будут раскрыты все детали, даже самые сложные, движений планет в Солнечной системе.

Собственные работы Лапласа в астрономии впервые, по мнению специалистов, привели в стройную систему небесную механику. Вряд ли здесь стоит рассказывать

об его открытиях, касавшихся закономерностей движения спутников Юпитера, самого Юпитера и Сатурна, Луны, наконец. Лаплас же разработал первую полную теорию приливов и отливов. Особое внимание он обращал на связи между телами Солнечной системы.

А еще до открытия и двойных звезд и новых планет Лаплас после ряда исследований, касавшихся так называемых неравенств в движении Луны, гордо провозгласил, что астроном может, наблюдая одну лишь Луну, «не выходя из своей обсерватории», выяснить, как велика Солнечная система и насколько сильно сжата Земля у полюсов. И все это он говорил, подчеркивая роль во Вселенной своего любимого «закона природы».

Всю жизнь Лаплас словно стремился ограничить себя ролью ученика, применяющего закон, открытый учителем. Между тем на самом деле он во многом пошел дальше Ньютона. А случались у Лапласа озарения, когда он словно прорывался в будущее науки на сотню-полторы лет. По Ньютону, например, тяготение не должно влиять на свет. Лаплас же писал: «Если бы диаметр светящейся звезды с той же плотностью, что и Земля, в двести пятьдесят раз превосходил диаметр Солнца, то вследствие притяжения звезды ни один из испущенных ею лучей не смог бы дойти до нас, следовательно, не исключено, что самые большие из светящихся тел по этой причине являются невидимыми».

Ученые видят сейчас в этом предсказание существования «черных дыр» — любимых детищ современных астрофизики и космологии. Подробно о них будет рассказано во второй части книги.

Тем не менее закон всемирного тяготения был для Лапласа эталоном в куда более узком смысле, чем для Ричарда Фейнмана в наши дни: Лаплас, по-видимому, считал, что все или почти все физические законы должны с некоторыми видоизменениями повторять формулу закона Ньютона. В великую «Небесную механику» Лапласа входит глава «О капиллярном действии». Он полагает, что в этом физическом явлении играют решающую роль силы притяжения между молекулами, а отличие этих сил от Ньютоновых сил гравитации в основном то, что они становятся исчезающе малыми при увеличении расстояний между молекулами.

Все области физики должны были строиться по образу и подобию созданной Ньютоном теории тяготения.

И только ли в физике дело обстояло именно таким образом!

Современный английский ученый и историк науки Джон Бернал специально отметил в своей книге «Наука в истории общества»: «Как это ни парадоксально... наиболее непосредственное влияние идеи Ньютона оказали в области экономики и политики. Найдя свое применение в философии друга Ньютона — Локка и его последователя Юма, они создали общее чувство скептицизма по отношению к авторитету. Через Вольтера, который первым ознакомил французов с работой Ньютона, они должны были способствовать «просвещению» и тем самым — идеям французской революции. Они и поныне продолжают оставаться философской базой буржуазного либерализма».

Бернал начинает приведенное рассуждение со слов «как это ни парадоксально». Сегодня в устах физика — да и не только физика — слово «парадокс» и производные от него звучат как комплименты.

Первый научный закон, распространенный на Вселенную и подтвержденный экспериментально, придал особую ценность связанным с ним философским идеям. Ньютон нашел «точку опоры», позицию для создания всеобъемлющей физической картины мироздания. Ученые, занимавшиеся общественными науками, не знали таких твердых законов, с точки зрения которых они могли бы исследовать общество и его историю — эти законы предстояло открыть Марксу и Энгельсу в середине XIX века. А пока что закон всемирного тяготения стал для всех областей знания, в том числе гуманитарных, идеалом, которому следовало подражать. И порою не только идеалом. Этот закон пытались ввести в качестве основы в науки, к которым он и не мог иметь никакого отношения, — в физиологию, социологию, химию, например.

Франц Антон Месмер, человек трагической судьбы, первый исследователь гипноза (названного им животным магнетизмом), пытался объяснять наблюдавшиеся им факты (и явления, которые, как ему казалось, он наблюдал) законом всемирного тяготения.

Великий французский утопист Фурье называл важнейшую, по его мнению, часть своего учения теорией всеобщего притяжения страстей и считал, что в ее фундаменте лежит теория Ньютона. Другой знаменитый

утопист, Сен-Симон, полагал, что следует основать культ Ньютона. Человек, создавший закон всемирного тяготения, становился в глазах своих последователей чуть ли не богом.

Это трудно понять с позиций наших дней, когда учебники переполнены законами, носящими имена великих и менее великих ученых. Но Ньютон принес первые строгие и проверенные опытом законы в мир, где физика явлений представлялась расплывчатой и шаткой. Он дал своей эпохе почувствовать прелесть точного знания, доказал своим последователям самую возможность его достижения.

И все-таки, несмотря на все победы, на законе всемирного тяготения лежала мрачная тень — с самого момента его рождения. Этой тенью, даже проклятием, висевшим над новым законом, было вытекающее из закона мгновенное дальное действие. Сила тяготения мгновенно, с бесконечной скоростью передавалась на любые расстояния; при этом было совершенно неясно, как она преодолевает пространство. Сила передается телу воздействием на него другого тела — это положение было аксиомой для Галилея, на него опираются законы механики самого Ньютона, а вот закон всемирного тяготения Ньютона выкидывает прочь эту аксиому!

Для самого Ньютона это было драмой, которую можно назвать «трагедией дального действия».

В первом издании «Математических начал» он был настолько осторожен, что заявлял: все происходит так, как будто все тела взаимно притягиваются строго по формуле его закона. Такая осторожность, наверное, прежде всего диктовалась тем, что Ньютон делал фантастических масштабов обобщения, подчинял одним и тем же закономерностям явления на Земле и в космосе. Но немалую роль в обращении к сослагательному наклонению должно было сыграть и отсутствие представления о механизме тяготения.

Ко второму изданию, благо его отделяли от первого двадцать семь лет, взгляды Ньютона окончательно сложились, и «как будто» в применении к закону всемирного тяготения исчезло из его труда. Что касается «причины тяготения», механизма его, то Котс, редактор этого издания, писал в своем предисловии: «Причины идут неразрывною цепью от сложнейших к простейшим, и когда достигли до причины самой простой, то далее

идти некуда. Поэтому простейшей причине нельзя дать механического объяснения, ибо если бы такое существовало, то эта причина не была бы простейшей».

Убедительное разъяснение. С точки зрения самого Котса, во всяком случае. Было ли оно убедительным для Ньютона? Вот что писал великий физик в 1693 году, через шесть лет после первого издания «Начал» и за два десятилетия до появления нового издания книги с предисловием Котса: «Мнение, что тяготение есть основное свойство, присущее материи, что любое тело может действовать на другие тела на расстоянии через пустое пространство без посредства чего-либо, что могло бы перенести действие и силу от одного тела к другому,—такое мнение мне кажется полным абсурдом, и я уверен, что ни один человек, способный рассуждать о философских вопросах, не может прийти к нему. Тяжесть есть следствие какой-то причины, действующей непрерывно по известному закону...»

Переменил ли ученый свое мнение за следующие два десятилетия?

До сих пор биографы Ньютона по-разному отвечают на вопрос, почему он согласился с публикацией предисловия Котса. Иногда считают возможным, например, что Ньютон, увлекавшийся метафизикой, на протяжении какого-то времени склонялся к ответу, совсем странному, на взгляд нынешнего (да и тогдашнего уже) физика. Приведенная выше цитата (из письма к Бентли, филологу, директору того Тринити-колледжа в Кембриджском университете, где сам Ньютон был профессором) может быть продолжена: «...решение вопроса о том, материальна ли эта причина (тяготения) или не материальна, я оставляю моим читателям».

Известно увлечение Ньютона во второй половине жизни богословскими проблемами. Таким неожиданным отклонениям можно огорчаться, удивляться же им, наверное, нельзя. Естественно, что каждый создатель нового физического учения принадлежит к более ранней эпохе, чем люди, воспитанные на его учении. Ученикам Ньютона бог, во всяком случае бог, деятельно участвующий в формировании мира, не требовался. Когда Наполеон спросил Лапласа о роли бога в разработанной им системе мироздания, великий математик и астроном ответил: «Ваше величество, у меня не было нужды в этой гипотезе».



Впрочем, и для Ньютона «личное вмешательство» высших сил в механизм тяготения тоже не могло быть в конечном счете обязательным и серьезным. Еще до первого издания «Начал» он искал решения проблемы и, как ему на время показалось, нашел. В 1679 году в письме Роберту Бойлю, тогдашнему президенту Лондонского Королевского общества, было впервые выдвинуто предположение об эфире, некоем вездесущем тонком веществе, имеющем разную плотность. Чем ближе то или иное тело к центру тяготения, тем более «тонкие» частицы эфира заполняют поры тела, вытесняя частицы более грубые. Насыщение частицами эфира и есть механизм, заставляющий тело падать на Землю.

В первое издание «Начал» эти предположения не попали. Но они появились во втором издании другой работы Ньютона — «Оптики».

А последний абзац «Начал» в их окончательной форме гласит: «Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем во все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувство, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими действия этого эфира были бы точно определены и показаны».

Массу вещей объясняет здесь Ньютон «сплою и действиями» эфира. Но в этом списке нет... тяготения! Для тяготения Ньютон теперь отказался искать причину в действиях эфира.

Несколькими строчками раньше он просто констатировал, что «эта сила происходит от некоторой причины, которая проникает до центра Солнца и планет без уменьшения своей способности...»; далее, напомнив свойства силы тяготения, написал свое знаменитое: «Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю». И... тут же, в приведенном выше последнем абзаце «Начал».

изложил самую настоящую гипотезу о роли эфира в веществе и живых организмах. Словом, придумав эфир для объяснения гравитации, Ньютон затем использовал эту идею для чего угодно — только не для первоначальной своей цели.

Последователи Ньютона, в отличие от него, не делали при придумывании гипотез исключения для силы тяготения. Тем более, что идея дальнего действия противоречила самой материалистической сути физики, и мучительные сомнения Ньютона составили только первый акт «трагедии дальнего действия».

*Заблуждение становится заблуждением, когда оно рождается как истина.*

*Станислав Ежи Лец*

В XVIII—XIX веках появляются, как грибы после дождя, все новые и новые предположения ученых разных стран, долженствовавшие объяснить причину тяготения.

Пожалуй, можно выделить тут гипотезы двух сортов: вихревые и корпускулярные — от слова «корпускула», то есть «частица».

*Если оставить в стороне атомистику, то, пожалуй, можно сказать, что ни с одним вопросом физики не было связано столько спекуляций, сколько с вопросом о причинах силы тяжести. Тем, что мы действительно об этом знаем, мы обязаны людям, которые ограничивались вопросом: как она действует?*

*Макс Лауэ*

По мнению швейцарского математика Иоганна Бернулли, некое бесконечно тонкое вещество выбрасывается во все стороны из центров вихрей космических (где, между прочим, образуются солнца), затем оно сгущается в капли и возвращается обратно к центрам вихрей. По пути это «тонкое вещество» проникает — опять-таки — в поры всех обычных тел и увлекает эти тела в своем центростремительном движении.

Французский физик XVIII века Лесаж тоже прибег к помощи «сверхтонкой материи», ультрамалых частиц, которые носятся в пространстве во всех направлениях, «толкая» встречающиеся на их пути обычные тела. Два тела притягиваются друг к другу постольку, поскольку они защищают друг друга от части этих толчков; каждое

тело получает меньше ударов с той стороны, которой оно обращено к другому, вот так и возникает сила тяготения.

Есть немало способов опровергнуть эту гипотезу. Вот только один из них. Любая планета, в том числе и Земля, должна бомбардироваться со всех сторон корпускулами Лесажа. Поскольку она движется в пространстве вокруг центрального светила, то количество встреч с гипотетическими частицами больше у той части планеты, что обращена в сторону движения. Поэтому столкновений, которые тормозят планету, больше, чем таких, которые ее подгоняют. Должно происходить постоянное замедление движения планет. Земля, к примеру, давно должна была, как показывают расчеты, остановиться и, следовательно, упасть на Солнце. Но этого нет и как будто не предвидится. И тем не менее в разных вариантах и модификациях идея Лесажа умирала и воскресала на протяжении и XIX и даже XX века. Таился в ней некий соблазн, связанный с тем, очевидно, что такая модель тяготения была наглядна, ее легко себе представить. Но не всегда, увы, верно то, что легче понять. Почти все гении физики — от Ломоносова до Эйнштейна, и очень многие «просто» талантливые ученые любили говорить о простоте природы, понимая эту простоту по-своему. Не случайно многие современные физики полагают, что теория относительности проще Ньютоновой теории тяготения потому, в частности, что она не нуждается ни в дальном действии, ни в эфире.

С учением Ньютона кое в чем повторилось, пусть в других временных масштабах, то же, что когда-то произошло с учением Аристотеля. Ньютонова физика стала претендовать (примеры этого приводились выше) на объяснение явлений, которые не имели к ней никакого отношения. А ее философские основы, к середине XIX века уже абсолютно устаревшие, сдерживали развитие физического знания далеко за пределами механики и теории тяготения. Завет Ньютона свести всю физику к механике, прогрессивный в XVII веке, уже при исследовании электромагнитных явлений в XVIII веке стал препятствием, которое надо было преодолевать.

*Мои последователи должны опережать меня, противоречить мне, даже разрушать мой труд, в то же время продолжая его. Только из такой последовательно разрушаемой работы и создается прогресс.*

*Иван Мичурин*

Джон Бернал писал: «Успехи Ньютона таили в себе и соответствующие опасности для будущего. Его дарование было так велико, система его казалась столь совершенной, что все это положительно обескуражило научный прогресс в следующем веке или допустило его только в тех областях, которых Ньютон не затронул... Влияние Ньютона пережило даже его систему, и весь тот тон, который он задал науке, принимался как нечто до такой степени само собой разумеющееся, что вызванные им жесткие ограничения, вытекавшие в значительной степени из его теологических предубеждений, не были осознаны до эпохи Эйнштейна, да даже и сейчас осознаны еще неполностью».

Двести пятьдесят лет физики, как они ни восхищались Ньютоном, только «сжав зубы», терпели дальное действие. Даже не терпели, а боролись с ним — и отступали. Мешали им и оставленное в наследство Ньютоном представление об абсолютном времени, противоречившее галилей-ньютоновскому принципу относительности, и эфир, и многое другое. Слишком сильно все это противостояло тем принципам экспериментальной физики, которые завещал сам же Ньютон продолжателям своего дела.

А развитие физики все решительнее требовало пересмотра положений мировой механики Ньютона. Теория Максвелла для электромагнетизма уже по-новому рассматривала пространство, в котором происходят описываемые ею явления. Эфир для нее был не нужен, зато здесь детально разработано физическое понятие поля. Представление о поле стало самым большим достижением физики со времен Ньютона. Эйнштейн и Инфельд в книге «Эволюция физики» подчеркивают важность понятия поля для возникновения теории относительности. И не просто важность: «Теория относительности возникает из проблемы поля. Противоречие и непоследовательность старых теорий вынуждают нас принимать новые свойства пространства и времени» \*.

\* О том, как возникло и формировалось понятие физического поля, подробно рассказано в кн.: В. Рыдник. Поле. М., «Знание», 1976 (Жизнь замечательных идей).

Английский физик Г. Бонди задает «риторический вопрос»: «Как же случилось, что столь хорошо обоснованная теория была отброшена и заменена другой (общей теорией относительности Эйнштейна.— *Р. П.*), самая большая заслуга которой заключается в том, что она дала те же результаты, что и прежняя? Немногочисленные и незначительные пункты, в которых эти теории расходились, были даже не особенно твердо установлены экспериментально».

Однако: «Нас приводит к новой теории принцип единства физики, который требует, чтобы гравитация, с одной стороны, и электромагнетизм и оптика, с другой, не принадлежали к разным типам пространства-времени».

Вот мы встретились в этой книге впервые с принципом единства физики. Естественное обоснование такого принципа — то, что любые сложные процессы в природе содержат явления, относящиеся к разным областям физики и подчиняющиеся их законам. Он находит свое выражение и подтверждение на многих «стыках» теории гравитации с другими областями физического знания. Лишним подтверждением такого единства стало практически одновременное действительно широкое признание ученым миром теории Максвелла и теории Эйнштейна.

(Никак нельзя недооценивать роль, которую сыграли для Эйнштейна его размышления над Максвелловой теорией электромагнетизма. И не случайно ведь первая работа сотрудника Бернского бюро патентов по специальной теории относительности называлась «К электродинамике движущихся тел». К электродинамике!)

Долго не признавали даже крупные физики теорию Максвелла. Но когда, наконец, она была принята, это стало победой нового подхода к физике в целом и проложило дорогу теории относительности.

Несмотря на всю категоричность утверждений Бонди о незначительности расхождений в теориях Ньютона и Эйнштейна, один факт безусловно сыграл особую роль в возникновении общей теории относительности.

*Физики — не революционеры, скорее они консервативны, и только вынуждающие обстоятельства побуждают их жертвовать хорошо обоснованными представлениями.*

Макс Борн

В 1859 году французский ученый Урбен Леверье, прославленный тем, что по движению планеты Уран предсказал существование неизвестного тогда Нептуна, обратил внимание на еще один непорядок в Солнечной системе. Самая отдаленная от Солнца точка орбиты Меркурия — его перигелий — смещалась чуть-чуть больше, чем следовало из формул небесной механики, основанной на законе всемирного тяготения. Смещение (позже уточненное англичанином Ньюкомом) составляло всего сорок три угловые секунды за столетие, меньше, чем полсекунды в год.

Мелочь? Но в астрономии, как и вообще в науке, мелочей не бывает, и факт, не соответствующий теории, не более и не менее как мина, подложенная под эту теорию.

Сам Леверье пошел по уже проложенной им торной дороге, предположив существование еще одной планеты, теперь уже между Солнцем и Меркурием, планеты, сбивающей Меркурий с его пути. Гипотетическому спутнику Солнца дали имя Вулкана, вычислили его орбиту, а найти не смогли.

Попытки объяснить «неувязочку» вызвали к жизни не только мифическую планету, расположенную якобы еще ближе к Солнцу, чем Меркурий, но и кольцо комет, летящих вокруг Солнца внутри орбиты Меркурия, и спутник Меркурия, и кольцо малых планет между орбитами Меркурия и Венеры.

Солнце полагали сплюснутым, а также — в другом варианте — окруженным большим количеством диффузной материи. Каждая из этих гипотез опровергалась. Спутник Меркурия увидели бы, Солнце не может быть сплюснутым в нужной для смещения перигелия Меркурия степени и т. п. и т. д.

Смещение перигелия Меркурия было, по существу, единственным наблюдаемым отклонением во Вселенной от правил небесной механики Ньютона \*. Но астрономы

---

\* Не все было, правда, в порядке и с Луной. Но ученые понимали, что та слишком близко к Земле, а взаимосвязи между соседями, живущими почти рядом, гораздо, как известно, богаче и сложнее, чем между теми, кто разделен большими расстояниями.

были уязвлены в самое сердце. Они — и вдруг чего-то не могут объяснить!

После открытий Ньютона наука, развивавшая их, знала о небе гораздо больше, чем о Земле. Парадоксально, но это положение кое в чем сохранилось до наших дней. Кто не слышал, скажем, что элемент гелий был открыт сначала на Солнце, потом на Земле. Однако гораздо реже вспоминают, что нам лучше известен химический состав звезд, чем собственной планеты. Астрономия в течение столетий не без оснований была и остается самой уверенной в себе из всех наук.

Великие события порой возникают по малому поводу. Принц Гамлет в трагедии Шекспира поначалу как будто осуждает норвежского принца Фортинбраса, ведущего армию воевать за «невзрачный кус, в котором барышня — лишь званье, что земля». Однако потом говорит: «...дело не стоит выеденного яйца. Но тот-то и велик, кто без причины не ступит шага, если ж в деле честь, подымет драку за пучек соломы».

Честь ученых — в стремлении сделать так, чтобы выводы теории совпадали с данными наблюдений и экспериментов. И до тех пор, пока тут нет полного совпадения, а есть расхождение хоть на волос, они не могут, не имеют права успокоиться. Затронута честь ее величества Науки! Всякий факт, не отвечающий «хорошей» теории, есть оскорбление, вызов, брошенный науке. Наука в лице своих представителей примет этот вызов, каким бы мелким ни был повод для него.

И незначительность факта, в котором следовало разобратся, часто оказывалась мнимой.


Общая теория относительности уже при рождении своем разрядила «мину Меркурия». Она указала, что перигелий Меркурия за столетие должен смещаться как раз на сорок три и одну десятую секунды за столетие. Разница с наблюдениями, как видите, составляла уже доли секунды не в год, а в век. Даже астрономия с ее повышенными требованиями к точности могла позволить себе признать такой результат вполне удовлетворительным.

Французский ученый А. Арзелье, приступая к подробному разбору этой ситуации, был вправе заявить: «Моя цель — показать, из каких джунглей нас вызвал Эйнштейн...»

В XVI веке Коперник вывел астрономию из «джунглей» Птолемеевой системы, данные которой не соответствовали множеству наблюдаемых фактов. В XX веке хватило одного «необъяснимого факта» в небесной механике, чтобы ради его понимания понадобилось перестроить картину мира. Конечно, дело было не только в нем, но...

Г. Бонди — физик, а не астроном, может быть, поэтому ему эта история представляется незначительной, а на первый план выходят общие принципы единства физики. Что же, они, принципы, это место заслуживают. Но конкретные факты тоже никак нельзя недооценивать.

Одно к другому — и появилась общая теория относительности, она же теория гравитации. Именно она определяет сегодняшнее состояние проблемы гравитации. Ее справедливо называют революционной, однако не будем забывать и о том, что новое учение о гравитации прочно стояло на фундаменте классической физики, корни этого учения глубоко уходят в историческую «подпочву науки».





# СЕГОДНЯ

## ЗАКОНЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОДИНАКОВЫ ВСЮДУ

«Нам уже ясно, что Земля на самом деле движется, хотя это нам не кажется, ибо мы ощущаем движение лишь при сравнении с неподвижной точкой. Если бы кто-нибудь не знал, что вода течет, не видел бы берегов и был бы на корабле посреди вод, как мог бы он понять, что корабль движется? На этом же основании, если кто-либо находится на Земле, на Солнце или на какой-нибудь другой планете, ему всегда будет казаться, что он на неподвижном центре и что все остальные вещи движутся».

Так писал в первой половине XV века Николой Кузанский, кардинал католической церкви и крупный ученый. Это, пожалуй, первое в мире четкое изложение принципа относительности движения.

По-латыни «принципиум» — основа, первоначало. Название великой книги Ньютона переводится как «Математические начала натуральной философии», а сама книга написана на латыни, и словом «начала» перелагают на русский слово «Principia». Философский словарь определяет: «В логическом смысле П[ринцип] есть центральное понятие, основание системы, представляющее обобщение и распространение какого-либо положения на все явления той области, из которой данный принцип абстрагирован».

Словом, физики берут конкретный факт, обнаруженный в конкретных опытах, и принимают (или, если хотите, провозглашают), что данный факт должен иметь место в любых ситуациях, аналогичных тем, где мы с ним уже встречались. Строго говоря, принцип в науке — предположение, поэтому его продолжают проверять.

Мы с вами уже встретились в этой книге с принципом относительности, встретимся с принципом, объявляющим скорость света высшей из возможных скоростей, и другими. Итак, в науке слову «принцип» придается несколько иное значение, чем в обыденной жизни. Зато отношение к принципам и тут и там одинаковое: новые принципы становятся общепринятыми с большим трудом

и очень редко; и, как в жизни, их не меняют и от них не отрекаются, разве что в случае полного краха... в жизни — личности или общества, в науке — теории, а то и целой научной дисциплины.

Первым человеком, убедительно обосновавшим принцип относительности, стал Галилео Галилей. Современники ждали от него ответа на коронный вопрос противников Коперника: если Земля движется вокруг Солнца, вращаясь еще притом вокруг собственной оси, то почему это не сказывается, например, на движении падающего с башни камня — ведь «за то время, пока камень находится в воздухе, опускаясь к центру Земли, сама Земля, двигаясь с великой скоростью к востоку и неся на себе основание башни, по необходимости должна была бы оставить камень на таком же расстоянии позади себя, на какое за то же самое время ее уносит кружение...»

Галилей в «Послании к Франческо Инголи», противнику коперниканства, дал подробнейший ответ на этот и подобные вопросы. Вот одна из самых ярких и важных для понимания принципа относительности Галилея страниц: «В большой каюте под палубой какого-нибудь крупного корабля запрячь с кем-либо из ваших друзей; устройте так, чтобы в ней были мухи, бабочки и другие летающие насекомые; возьмите также большой сосуд повыше, из которого вода падала бы по каплям в другой нижний сосуд с узкой шейкой; и пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте внимательно, как эти насекомые будут с одинаковой скоростью летать по каюте в любом направлении, вы увидите, как рыбки начнут двигаться безразлично в направлении какой угодно части края сосуда; все капли, падая, будут попадать в сосуд, поставленный снизу... Когда вы хорошо заметите себе все эти явления, дайте движение кораблю и притом с какой угодно скоростью; тогда (если только движение его будет равномерным, а не колеблющимся туда и сюда) вы не заметите ни малейшей разницы во всем, что было описано, и ни по одному из этих явлений, ни по чему-либо, что станет происходить с вами самими, вы не сможете удостовериться, движется ли корабль или стоит неподвижно... Нам никогда не удастся узнать по внутренним предметам, что с ним происходит; как же удастся узнать это у Земли, которая всегда находилась для нас в одном и том же состоянии?»

Все это и многое другое Галилей говорил для того, чтобы подвести своих современников к принципу, который на современном научном языке гласит: все законы механики справедливы в системах, которые движутся относительно друг друга прямолинейно и с постоянной скоростью.

Термин «относительность» стал одним из самых популярных и, конечно, благодаря широко известной ныне теории относительности. И все-таки перед тем как сесть за эту главу, автор провел опрос своих знакомых, чтобы выяснить, что, по их мнению, представляет собой принцип относительности. К специалистам-физикам он не обращался, решив, что они знают это «по положению»; не спрашивал он и самых заядлых гуманитариев, поскольку справедливо полагал, что они не знают этого — тоже «по положению». Среди опрошенных оказались инженеры самых разных специальностей, химики, врачи, архитекторы, журналисты, пишущие о науке. Некоторые из ответов отдаленно приближались к истине, некоторые не имели к ней никакого отношения, многие смельчаки сознались, что представления не имеют о том, о чем столько слышали.

Потому и появился в книге этот рассказ о принципе относительности, или, по-иному говоря, о трех принципах относительности: галилеевском, частном принципе относительности Эйнштейна и общем принципе относительности его же.

Обратим внимание: популярная разговорная формула, гласящая, что все в мире относительно, не имеет к данному принципу даже косвенного отношения. Оп-то ведь провозглашает общность, а не различие законов для разных систем отсчета — при условии, что все они движутся с постоянной скоростью, как галилеевские корабли.

Все, что происходит в мире, должно при исследовании физиками иметь четко обозначенный адрес. Когда мы надписываем на конверте адрес приятеля, то пользуемся системой отсчета, связанной с планетой Земля. Порою вместо термина «система отсчета» применяют термин «система координат». Иногда говорят, что между системой отсчета и системой координат примерно та же разница, что между городом и его планом, между страной и ее картой, указывая при этом, что как карта может изображать несуществующую страну, так система

координат может иметь чисто расчетный смысл. Математики работают, например, с многомерными системами координат, между тем наш реальный мир знает только три пространственных измерения. Система же отсчета всегда берет за основу какие-то реальные тела, так сказать, опорные точки. Впрочем, для этой книги такие подробности не имеют существенного значения.

(Помню, как студентом я присутствовал при закладке раскопа в археологической экспедиции. Раньше, чем первая лопата вонзилась в тугой дерн, зеленую надгробную пелену над домами и улицами древнего города, мы под руководством специалиста колдовали с теодолитами, намечая опорные точки для сетки координат плана будущего раскопа. В эти точки были вбиты аккуратные колышки. А затем каждый участок раскопок привязывался к этим колышкам, обозначался с учетом точного расстояния от них. С этого момента все, что выбрасывали лопаты, все, что осторожно зачищалось кистью и ножом, — все это получало четкую прописку в пространстве: квадрат такой-то, на глубине такой-то.

Археологам хорошо: у них есть колышки и есть, куда их вбивать. В астрономии и ряде областей физики определение точек отсчета — дело чрезвычайно сложное, но здесь не место вдаваться в тонкости этой проблемы.)

Суть принципа относительности Галилея и частного принципа относительности Эйнштейна проста: можно говорить только об относительной скорости, абсолютная скорость в нашем физическом мире — абстракция, более того — абсурд, она не только не имеет, но и не может иметь реального воплощения. Это понятие лишено смысла, даже сама по себе абстракция абсолютной скорости не нужна физике. Все системы отсчета при равномерном движении равноправны.

Мы измеряем скорость поезда и самолета по телам отсчета, находящимся на Земле. Пассажир поезда ходит по вагону поезда с одной и той же относительной скоростью, стоит ли поезд на станции или делает сто километров в час (строго «по Галилею»!).

Для пассажира поезда системой отсчета становится его вагон. Недаром же нам кажется, что не мы едем мимо телеграфных столбов, а они бегут мимо нас назад. Два поезда, как два галилеевских корабля, верны одним и тем же законам. Так же, как два современных самолета — на средних участках пути, где они уже не

ускоряют свой полет и еще не замедляют его. Экипаж, пассажиры, кресла и приборы движутся вместе с самолетом с той же скоростью, что и он, и, естественно, в том же направлении.

Такие системы отсчета, в которых для постороннего наблюдателя все тела, если на них не действуют внешние силы, движутся поступательно по прямой и с постоянной скоростью, называются инерциальными системами. Во всех таких системах, согласно принципу относительности Галилея, остаются неизменными все законы механики, согласно же специальному принципу относительности Эйнштейна — все законы природы. В каждом из самолетов (на средних участках пути!) по одним и тем же законам бьются сердца людей, тикают наручные часы; даже ходики с гирями будут одинаково тикать в обоих самолетах \*.

Но так, согласно специальной теории относительности, дело обстоит тогда, когда самолеты летят с постоянной скоростью (пусть и разной для каждого из них). На первом и последнем участках своего маршрута каждый самолет как система отсчета, строго говоря, временно выпадает из-под действия специального принципа относительности. Он летит с ускорением, положительным в начале пути и отрицательным в конце его, и становится неинерциальной системой отсчета — по отношению, положим, к другим самолетам на средних участках их полета.

Пассажира ускорение прижимает к спинке кресла. Гиря на часах-ходиках, подвешенных к стенке кабины, отклонится в направлении, противоположном направлению полета. Это, естественно, скажется на их ходе.

Ну, а на спутнике Земли, вращающемся вокруг нашей планеты, часы-ходики вообще не будут ходить. Там ведь все тела находятся в невесомости, и гиря вообще не сможет выполнить свою столь привычную нам роль «гравитационного двигателя». Итак, инерциальные системы подобны друг другу по характеру действующих в них законов природы. Системы неинерциальные, движущиеся не с постоянной скоростью, отличаются от инерциальных достаточно резко.

---

\* Рассуждая так, мы отвлекаемся от того, что на самолеты, летящие на разной высоте, тяготение действует неодинаково. Впрочем, эту разницу могут уловить только сверхточные приборы.

Специальная теория относительности не входит в число предметов, о которых надо писать в этой книге. Нам она важна только как этап рождения общей теории относительности, как ступенька, с которой Эйнштейн шагнул к решению проблемы тяготения. Почти все, что пишут о теории относительности Эйнштейна в популярной литературе, относится целиком или главным образом к специальной теории. Именно из нее следует «парадокс близнецов», согласно которому тот из них, кто отправится в космический полет со скоростью, близкой к скорости света, вернувшись на Землю, окажется моложе, чем ожидавший его на родной планете брат. И поражающая воображение картина роста массы любого тела с приближением его скорости к скорости света ( $c$ ) — тоже отсюда. И представление о том, что длина такого тела должна сокращаться по мере приближения к  $c$ .

Специальная теория относительности была создана в 1905 году, ее объектом стали тела, движущиеся с гигантскими скоростями. Она отнюдь не была теорией гравитации, однако сразу же нанесла тяжелый удар Ньютону закону всемирного тяготения. Дальнодействие — дальнодействием, действие через посредников — действием через посредников; этот вопрос, как мы уже знаем, для самого Ньютона оставался нерешенным, но сам закон подразумевал, что силы тяготения передаются на любое расстояние мгновенно, их скорость принималась бесконечной. Конечно, между Ньютоном и Эйнштейном нашлось немало ученых, не веривших в саму возможность бесконечных скоростей. Например, еще Лаплас «определил», что скорость передачи силы тяготения должна превышать скорость света по крайней мере в семь миллионов раз, но все же быть конечной. Однако все такие попытки довольно быстро демонстрировали свою бесплодность.

Эйнштейн своей первой теорией обрубил хвост у бесконечности, поставил пределом скоростей — скорость света, равную (приблизительно) тремстам тысячам километров в секунду. Второй принцип специальной теории относительности сегодня формулируется так: любые взаимодействия могут распространяться лишь со скоростями, не превышающими скорость света в пустоте.

Но это уже второй из двух главных ее принципов. Первый же гласит, что все законы природы остаются

неизменными во всех инерциальных системах отсчета, в которых тела, не испытывающие действия внешних сил, движутся поступательно по прямой с постоянной скоростью.

Казалось бы, что особенного в обоих принципах? Разве еще Галилей (и Ньютон) не провозгласил, что тело сохраняет состояние покоя или равномерного движения, пока не будет выведено из этого состояния внешней силой? Разве он не показал, что все законы механики действуют одинаково во всех инерциальных системах отсчета? Что меняется от того, что в определении Галилея слова «законы механики» оказались теперь заменены на «законы природы»? Да, меняется не так уж много, особенно если учесть, что для Галилея, как и для Ньютона, почти вся физика если и не сводилась к механике, то в идеале должна была к ней свестись. Принцип Эйнштейна есть естественное развитие принципа относительности Галилея.

Но к нему ведь был еще прибавлен принцип предельности скорости света, и от соединения этих двух принципов рухнуло старое привычное мироздание, или, говоря точнее, не рухнуло, а стало одним из нижних этажей нового мироздания.

*Вся наука является не чем иным, как усовершенствованием повседневного мышления.*

*Альберт Эйнштейн*

Специальная теория относительности была использована как инструмент для углубленного исследования многих физических явлений. Были предприняты попытки применить ее и к тяготению. Но сам Эйнштейн довольно быстро пришел к выводу, что без коренных изменений теорию тяготения не создашь. Он много размышлял над тем, как развить специальный (точнее сказать — частный; французские ученые иногда применяют здесь еще более, пожалуй, удачный термин — ограниченный) принцип относительности в то, что он называл общим принципом относительности. Вспомним, ранее уже говорилось, что главным для Эйнштейна в его частном принципе относительности было сохранение действия всех законов природы в инерциальных системах отсчета. Теперь он хотел найти способ распространить принцип относительности на все системы отсчета, в том

числе и на неинерциальные, способ установить, что все законы природы действуют всюду, при условии введения заранее установленных поправок на характер самих систем отсчета. Ему удалось решить и такую задачу.

Для этого понадобилось положить в основание новой, общей теории относительности, кроме двух главных принципов ее предшественницы, еще и третий принцип — принцип эквивалентности.

*Ничто не удастся без предвзятой идеи. Надо только настолько обладать благоразумием, чтобы не делать из нее выводов, не подтвержденных опытом. Предвзятые идеи, подвергнутые строгому контролю опыта, представляют собой оживляющее пламя наблюдательных наук.*

Луи Пастер

Пусть, для разнообразия, представит нам принцип эквивалентности американский фантаст Реймонд Ф. Джоунс. В его рассказе «Уровень шума» физик рассказывает психологу: «Его (принцип эквивалентности.— Р. П.) выдвинул Эйнштейн в одной из своих первых работ, кажется, в 1907 году. Он утверждал, что сила инерции эквивалентна силе тяжести. То есть в системе, которая движется с ускорением, человек будет испытывать действие силы, ничем не отличающемся от действия силы тяжести. С другой стороны, человек внутри свободно падающего лифта не замечает действия земного притяжения. Если бы он встал на весы, то увидел бы, что ничего не весит. Жидкость не выливалась бы из стакана. Согласно принципу эквивалентности, никакой физический эксперимент не может обнаружить земное притяжение внутри любой системы, свободно движущейся в гравитационном поле».

Физики, выступающие не в ролях героев фантастики, но в качестве авторов статей, формулируют ту же мысль точнее, но сложнее: «Согласно принципу эквивалентности, никакими физическими экспериментами нельзя отличить движение тел под действием гравитации от движения в соответствующим образом подобранной неинерциальной системе отсчета, то есть в системе, движущейся с ускорением относительно инерциальной системы отсчета».

Это — цитата из однотомной энциклопедии «Физика космоса». И дальше энциклопедия разъясняет: «В самом



деле, ускорение всех тел в данном гравитационном поле одинаково, ускорение всех тел, свободно движущихся в неинерциальной системе отсчета, также одинаково...»

Вот представьте себе космолет, движущийся где-нибудь в межзвездном пространстве с ускорением, точно равным ускорению земного тяготения, то есть примерно 9,8 метра на секунду в квадрате.

Положим, что космолет имеет форму того пушечного снаряда, в котором Жюль Верн отправлял своих героев на окололунную орбиту, и пассажиры корабля ходят по его «дну». Им никогда не удастся установить только по поведению внутри кабины любых физических тел (в том числе их собственных тел), летит ли корабль, прибавляя в скорости почти по десять метров каждую секунду, или спокойно стоит на космодроме. В корабле приземлившемся проявляет себя гравитационное поле. Корабль, летящий с ускорением земного тяготения, — та самая «соответствующим образом подобранная» неинерциальная система отсчета. Космонавт, направляющийся к звездам, подбросит шарик, а тот поведет себя так же, как шарик, подброшенный пастушком где-нибудь на зеленом лугу. Здесь можно, при желании, повторить опыт, описанный Галилеем, с рыбками, бабочками и прыжками в каюте корабля — и так же, как внутри галилеевского корабля ничто не изменялось при движении сравнительно с состоянием относительного покоя, как и здесь нельзя отличить покой в гравитационном поле от неинерциального (то есть с ускорением) движения...

Ускорение и тяготение проявляют себя одинаково, а общая теория относительности — «всего лишь» теория гравитации.

Экспериментальной основой принципа эквивалентности является равенство тяжелой и инертной масс.

Масса каждого читателя этой книги по принятой системе единиц точненько равна весу на поверхности Земли. Впрочем, говоря точнее, — каждая масса. Что значит — каждая? Да ведь у каждого из нас не одна масса, а две (точь-в-точь, как у Эйнштейна есть две теории относительности). Впрочем, столь же богат и каждый предмет на Земле и каждое тело Вселенной. Все на свете обладает двумя массами — тяжелой, она же гравитационная, и инертной. Гравитационная масса проявляет себя во взаимодействии тела с другими тяготеющими телами. Попросту на Земле — в том, что

яблоки падают, льет дождь, лежать легче, чем стоять, и так далее. Другая — инертная — проявляет себя в механике, когда на тело действует сила, любая сила, и оно получает ускорение. Чем больше инертная масса, тем труднее вывести тело из состояния равновесия, тем меньше ускорение, которое способна ему придать сила определенной величины.

Космонавт в спутнике находится в состоянии невесомости, свою тяжелую массу он не ощущает, но чем тяжелее он был на Земле, тем с большим усилием должен, скажем, оттолкнуться от стенки, чтобы одолеть расстояние в один метр. Потому что ему надо сдвинуть с места собственную инертную массу.

Равенство инертной и тяжелой масс — факт, установленный опытным путем. Когда Ньютон выводил закон всемирного тяготения, в формулы входила, по сути дела, тяжелая масса. Когда он формулировал три закона механики, тут оказалась при деле масса инертная. Но никаких поправок на это обстоятельство не пришлось делать ни самому Ньютону, ни его наследникам, ученым следующих поколений. Потому что две массы, качественно различные, количественно действительно оказываются равны. Впрочем, что значит здесь — равны? Положим, два эталона метра — тот, что хранится в Париже, и тот, что хранится в Москве, должны быть равны по определению. Но это равенство до такого-то знака после запятой. Миллиметров в каждом эталоне, конечно, поровну, и микронов тоже, и тысячных долей микронов тоже, но за миллиардные или триллионные доли микронов поручиться уже нельзя: точность, с которой люди умеют изготавливать куски металла, имеет свои пределы.

Имеет ли такие пределы точность, с которой природа подогнала друг к другу размеры двух масс каждого тела во Вселенной? Это — отнюдь не простой вопрос. Если где-то, хоть в десятом, хоть в пятнадцатом знаке после запятой, между величинами масс найдутся различия, это поколеблет сам принцип эквивалентности, потрясет тем самым общую теорию относительности, поставит под сомнение наши взгляды и на гравитацию и на само устройство мира.

Эйнштейн полагал, что экспериментаторам важнее лишний раз проверить с возрастающей точностью равенство инертной и тяжелой масс, чем снова и снова проверять предсказания теории относительности, касаю-

щиеся поведения света в гравитационном поле или изменения орбиты Меркурия. То ведь были следствия теории, а принцип эквивалентности — ее краеугольный камень.

Советские ученые В. Б. Брагинский и А. Б. Манукин пишут в книге «Измерение малых сил в физических экспериментах»: «Вопрос о принципе эквивалентности или об уровне малости, на котором он нарушается, это, по существу, вопрос о том, является ли гравитационное взаимодействие универсальным. Поэтому можно предвидеть, что в будущем будут осуществляться новые проверки принципа эквивалентности, по-видимому, до тех пор, пока не будет обнаружено на опыте его нарушение».

А началась проверка давно. Исаак Ньютон писал: «Падение всех тяжелых тел на землю с одинаковой высоты... происходит в одинаковое время, как это уже наблюдалось другими; точнейшим же образом это может быть установлено по равенству времен качаний маятников. Я произвел такое испытание для золота, серебра, свинца, стекла, песка, обыкновенной соли, дерева, воды, пшеницы. Я заготовил две одинаковые круглые коробочки; одну из них я заполнил деревом, в другую положил кусочек золота того же веса (насколько смог точно), причем так, чтобы у них соответствовали центры качаний. Коробочки, подвешенные на равных нитях 11 футов длиной, образовали два маятника, совершенно одинаковых по весу, форме и сопротивлению воздуха; будучи помещены рядом, они при равных качаниях шли вместе вперед и назад в продолжение весьма долгого времени. Следовательно, количество вещества (масса) в золоте относилось к количеству вещества в дереве как действие движущей силы на все золото к ее действию на все дерево, т. е. как вес одного к весу другого. То же самое было и для других тел. Для тел одинакового веса разность в количестве вещества (массе) даже меньше одной тысячной доли полной массы могла бы быть с ясностью обнаружена этими опытами».

По сути, да и замыслу, это проверка еще не провозглашенного принципа эквивалентности.

Великолепно поставленный эксперимент! А что точность его равнялась примерно одной тысячной — так ведь опыт был поставлен в XVII веке!

Блестящего результата добился в конце XIX века барон Лоранд Этвеш, чье имя носит теперь Будапештский университет. Он проверил эквивалентность тяжелой и

инертной масс с точностью до пяти миллиардных долей. Причем он сравнивал поведение в гравитационном поле таких разных вещей, как платина и дерево, медь и сало, вода и асбест... Шестьдесят с лишним лет эта точность оставалась непревзойденной, пока в Принстоне профессор Р. Дике не поставил в 1961—1964 годах новый эксперимент с алюминием и золотом. Одинаковые массы этих двух веществ были укреплены на коромысле, подвешенном на тонкой проволоке (получился крутильный маятник). Они притягиваются не только к Земле, но и к Солнцу. Если одно из этих тел будет притягиваться к Солнцу сильнее хотя бы на три стомиллиардные доли, коромысло сдвинется, чуть-чуть закрутив проволоку. Чтобы добиться такой точности измерений, прибор поместили в вакуумную камеру, давление в которой составляло всего одну стомиллиардную долю атмосферного давления, а вакуумная камера была установлена в специальной шахте на глубине четырех метров и защищена от воздействия колебаний температуры. Радиоэлектронное устройство могло регистрировать крутильные колебания с точностью до одной стомиллионной доли сантиметра.

Надо, пожалуй, добавить, что эксперименты по уточнению принципа эквивалентности масс показали еще, что ему подчиняются в высокой степени и массы разных элементарных частиц. Золото состоит из нейтронов на шестьдесят процентов, алюминий же только на пятьдесят. Раз это обстоятельство не сказалось на результатах опыта Дике, значит, нейтроны и протоны обладают одним и тем же ускорением свободного падения с точностью до десяти в минус десятой степени (одной десяти-миллиардной доли), а электроны — тем же ускорением, что и эти тяжелые ядерные частицы, с точностью до десяти в минус седьмой степени (одной десяти-миллионной).

Новый рекорд, однако, в отличие от предыдущего, продержался недолго. В. Б. Брагинский и В. И. Панов в Московском государственном университете вскоре после опытов Дике сумели поднять точность еще в тридцать раз.

Сотрудники МГУ сохранили схему опыта, заменив золото платиной и укрепив на концах коромысла восемь грузов: четыре из алюминия, четыре из платины. Давление в вакуумной камере сделали еще меньшим, чем

в опыте Дике, обеспечили тепловую и магнитную изоляцию установки...

Колебания крутильного маятника должны были записываться на фотопленке, на которую падал отраженный от установленного на коромысле зеркала луч лазера.

Сам Дике был поражен столь быстрым улучшением его результатов. А покойный академик АН УССР А. З. Петров так оценил опыт в МГУ: «Добиться такой точности — это, знаете, удивительно. Вдвойне приятно, когда этого добиваются твои соотечественники. И, кроме того, что самое главное, сразу же напрашивается вывод: если удалось достичь повышения точности в этой области, то, значит, реально ожидать в ближайшее время и повышения точности в других, соседних экспериментах по поиску гравитационных волн!»

Американские физики Уитерборн и Фозербэнк непосредственно измерили ускорение свободного падения электронов и нашли, что оно отличается от ускорения земного тяготения не более чем на десять процентов. Харвей, Дабс и другие провели аналогичные опыты с нейтронами. Здесь различие не могло превышать и одного процента.

Проценты — после миллиардных и триллионных долей? Но ведь одно дело эксперименты с обычными телами, а другое — непосредственно с элементарными частицами, особенно заряженными, чувствительными к случайным электромагнитным полям.

Измерили степень эквивалентности тяжелой и инертных масс для Земли и Луны с точностью до полутора процентов. С планетами, как видим, получен более «прецизионный» результат, чем с электронами.

Ученые перестают проверять физические законы и принципы лишь после того, как опровергнут их. Но пока третий принцип общей теории относительности остается прочно обоснованным фактами.

*Великие идеи нужно сразу же разрабатывать, не дожидаясь их добросовестной проверки по явлениям природы.*

*Альберт Эйнштейн*

В сборнике «Физики продолжают шутить» была опубликована юмореска примерно такого содержания: экспериментаторы обнаружили, что скорость света в

пустоте постоянна, теоретики принялись глубокомысленно рассуждать, отчего бы она была именно такова? Эйнштейн сказал: так и должно быть, после чего теоретики — одни раньше, другие позже — воскликнули: какая гениальная мысль!

Шутка обыгрывает реальное событие: Эйнштейн объявил факт принципом \*. И уж наверняка то же самое он сделал и в случае с эквивалентностью инертной и тяжелой масс: обратил факт, который мог рассматриваться как чисто случайное совпадение, в фундаментальный принцип устройства Вселенной.

«Уравнение в правах» поля тяготения и неинерциальной (то есть движущейся не равномерно, а ускоренно) системы отсчета позволило сформулировать те условия, при которых законы физики справедливы для любых систем отсчета. Это положение и называют общим принципом относительности.

Так наука, начав свой путь здесь с утверждения, что законы меняются при переходе от инерциальных систем к неинерциальным, нашла способ решить это реальное противоречие природы и парадоксальным образом пришла к прямо как будто противоположному суждению. Не будем забывать только, что теперь при таком переходе уравнения, выражающие эти законы, по определенным правилам преобразуются.

Опять перед нами тот же «парадокс парадоксов» Бора: если истина действительно глубока, то справедлива и истина ей противоположная. Но как же все это построение может кому-то (пусть даже только самим физикам!) казаться проще старой ньютоновской теории?

Эйнштейн и Инфельд отвечают на этот вопрос так: «Чем проще и фундаментальнее становятся наши допущения, тем сложнее математическое оружие нашего рассуждения; путь от теории к наблюдению становится длиннее, тоньше и сложнее. Хотя это и звучит парадоксально, но мы можем сказать: современная физика проще, чем старая физика, и поэтому она кажется более трудной и запутанной».

Получается, условно говоря, так: физическая часть теории настолько проста, что математическая должна

---

\* Стоит оговориться, что Эйнштейн, возможно, не знал об эксперименте, в котором было доказано постоянство скорости света в пустоте, и пришел к этому своему принципу, исходя из общих теоретических рассуждений.

быть очень сложной. На самом деле, конечно, разделить одно от другого тут невозможно, и все-таки сам Эйнштейн дает, как видите, право на такое противопоставление.

Снова перед нами математика выступает в роли естественного языка природы; речь человека, плохо овладевшего чужим языком, поневоле проста; чем лучше знаешь язык, тем больше слов и их форм употребляешь. Но следует ли из этого, что ты отказался от первоначальной простоты ради сложности? Сложность здесь естественна, физическая простота прикрыта этой математической сложностью.

Бернард Шоу, замечательный английский писатель, как-то, обращаясь к ученым, сказал: «Коперник доказал, что Птолемей был неправ. Кеплер доказал, что Коперник был неправ. Галилей доказал, что Аристотель был неправ. Но в этом месте цепь обрывается, потому что наука впервые столкнулась с таким неподдающимся расчету явлением природы, как англичанин. Будучи англичанином, Ньютон постулировал прямолинейную Вселенную... хотя знал, что Вселенная состоит из движущихся тел и что ни одно из этих тел не движется по прямой линии, да и не может двигаться по прямой. Для этого, чтобы объяснить, почему все линии в его прямолинейной Вселенной искривлены, он выдумал специальную силу, которую назвал тяготением».

А правда ведь, оригинально соединил мастер парадокса первый закон механики Ньютона (закон инерции) и закон всемирного тяготения?

Продолжая в том же духе, можно заявить, что и Эйнштейн проявил себя «как англичанин». Вдумаемся вот в эту его фразу: «...и вот мне пришло в голову... тот факт, что ускорение свободного падения не зависит от природы падающего вещества, допускает следующее толкование: в полях тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения».

Уж не выкинул ли Эйнштейн из описываемого им мира тяготение вовсе — вместо того, чтобы объяснить его? Нет, не выкинул. Но стал рассматривать это явление совсем по-новому. Он свел законы, управляющие тяготением, к законам, управляющим пространством-временем. И одно из имен, под которыми известна

общая теория относительности — геометродинамика\*. Вдумаемся в этот длинноватый термин. Его вторая половина — слово «динамика» — было введено Лейбницем как имя науки о движении тел под влиянием сил; слово «геометрия», в данном случае сочетавшееся странным браком со словом «динамика», объяснять не надо. А расшифровка общего имени новой семьи может дать и такой результат: описание движения тел языком геометрии.

Ч. Мизнер, К. Торн и Дж. Уилер пишут в своей книге «Гравитация»: «Пространство воздействует на материю, «указывая» ей, как двигаться. Материя, в свою очередь, оказывает обратное воздействие на пространство, «указывая» ему, как искривляться».

Три американских физика утверждают, в полном согласии с Эйнштейном, что «это влияние геометрии на материю есть то, что мы сегодня подразумеваем под словом тяготение».

Для популярного пояснения этого факта физики приводят похожие, в общем, друг на друга образные примеры, которые можно свести к такой типовой ситуации. Два физика из страны «двумерцев», существ, которым знакомы лишь два измерения, только ширина и длина, оказались на поверхности глобуса. Из двух разных точек на экваторе глобуса каждый из них отправился путешествовать по неведомым землям, избрав дорогой линию, отходящую от экватора под прямым углом и ведущую на север. Естественно (для нас), что путешественники встретились на полюсе, хотя ни один из них не уклонялся от маршрута. Путешественники были физиками: поэтому они нашли способ объяснить свою встречу. Им стало очевидно, что в дороге на них обеих действовала некая сила, заставившая их (против их воли) сблизиться. Физики дали этой силе имя — они назвали ее тяготением.

Выходит, сила, заставляющая планеты двигаться вокруг звезд, имеет ту же природу, что явление, благодаря которому физики-двумерцы встретились на полюсе? Можно условно сказать и так, оговорившись, что одно дело — третье измерение для двумерцев, а другое — сложная структура нашего реального простран-

---

\* Под геометродинамикой в широком смысле слова понимают идею описания всех полей по создаваемым ими искривлениям пространства.



ства-времени и что пример этот — только аналогия, помогающая проникнуть в суть явления, и т. д.

Реальная геометрия нашей Вселенной оказалась неевклидовой — в евклидовом пространстве, где параллельные линии пересечься не могут, тяготение невозможно. Вспомним, что Бернард Шоу говорил о Ньюто-не; он якобы придумал тяготение как способ объяснить, почему в его прямолинейной Вселенной все линии искривлены. У Эйнштейна, наоборот, линии, если хотите, искривляются, чтобы можно было объяснить, что такое тяготение. Даже луч света, этот классический эталон прямизны, вынужден во Вселенной Эйнштейна сходить с прямой дороги, искривлять свой путь. В этом были торжественно уличены лучи звезд, пролетающие вблизи нашего Солнца. Чтобы измерить, отклоняются ли они при этом от Солнца и насколько именно, ученые организовали в 1919 году экспедицию в Западную Африку, в тот ее район, где должно было наблюдаться полное солнечное затмение. Во время затмения фотографировали звезды, видные на небе вблизи от закрытого Луной солнечного диска. Потом, значительно позже, тот же участок неба опять сфотографировали ночью, когда Солнца не было. Когда фотографии наложили друг на друга, оказалось, что изображенные на них звезды не совпадают. Объяснение было оговорено заранее — гравитационное поле Солнца заставило искривиться звездный луч \*.

Какой был праздник у физиков мира! Участник экспедиции англичанин Эддингтон довольно высокопарно заявил, что Солнце поставило свою подпись под теорией относительности. Тяготение, мощнейшая сила, формирующая наш мир, обернулась его геометрией, «превратилась» в кривизну пространства.

Надо, правда, сказать, что еще русский математик Лобачевский, а после него Риман и Гельмгольц выражали надежду на то, что неизвестные пока законы физики могут явиться причиной осуществления в природе соотношений, исследуемых неевклидовой геометрией \*\*.

---

\* По закону Ньютона притяжение Солнца тоже должно было искривить путь луча, но вдвое меньше (и то, если принять, вопреки Ньютону, что скорость света конечна и его частицы притягиваются к Солнцу).

\*\* Лобачевский писал, например, что в «нашем уме не может быть никакого противоречия, когда мы допускаем, что некоторые силы в природе следуют одной, другие — своей особой геометрией».

При этом, впрочем, они вряд ли ожидали повсеместности неевклидовой геометрии, той вездесущности ее, которую открыла теория относительности.

## ИНСТИТУТ ПРИКЛЮЧЕНЧЕСКОЙ МАТЕМАТИКИ

**В** 1870 году английский математик Вильям Клиффорд, не имея на то никаких серьезных оснований, провозгласил, что и материя, и ее движение — всего лишь проявление кривизны пространства, кривизны, которая, меняясь во времени, порождает все, что мы воспринимаем как тела. Некоторые исследователи полагают нужным развивать этот подход дальше. Американский физик Дж. Уилер поставил перед собой задачу геометризации всех физических явлений. Отправной пункт его геометродинамики — геометродинамика Эйнштейна. Тут мы подошли к чрезвычайно любопытным в наше время отношениям между физикой и математикой — двумя науками, которые и вообще-то взаимодействуют настолько сильно, что это отражено даже в общности для обеих специальностей научных степеней; нет кандидатов и докторов физических или математических наук, есть — физико-математических.

Очень вероятно, что в относительно быстром триумфе теории относительности весьма важную роль сыграло то обстоятельство, что к началу XX века физики успели найти общий язык, который они все понимали в отличие от современников Ньютона.

Можно бы возразить, что как раз в XVII веке почти все физики писали свои труды на латыни, и даже те, кто предпочитал в таких случаях родной язык древнему, читать по-латыни умели. А в XX веке Эйнштейн писал на немецком, Эддингтон на английском, Пуанкаре на французском, и тем не менее они понимали друг друга лучше, чем понимали Ньютона голландец Гюйгенс, немец Лейбниц или даже соотечественник сэра Исаака Роберт Гук. Потому что общим языком физиков вместо латыни стала математика — благодаря, в частности, тем же Ньютону и Лейбницу и тем, кто были их преемниками не в физике, а в математике. Новорожденные в XVII веке диалекты аналитической геометрии, исчисления бесконечно малых и других областей

математики окрепли и слились в один мощный язык, на котором можно было договориться. Новая физика сделала своим лозунгом слова на фронтоне Платоновской академии в Афинах: да не войдет сюда тот, кто не знает математики. Современную физику на каком-то этапе ее создания можно было назвать Вавилонской башней наоборот — по мере ее сооружения строители все лучше понимали друг друга.

В теории тяготения Эйнштейна и в выводах из нее физика и математика сливаются в неразрывное целое не в меньшей степени, чем пространство и время.

...Герои авантурных романов переживают приключения в пространстве и времени. Физики устраивают приключения для самих пространства и времени. Впрочем, тут им не уступают математики. Однажды я прочитал объявление в газете. Не помню уже, в чем была его суть, зато два слова из него запомнил на всю жизнь. Сейчас вот закрою глаза и увижу напечатанные полужирным шрифтом слова: «Институту прикл. математики требуются...» Конечно, имелась-то в виду прикладная математика, но я сразу по-своему расшифровал сокращение. Потому что математика всегда казалась мне **самой приключенческой** из наук. Само слово «математика», **взятое**, как полагается, из древнегреческого языка, переводится на русский язык как «учение». Но точный смысл древнегреческого слова уже и четче, оно образовано от глагола, означающего «учиться через размышление».

Уровень требований к «математической части» физики резко поднялся с развитием обеих наук. Ньютон мог быть математиком, точнее — физиком и математиком сразу. Эйнштейн уже не мог сам полностью создать математический аппарат для теории относительности — эту работу взяли на себя Г. Минковский и некоторые другие математики. И это математик Минковский заявил во время работы с Эйнштейном, что отныне пространство и время — только нереальные тени, в реальном же мире есть лишь неразрывное пространство-время.

Теория гравитации — классический пример соединения физики и геометрии. Причем мало того, что так рассматривает дело сама общая теория относительности. У нее ведь есть теории-конкурентки. Но практически все сколько-нибудь серьезные теории (в книге Мизнера,

Торна и Уилера «Гравитация» указывается только одно исключение) тоже исходят из того, что распределение вещества задает геометрию пространства.

Степень проникновения геометрии в физику можно усилить за счет привлечения, в частности, новых разделов геометрии. Вот что пишет известный советский философ А. М. Мостепаненко по поводу идей геометродинамики Дж. Уилера: «Первым шагом к решению поставленной проблемы может послужить следующий вопрос: нельзя ли любые траектории материальных частиц, движущихся не только в гравитационном, но во всевозможных физических полях, рассматривать как геодезические (в данном случае — кратчайшие. — Р. П.) линии некоторой сложной геометрии? В этом случае любое движение объяснялось бы чисто геометрически, без использования представления о силах. Движение частицы всегда происходило бы по инерции и полностью определялось бы характером геометрии... Частица движется по той или иной траектории не потому, что к этому ее вынуждает какая-то сила, а потому, что это ее единственный путь».

Великий Аристотель когда-то говорил, что падение тяжелых тел — это их стремление к центру Вселенной, своему естественному месту. Это была во Вселенной Аристотеля не какая-то особая черта тяжелых тел — каждый элемент мира, каким он виделся великому греку, стремится и движется к своему естественному месту в пространстве (круговые орбиты были, например, «естественным местом» планет). Так не происходит ли ныне возвращение физики — конечно, на новом, неизмеримо более высоком витке спирали — к одной из идей греческой философии? Притом, что особенно поражает, к идее, которую в последние четыреста лет можно было считать только абсолютно абсурдной...

Пока, впрочем, геометризация электромагнитного поля встречается с достаточно большими трудностями, как и любые попытки создать единую теорию поля. Гравитация (та, которую мы реально знаем) обладает одним свойством, чрезвычайно облегчающим теоретические выкладки: тела только притягиваются друг к другу, а не отталкиваются. Гравитационный заряд любого тела — положителен. Для электромагнитного заряда то обстоятельство, что тела, одноименно заряженные, отталкиваются, а тела с разными зарядами притягиваются друг к

другу, делает электромагнитное поле не сводимым (пока?) к геометрии некоего единого пространства. Уилер кинулся в топологию, стал рассматривать каждую частицу с электромагнитным зарядом как очень сильное местное искривление пространства. Если у Эйнштейна дело ограничивается слабым искривлением пространства в космических масштабах, то Уилер рассматривает пространство, принимающее на небольших участках форму, скажем, «горловин».

Так или иначе, но геометродинамика Уилера — прямое развитие и продолжение общей теории относительности. Она построена на фундаменте теории гравитации. В какой степени верно такое продолжение, насколько прочна новая постройка — это уже другой вопрос.

После работ Эйнштейна область гравитации оказалась местом особенно глубокого прорыва науки в неизвестное; через открытую брешь ученые устремились «в тыл» к своему вечному противнику — незнанию. Так во времена Ньютона теория тяготения уже была местом прорыва «фронта незнания». Но в ту пору ученые других областей науки использовали скорее общие принципы формулирования закона тяготения, подход Ньютона к обобщению известных фактов — важнее всего для других областей физики (и не только физики) был методологический аспект открытия великого закона. Нынче материалы общей теории относительности используются не менее широко, она играет роль не только эталона, но часто и рабочего инструмента. Это — эталонный метр в палате мер и весов, к которому, как к черенку лопаты, каждый может еще приделать штык, чтобы копать глубже.

Маркс говорил Лафаргу, что наука достигает тогда совершенства, когда овладевает математикой. Стоит заметить, что сходную мысль высказал гораздо раньше отважный борец против схоластической науки Роджер Бэкон.

В этом смысле физика начала овладевать математикой еще до Ньютона, при Галилее и Декарте. Но некоторые ученые говорят о второй математической революции в физике — как мы говорим о второй промышленной революции нашего времени в связи с ЭВМ. Геометризация физики стала знаменем нескольких научных школ.

А чтобы стал яснее геометрический подход к физике, прямо вытекающий из общей теории относительности, обратимся к относительно простым примерам, отнюдь не связанным со сверхреволюционными научными идеями.

### Сколько сантиметров в секунде?

Вопрос, ставший названием этой главки, отнюдь не попытка пооригинальничать. Он имеет не только вполне определенный физический смысл, но и вполне определенный ответ. В секунде  $3 \cdot 10^{10}$  сантиметров, то есть триста тысяч километров. Совпадение с величиной, характеризующей скорость света, здесь вовсе не случайно. Чтобы сделать если не сам ответ, то хотя бы путь к нему в какой-то степени понятным, придется начать издалека.

Пространство-время, пространство-время... Четырехмерный мир, в котором три координаты — пространственны: длина, ширина, высота, а четвертая координата — время. Как представить себе это наглядно? Уже достаточно тривиальной, но от этого не менее справедливой, стала мысль, что действительно наглядной эйнштейновская картина мира окажется не под влиянием научно-популярных книг, а в пору, когда общая теория относительности придет в начальную школу и займет там такое же место, какое давно заняла таблица умножения. В конце концов специалисты-математики само умножение простых чисел рассматривают как чрезвычайно глубокую и сложную для познания операцию.

Многие вещи, которые мы себе как будто неплохо представляем в пространстве, выглядят в пространстве-времени иначе. Вот простой пример, который приводится в нескольких серьезных книгах о гравитации. И камень, брошенный ребенком, и винтовочная пуля летят по траекториям, представляющим собой (в некотором приближении) дуги окружностей. Радиусы этих окружностей разнятся — в пространстве — во многие сотни раз. В пространстве-времени эти радиусы имеют один и тот же порядок величин. В качестве доказательства физики приводят формулу, которую вряд ли имеет смысл воспроизводить в популярной книге, но сомневаться в которой не следует по той простой причине, что ее верность строго доказана. (Впрочем, что удивляться сход-

ству траектории камня и пули, когда еще Ньютон подчинил одному общему закону падение яблока и движение Луны!)

Мало того. Дж. Уилер в книге «Гравитация, нейтрино и Вселенная» категорически утверждает, что все физические параметры тел и явлений можно передать через... длину. По его словам, гравитация и электромагнетизм оперируют только с длинами и ни с чем иным. Исторически сложившаяся терминология скрывает этот факт, но не уничтожает его. Уилер полагает, что измерять пространство-время в одном направлении в сантиметрах, а в другом — в секундах так же нелепо, как измерять ширину обычного шоссе в одних единицах, а длину — в других. Ведь время, согласно общей теории относительности, не есть понятие, независимое от понятия пространства. И масса, по Дж. Уилеру, тоже длина, только выраженная другим способом. Он тут же излагает метод, которым можно измерить массу Солнца в единицах длины. Мы знаем, говорит он, что масса Солнца отклоняет проходящий вблизи него луч света. Степень отклонения определяется, естественно, массой Солнца и расстоянием от его центра до этого луча. Следовательно, зная степень отклонения луча и расстояние, на котором луч проходит от Солнца, можно вычислить солнечную массу, оперируя только величинами, характеризующими эти отклонения и расстояния. Естественно, при таком способе вычислений результат выражается в единицах длины. Масса Солнца равна всего-навсего  $1,5 \cdot 10^5$  сантиметра.

Достаточно умножить этот результат на квадрат скорости света и разделить на гравитационную постоянную, чтобы вернуться к привычной нам массе Солнца, равной  $2 \cdot 10^{33}$  граммам.

Сходным образом секунды переводятся в сантиметры и наоборот.

Наверное, школьникам будущего все эти взаимопревращения граммов, сантиметров и секунд будут казаться не более удивительными, чем нам взаимопереход, скажем, тепловой и механической энергии. Все мы проходили в школе, что джоуль — единица энергии и работы в Международной системе единиц — равен не только работе силы один ньютон при перемещении ею тела на расстояние один метр, но и 0,2388 калорий, а в калориях измеряется, как известно, количество теплоты.

## ВСЯКИЙ ВЕЛИКИЙ ЧЕЛОВЕК

**К**анадский исследователь Ганс Селье, биолог и медик, делит ученых на «открывателей проблем» и «решателей проблем». Аристотель, Ньютон и Эйнштейн соединяли в себе качества, присущие тем и другим.

*Всякий великий человек является единственным в своем роде. В историческом шествии ученых у каждого из них своя определенная задача и свое определенное место.*

*Джемс Максвелл*

Двадцатипятилетний Альберт Эйнштейн в 1905 году опубликовал четыре работы. Одна из них заключала в себе специальную теорию относительности. Другая была посвящена фотоэффекту, касалась законов излучения света. Третья дала возможность определить величину атомов. Четвертая объясняла броуновское движение.

Любой из четырех статей было достаточно, чтобы обессмертить имя автора. А Нобелевскую премию он получил отнюдь не за самую значительную из них.

Но если работы 1905 года при всем их значении и при всем их новаторстве были посвящены темам, связанным с главными в то время направлениями научного поиска, если здесь у Эйнштейна были близкие предшественники, то самый важный плод его научной мысли — общая теория относительности, она же — теория гравитации, создавалась тогда, когда проблема тяготения отнюдь не была модна в научном мире. Что греха таить! Сами физики пишут о том, что каждое время знает свои модные темы исследований. Так вот, после двухсотпятидесятилетних попыток найти «причину тяготения» поиски ее почти вышли из моды.

Научные моды, конечно, не случайны. Ищут там, где больше шансов найти. Правда, иногда потерянную вещь пытаются отыскать под фонарем, поскольку там светло. Тот, кто ищет в темноте, ощупью, многим рискует — хотя бы тем, что может зря потерять годы и десятилетия. Сам Эйнштейн, возможно, узнал в дальнейшем горечь такой потери — так во всяком случае может показаться со стороны. Большую часть своей жизни он отдал работе над единой теорией поля. И после триумфов специальной и общей теории относительности встречал весь-



ма скептическое отношение ученых — тех самых ученых, которые преклонялись перед творцом геометродинамики и восхищались его качествами ученого и человека. В последнее время, однако, интерес к этим работам Эйнштейна резко возрос. Но только в последнее время.

...Когда-нибудь на земле будет поставлен памятник Неизвестному исследователю. Ведь только о сотнях из ученых мы можем прочесть, только десятки имен запомнить на всю жизнь.

А современная наука держится не только на плечах титанов. Да и титанов в истории слишком много для ограниченной памяти отдельного человека.

Тем больше оказываются ценимы великие люди, сделавшие столько, что не запомнить их нельзя. Они становятся не просто легендарными, их имена превращаются в символы. Аристотелю, Ньютону и Эйнштейну приписывают изречения, принадлежащие фигурам менее заметным, афоризмы, авторы которых забыты, даже анекдотические происшествия, случившиеся с другими. (Вольтер, кажется, сказал, что анекдоты — колоски на поле истории, которые остаются, когда урожай уже собран.)

От этого великаны не становятся более великими — куда уж больше, — но это, видимо, нужно человечеству хотя бы для того, чтобы сохранить в своей памяти такие афоризмы, изречения и анекдоты.

Уважение к памяти гигантов не должно заставить нас забыть о тех, кто работал для них, рядом с ними, после них. Будем помнить: каждый из запомнившихся всему человечеству ученых олицетворяет собой всех, кто жил для науки в одну с ним эпоху.

Мы знаем по воспоминаниям множество личных привычек, деталей быта, характерных для Эйнштейна, но его имя для нас наиболее полно представляет новую физику, как имя Ньютона — физику его эпохи. Может быть, случайность, что это случилось с именем Эйнштейна, а не Бора или Резерфорда. Вечный ли интерес человечества к проблемам пространства и времени сыграл свою роль, обаяние ли поразительной верности себе, однако случайность, не будем забывать, есть проявление необходимости.

## ПРОВЕРКА В БОЮ

Эту главу надо бы, наверное, начать с похвальных слов эксперименту. На чем, как не на эксперименте (и наблюдениях), держится здание физической теории. Эксперимент подтверждает гипотезы и опровергает их, поддерживает юные теории и с грохотом разрушает обжитые дворцы старых. Он — свидетель, он — судья, он — прокурор в том судебном процессе, который ведет природа против науки. И он же — адвокат, защитник, только адвокат щепетильно беспристрастный, которому словно бы все равно, что будет с подзащитной теорией.

Ученые говорят еще, что хорошо поставленный принципиальный эксперимент всегда глубже, чем он был задуман, всегда решает больше проблем, чем рассчитывал сам экспериментатор, и почти всегда ставит новые проблемы, часто более важные, чем те, что он разрешил.

У эксперимента есть одно важное достоинство — в принципе его всегда можно повторить. У эксперимента есть один важный недостаток — его очень трудно не только поставить первый раз, но и повторить. Тут с расчетами теоретика куда легче. Чтобы проверить, не вкралась ли в них ошибка (теоретическая же!), нужны бумага, карандаш... и другой теоретик\*. А «другому» экспериментатору нужно оборудование...

Поэтому плохо поставленный эксперимент, давший неверный результат, гораздо вреднее и опаснее, чем неудачная теория или гипотеза. Гипотеза ведь не выдает свои утверждения за факты, эксперимент же, по определению, источник именно фактов.

Нравное, поэтому за теоретиками чаще признают право на ошибку. Опровержение гипотезы не подрывает катастрофически репутацию ее автора, хотя, конечно, и не украшает ее. Тем более, что, случается, теоретик делает вполне правомерные допущения, но мир-то устроен иначе, чем он думает. А вот опровержение эксперимента обходится куда дороже. Оно, впрочем, и понятно. По некоторым подсчетам, из ста новых гипотез в физике неверны девяносто девять. Можно уверенно сказать

---

\* Впрочем, надо сделать оговорку. Легко заметить ошибку в вычислениях. Ошибку принципиальную иногда не замечают очень долго.

что из сотни физических экспериментов по крайней мере девяносто правильно поставлены и верно истолкованы.

Теоретики — поэты физики. Даже знаменитыми они становятся (если становятся) как поэты — совсем молодыми. Экспериментатор созревает медленнее, ему надо научить не только голову — думать, но и руки — работать. Поэзия физики освещает путь прозе и идет впереди нее — так в истории литературы каждой страны поэзия предшествует прозе. Конечно, и эта аналогия, как всякое сравнение, хромает. Многие поэты постепенно частично или целиком переходили к прозе, но случаи, когда теоретик становится экспериментатором, по меньшей мере редки. Чаще случается, что экспериментатор начинает выступать и с теоретическими работами.

Много лет висел над теорией относительности опыт итальянского физика Майораны. Он свидетельствовал, что тяготение можно экранировать, что два тела, если их разделить третьим, слабее притягиваются друг к другу, а этого не следовало из теории тяготения. Только когда опыт повторили и он не дал прежнего эффекта, смогли перевести дух. Правда, с другой стороны, физики порою утверждают, что самые ценные эксперименты — те, результаты которых не соответствуют ожидаемым. Французский физик Жолио-Кюри как-то заметил: чем дальше эксперимент от теории, тем ближе он к Нобелевской премии.

Отношения между теорией и экспериментом сложны и многообразны, хотя на первый взгляд все кристально ясно: на результатах экспериментов теорию строят, по результатам экспериментов ее проверяют. А эксперимент ставят на основе тех или иных теоретических положений. Надо ведь знать, что именно требуется проверить!

Экспериментаторы и теоретики подтрунивают друг над другом, но, в общем, понимают, что они — это левая и правая руки науки, и спор может идти только о том, кому звать ее правой рукой. Да и то, наверное, придется признать, что у науки обе руки — правые. Только экспериментатор бывает прав, так сказать, абсолютно, теоретик же всегда — лишь относительно. Есть такой шуточный афоризм: теоретик верит себе, а другие ему не верят, экспериментатор себе не верит, а другие ему верят.

Может быть, и сегодня есть в физике области, где можно чего-то добиться относительно простыми средствами, но, увы, к гравитации это не относится. Силы тяготения слабее электромагнитных на тридцать шесть, тридцать восемь, сорок и даже сорок три порядка — в зависимости от того, взаимодействие между какими частицами тут брать за эталон. Слон, имеющий массу пять тонн, больше микроба с массой в пять миллионных долей грамма всего-то в триллион раз. Остается еще минимум двадцать четыре порядка. Одна песчинка против целой Сахары, капля воды — против океана — даже так не выглядит в земных условиях разница между гравитационными силами и электромагнитными. Не тому надо удивляться, что до сих пор немало предсказанных теорией гравитационных эффектов не открыто, а тому, сколько их все-таки открыто.

Прямо противоположные причины, как ни странно вывели науку о гравитации на передний план в теории и эксперименте. В теории — мощь гравитации, управляющей движением небесных тел. В эксперименте — слабость гравитации, заставившая так изощрить соответствующую экспериментальную технику, что сейчас в опыт перенимают ядерщики, которых бог тоже не обидел сложностями.

Как нигде, тонка в области гравитации грань между экспериментатором и теоретиком. Каждый опыт надо разрабатывать с такой максимальной тонкостью, что при этом случается делать открытия в теории.

Если уже применяемый геологами гравиметр достаточно совершенен, чтобы на его показания не влияло притяжение тела гравиметриста, то техника гравитационного эксперимента требует стократной защиты от любых посторонних помех. Вот одна поучительная история.

Группа физиков проверяла, как скажется во время солнечного затмения то обстоятельство, что в поле тяготения между Солнцем и Землей оказалась Луна. Был сделан очень тонкий и чувствительный прибор, который показал: притяжение к Солнцу уменьшилось.

Луна отошла в сторону, Солнце снова сияло, физики смотрели друг на друга, не зная, радоваться или расстраиваться. С одной стороны, могла рассыпаться теория, с которой они были согласны, с другой стороны — тем важнее результат для науки. Эксперимент подтвер-

ждающий — лишь подкрепление, эксперимент опровергающий — открытие.

А в конце концов оказалось, что прибор приходит в движение и тогда, когда Солнце... закрыто облаками. Это уже было невероятно: как облако, закрыв Солнце, могло воздействовать на аппаратуру?

Оказалось, могло. Поижение температуры воздуха, вызванное сначала солнечным затмением, потом облаком, прикрывшим Солнце, чуть-чуть охладило стену дома, у которой стоял прибор, произошли ничтожнейшие изменения в его равновесии — и результат оказался налицо. Хорошо еще, что день был облачным. Иначе итоги эксперимента были бы опубликованы, а потом репутация экспериментаторов пострадала бы. Но до этого пострадала бы наука.

Общая теория относительности при своем появлении объяснила движение перигелия Меркурия, а спустя три года была подписана Солицем. Но затем дело с новыми ее экспериментальными проверками застопорилось. Слишком незначительно по величине было большинство предсказываемых ею эффектов, чтобы их можно было проверить при тогдашней измерительной технике.

Вот как пишут об этом Мизнер, Торн и Уилер: «В первые полвека своего существования общая теория относительности была раем для теоретиков и адом для экспериментаторов. Нельзя было представить себе теорию более прекрасную, но в то же время с таким трудом поддающуюся проверке. Но ситуация изменилась. За последние несколько лет общая теория относительности превратилась в одну из наиболее оживленных и плодотворных областей экспериментальной физики. Спустя полвека развитие техники наконец-то достигло уровня эйнштейновского гения — не только в области астрономии, но и в лабораторных экспериментах». Заканчивается это рассуждение фразой: «Теперь она (общая теория относительности.— *Р. П.*) рай для всех...»

Любопытно отметить, что большая доля проверок закона всемирного тяготения Ньютона тоже пришлось на время, отделенное от публикации закона примерно полuveком.

Еще десять — пятнадцать лет назад перссчитать все пункты, по которым теория гравитации Эйнштейна была проверена, удалось бы по пальцам одной руки. Теперь соответствующих экспериментов проведено и планирует-

ся столько, что рассказать в этой книге удастся далеко не о всех из них.

Ну, во-первых, проверка принципа эквивалентности тяжелой и инертных масс идет в актив общей теории относительности.

В ее пользу высказывается и сумма выводов, полученных в некоторых областях физики элементарных частиц.

Наблюдения Эддингтона за поведением звездного луча вблизи Солнца были повторены многократно. Но очень долго при этом результаты наблюдений (степень искривления луча) довольно сильно отклонялись в сторону от предсказания Эйнштейна. Правда, то в одну сторону, то в другую, но разброс был слишком велик, чтобы не огорчать и не беспокоить привыкших к точности астрономов.

Совсем недавно удалось решить эту проблему, только уже не с волнами света, а с сантиметровыми радиоволнами от ярких небесных радиоисточников. Точность совпадения наблюдений с предсказанием достигла двух процентов. И ни в одном из многих измерений не удалось обнаружить каких-либо «противопоказаний» против общей теории относительности.

Новые подтверждения предсказанным теорией относительности фактам были неожиданно (неожиданно ли?) обнаружены в старых звездных каталогах — списках звезд с указанием их характеристик и особенностей.

Лет десять назад советские ученые Л. Я. Арифов и Р. К. Кадыев нашли еще целых сто тридцать пять «звездных автографов», выданных Эйнштейну.

Чтобы стала понятна самая суть дела, придется коснуться метода определения расстояний до звезд. Один из двух главных способов (а до конца XIX века и единственный) заключается в измерении расстояния, на которое звезда смещается на нашем небе за полгода в зависимости от того, в какой точке своей орбиты находится Земля. Астрономы строят прямоугольный треугольник, его гипотенуза — расстояние от Солнца до звезды, а малый катет — большая полуось эллипса земной орбиты. Малый угол (при звезде) в том треугольнике называют годичным звездным параллаксом. Вычисление его размера по законам тригонометрии и позволяет затем определить расстояние до звезды. Годичный параллакс

в одну секунду соответствует здесь одному парсеку, причем чем меньше параллакс, тем дальше от нас звезда. К слову сказать, для самой близкой к Земле звезды, которую так и зовут Ближайшая Центавра, параллакс равен семидесяти шести сотым секунды.

Теперь (уже почти столетие) годичный параллакс и, соответственно, расстояние до звезды умеют определять еще и на основании изучения ее спектра, так называемым астрофизическим методом.

Арифов и Кадыев впервые обратили внимание на то, что при этих двух методах должны (должны!) получаться несколько разные результаты. Ведь луч звезды, согласно общей теории относительности, искривляется в поле тяготения Солнца. Значит, мы видим звезду не совсем на том месте, где она находится на самом деле, значит, ее параллакс первым, тригонометрическим, методом мы определяем не совсем правильно.

Между тем при астрофизическом методе определения параллакса на его величине эффекты, связанные с геометродинамикой Эйнштейна, не сказываются, результат получается более точным. Разницу между астрофизическим и тригонометрическим параллаксами можно определить расчетом.

Ученые так и сделали — и средняя разница составила четыре тысячных доли секунды.

А затем они взяли звездный каталог на две тысячи двести восемьдесят девять звезд с указанием для каждой из них того и другого параллакса и выбрали из этих звезд сто тридцать пять, для которых тот и другой годичные параллаксы были определены с одной и той же степенью точности.

Ну и вот, все астрофизические параллаксы оказались больше, чем соответствующие тем же звездам тригонометрические, больше как раз на те предварительно вычисленные четыре тысячных секунды.

Так звездный каталог оказался сборником звездных подписей под теорией гравитации Эйнштейна.

В теории Ньютона свет движется с бесконечной скоростью, и на его частоту никак поле тяготения не действует. Согласно же общей теории относительности частота света и вообще электромагнитных волн должна в гравитационном поле изменяться. Причем если свет идет по направлению к центру тяготения, частота повышается, если от центра тяготения — понижается. Этот

факт был проверен многократно, начиная с 1960 года.

В первых экспериментах фотоны, частицы света, заставляли «подниматься» на высоту двадцать два с половиной метра против земной силы тяжести в трубке, заполненной гелием и помещенной в шахту. При этом предсказания Эйнштейна были подтверждены с точностью до одного процента. Не так давно был поставлен эксперимент, в котором электромагнитные волны шли в гравитационном поле Земли от источника излучения до его приемника десять тысяч километров. Естественно, опыт ставился с участием космической ракеты. Результаты совпадали с предсказанием с точностью до четырех сотых процента.

*Факты, полученные нами, должны быть верными; для гипотез, если они плодотворны, это необязательно, а будучи полностью подтвержденной, теория лишается оплодотворяющей силы. Она вызывает к жизни опыты, дающие новые факты, только до тех пор, пока мы сомневаемся в ее справедливости.*

Ганс Селье

Подтвердили общую теорию относительности опыты по радиолокации планет и космических кораблей с Земли. Радиолуч, отраженный от спутника, находящегося на орбите Марса, запаздывает с приходом на Землю на двести миллионных долей секунды, если по дороге ему приходится пролетать вблизи Солнца. Задержка в экспериментах с точностью до двух процентов соответствует предсказаниям общей теории относительности.

Как видите, обо всех уже выполненных экспериментах приходится монотонно повторять: соответствует... отвечает... с точностью до стольких-то процентов (стольких-то миллиардных долей). Это хорошо, поскольку подтверждает, что работающие в гравитации физики руководствуются на сегодня правильной теорией; это плохо, поскольку сказано же: самое лучшее для науки, когда точно поставленный эксперимент противоречит хорошо обоснованной теории.

А дальше... Мало того, что физики собираются повторять и повторять уже получившиеся опыты со все большей точностью. Они придумывают новые.

В этой книге уже не раз теория Эйнштейна сопоставлялась с теорией Максвелла. Причины тому носят не



только исторический и философский характер, но и имеют глубокий физический смысл. У электромагнитного и гравитационного полей немало общих закономерностей. В том лишь беда, что снова и снова гравитационщики упираются лбом в слабость гравитационного воздействия.

Как все просто в электромагнетизме: возьмите две катушки, в которых протекает электрический ток, сблизьте их — и они будут притягиваться или отталкиваться в зависимости от взаимного направления токов. И для того, чтобы обнаружить такое притяжение или отталкивание, не обязательны даже приборы — «взаимодействие» катушек ощутят и оценят руки, которые их держат.

Точно так же, если вращать два расположенных рядом шара в одну сторону, их гравитационное взаимодействие должно, по общей теории относительности, усилиться; если в разные стороны — ослабеть. Но усилиться или ослабеть на такую ничтожную величину, что большим сюрпризом для физиков было уже появление проекта опыта по ее обнаружению. Проект опубликован в 1977 году в американском журнале «Физикэл Ревью», его авторы — советский физик Брагинский и американцы Торн и Кейвс. В этой же статье они рассматривают возможность повторения «на гравитационном материале» некоторых других классических для электромагнетизма опытов. И рассматривают, в общем, оптимистически. Тут нужны и высокий вакуум в камерах, и температура, близкая к абсолютному нулю.

Ах, как жалеют порою экспериментаторы, что живут в такой горячей Вселенной, на такой теплой Земле. Тепло — это ведь беспорядочные движения и колебания молекул, атомов, элементарных частиц. Эти-то беспорядочные движения и надо погасить, чтобы четко выделить единственно интересующие физиков в каждом данном опыте явления.

В области гравитации, как пигде, экспериментальная работа почти не отделима от наблюдательной.

Электромагнитное поле сравнительно большой мощности можно создать в лаборатории, лабораторных же концентраторов гравитации, увы, нет нигде, кроме фантастических рассказов. Нет пока способа создать мощное поле тяготения иначе, как объединив массу атомов

в теле астрономического масштаба. Но где же у нас на Земле лаборатория, способная вместить такое тело?

Физика здесь должна становиться астрофизикой, переходить от измерения ничтожных долей сантиметра к парсекам и световым годам. Лаборатория расширяется порою до размеров Вселенной. Расстояния же до самых массивных и плотных тел Мегалактики пока слишком велики даже для астрофизики. Квазары, предполагаемые массы которых в миллиарды и триллионы раз больше солнечной, и слишком далеки и слишком мало известны. Поэтому самым надежным и дающим самую большую долю информации о тяготении прибором остается Солнце, несмотря на то, что масса кажется исследователям гравитации слишком небольшой, а тяготение слишком незначительным. Эффекты, следующие из общей теории относительности, проявляются здесь довольно слабо.

Чтобы они могли быть замечены для движения Земли, перемещающейся по своей орбите, следует измерить радиусы ее эллиптической орбиты с точностью до десяти в минус восьмой степени их длины. Увы, пока что точность ниже на два порядка: радиусы орбиты Земли известны нам лишь с точностью до одной миллионной. По мере того, как будут пролагаться космические маршруты к планетам, радиусы орбит последних будут уточняться, но пока...

Стоит знать к тому же, что движение планеты только теоретически представляет собой свободное ее падение «в чистом виде». Пустого пространства во Вселенной нет, а межзвездный газ оказывает сопротивление движущимся в нем телам. Нельзя сбрасывать со счетов и солнечный ветер — летящие от светила частицы, и световое давление, открытое в конце XIX века русским ученым П. Н. Лебедевым, оно тоже влияет на движение космических тел, в том числе и искусственных спутников. А есть еще микрометеориты...

Все это влияет на точность экспериментов по проверке общей теории относительности.

Впрочем, искусственный спутник планеты и Солнца можно попробовать защитить от негравитационных воздействий (от гравитационных — не отгородиться, но здесь это и не нужно, потому что ученых интересуют именно они).

Для этого новая искусственная планета (она же проб-

ная масса) должна быть защищена оболочкой. Оболочка защищает находящееся внутри тело от переменных магнитных полей. В оболочке-корпусе заключен газ, который может выбрасываться через небольшие газовые сопла, направленные в разные стороны. Световое давление и сопротивление газа приходятся на оболочку: они изменяют ее движение; расстояние между самой планеткой (телом) и оболочкой меняется, но благодаря бесконтактным датчикам тут же автоматически включаются сопла с нужной стороны, возвращая оболочку в прежнее положение по отношению к надежно охраняемому телу самой планетки. Движение корпуса все время подстраивается к движению пробной массы, а та идет по траектории, определяемой только силой тяготения. Эта система получила название газового щита. Ее идею самостоятельно и независимо друг от друга высказали несколько ученых.

Так появилось представление о «спутниках, свободных от сноса». Они смогут с гораздо большей точностью, чем удастся сейчас, определить задержку электромагнитных импульсов гравитационным полем Солнца.

А если запустить свободный от сноса спутник низко над поверхностью Земли, он расскажет нам очень много нового о распределении масс в теле планеты. Само сопротивление, оказываемое верхней атмосферой внешнему корпусу спутника, даст возможность более точно, чем сейчас, определить плотность атмосферы на отдельных участках орбиты.

В 1972 году американские ученые запустили первый спутник, защищенный от сноса. Он был назван «Трайяд-1». Пробная масса внутри корпуса была сделана из сплава платины и золота. Разумеется, не потому, что это классические драгоценные металлы, а потому, что их сплав практически не поддавался действию магнитного поля. Изменение скорости, то есть ускорение спутника под воздействием негравитационных сил, не могло быть больше, чем одна стомиллионная доля сантиметра на секунду в квадрате.

Это далеко не предел, но ученые уже имели возможность предсказать с точностью до ста метров положение спутника на его орбите на две недели вперед. Поведение обычных спутников предсказуемо в гораздо меньшей степени — снос составляет сотни метров в одни сутки.

В ближайшем будущем появятся новые спутники, способные сопротивляться всем воздействиям космоса, кроме гравитационных. Им предстоит решить столько проблем, касающихся Земли, Солнца и теории гравитации. И многого другого.

А теперь еще один экскурс в будущее.

«...Здесь существовало лишь Солнце и еще раз Солнце.

Солнце было горизонтом и всеми странами света. Оно сжигало минуты и секунды, песочные часы и будильники: в нем сгорало время и вечность».

Это из рассказа Рэя Бредбери «Золотые яблоки Солнца».

Его герои летят на космическом корабле, рискуя жизнью, за веществом, из которого состоит Дневная звезда. Бредбери не указывает времени действия. Между тем... в восьмидесятые годы нашего столетия к Солнцу должен уйти автоматический космический корабль, чтобы максимально приблизиться к светилу, на расстояние всего в четыре солнечных радиуса, а потом покинуть поле его тяготения и вернуться на Землю. Его, как и бредбериевский корабль, будет интересовать солнечная, а точнее околосолнечная, плазма, но главной целью «солнечного зонда» будут исследования в области гравитации.

Об этом проекте рассказал на Всесоюзной гравитационной конференции в Минске в 1976 году ее гость, итальянский профессор Бертоtti, участник работ над «солнечным зондом», запуск которого запланирован Европейским космическим агентством, объединяющим научные центры ряда стран. Рассчитали, что всего удобнее послать корабль сначала в район планеты Юпитер; мощное гравитационное поле планеты-гиганта изменит движение корабля так, что он в конечном счете попадет на заранее намеченное место. Поскольку Юпитер во много раз дальше от Солнца, чем Земля, то нельзя не поразиться тонкостям, связанным с расчетами космических орбит.

«Солнечному зонду» придется с одного бока нести щит — тугоплавкий вольфрамовый экран-отражатель. Иначе жар Солнца испепелит автомат. Почти по Бредбери: «...Это увлекательно, это здорово: прилететь, и стремглав обратно! В сущности, все дело в гордости и тщеславии людей-козявок, которые дерзают дернуть льва за

хвост и ускользнуть от его зубов». Почти по Бредбери, только вот без людей.

Все трудности запуска и оборудования должны быть с лихвой оправданы результатами. «Солнечный зонд» выяснит структуру гравитационного поля Солнца, даст точнейшие сведения не только о форме Солнца, но и о его «содержании» — человечество получит о внутреннем строении своей звезды сведения, которые пока никаким другим способом получить нельзя. Он займется и проверкой гравитационных теорий, в том числе общей теории относительности. В столь мощном гравитационном поле такие ее предсказания, как смещение частоты света в поле тяготения, и другие, можно проверить с немыслимой на Земле степенью точности. Наконец, тут станет возможным проверить, изменяется ли со временем — как утверждает гипотеза английского физика П. Дирака — гравитационная постоянная.

Солнечная система стала самым популярным полигоном для испытания общей теории относительности, но все-таки только одним из многих полигонов.

Соединение теории гравитации с астрофизикой было неизбежно, и оно состоялось уже довольно давно.

Если мала масса Земли, маловата масса Солнца, орбиты планет вокруг него не очень удачно расположены для наблюдений, то, как справедливо заметил Р. Дике: «К счастью, наша Вселенная содержит такое множество объектов и эти объекты так разнообразны по своим размерам, что находчивый экспериментатор может рассчитывать найти в ней уже готовые и действующие приборы, дающие фундаментальную информацию о природе тяготения».

Здесь, как видим, наблюдение приравнивается к эксперименту, а уверенность ученого в том, что Вселенная не оставит его без необходимой информации, поистине великолепна. Но, думается, даже этот оптимист никак не мог рассчитывать на прибор, который сравнительно недавно космос любезно предложил ученым.

В 1974 году природа поднесла астрофизике, космологии и общей теории относительности подарок неслыханной ценности. В сугубо научной работе В. Б. Брагинского и В. Н. Руденко об этом говорится именно так — как о приятнейшем сюрпризе: «Природа дарит нам релятивистскую лабораторию с готовым инструментом для ее исследования».

Ну, а как иначе назвать открытие двойной звезды, в которой, правда, один из двойников не виден ни в оптическом, ни в радиодиапазоне, зато другой представляет собой пульсар, посылающий радиоволны строго определенной длины? Открыт радиомаяк в космосе! Отделяют его от Земли пять тысяч парсеков — более шестнадцати тысяч световых лет. Масса его приблизительно равна солнечной, а размеры, как полагается нейтронной звезде, чрезвычайно малы — радиус пульсара примерно десять километров. Обычными методами, применяемыми при исследовании двойных звезд, было определено время полного оборота пульсара на его орбите — оно оказалось равно примерно семи с половиной часам. Значит, звезда-спутник расположена очень близко к радиомаяку, и их гравитационное взаимодействие огромно.

Каким было первое фактическое доказательство верности общей теории относительности? Им было смещение перигелия Меркурия. Точка наибольшего удаления спутника от звезды называется периастром. Смещение периастра пульсара, вычисленное теоретически, составило три угловых градуса в год — это вместо сорока трех угловых секунд в столетие у Меркурия! Наблюдения дали такую величину:  $3,6 \pm 1,6$  градуса. Совпадение блестящее.

Давно уже бьются ученые над тем, как проверить предсказание Эйнштейна, касающееся вращения оси гироскопа, находящегося в гравитационном поле вращающегося тела. Разрабатываются проекты запуска специальных спутников Земли, ведь Земля тоже вращающееся тело. Но этот эффект так тонок, что пока нельзя считать пригодным для его обнаружения ни один из предложенных конкретных проектов.

А в космической «релятивистской лаборатории» роль гироскопа выполняет сам пульсар, роль вращающегося центра тяготения — его невидимый спутник. Тут тоже есть свои сложности, нужно провести очень точные и долгие наблюдения, сделать очень трудные расчеты, но все это куда дешевле, чем запускать специальный спутник-гироскоп.

Многое еще обещает дать естественный радиомаяк в двойной звезде для теории гравитации. Но и современная теория гравитации может многое подсказать астрофизикам, изучающим эту систему.

Общая теория относительности здесь «выступает не

как гипотеза, нуждающаяся в проверке, а как критический тест астрофизической модели пульсара» (В. Б. Брагинский, В. Н. Руденко).

Уже по наблюдаемому смещению периастра можно сказать, что звезда-спутник невелика по размерам и, значит, тоже представляет собой весьма плотное космическое тело. Будь этот спутник нормальных звездных размеров, смещение периастра было бы в пятьдесят раз больше.

Общая теория относительности после многих точных измерений позволит определить и массу второй звезды, и наклонение орбиты, и некоторые другие характеристики системы. А это, в свою очередь, позволит наблюдать новые эффекты, следующие из теории.

Радиомаяк такого типа — пока единственный в своем роде, и использовать представляемые им возможности надо на все сто процентов!

О некоторых других планируемых гравитационных экспериментах и наблюдениях мы поговорим в третьей части книги. А сейчас покинем земные лаборатории, где, подтверждая общую теорию относительности, измеряют триллионные доли миллиметра, оставим маленькую Солнечную систему и даже уникальный радиомаяк, чтобы вместе с общей теорией относительности выйти на действительно широкие просторы Вселенной.

Ведь предсказания своей теория делает отнюдь не только для того, чтобы их проверяли.

## ВО ВСЕЛЕННОЙ

**В**о Вселенной, как и во времена Ньютона, главной силой остается гравитация.

Теория относительности ввела представление о кривизне пространства-времени, но постоянна ли эта кривизна в реальной Вселенной? Сам Эйнштейн поначалу пришел к выводу, что Вселенная стационарна, ее составные части — галактики и скопления галактик — в среднем остаются на своих местах, радиус кривизны пространства-времени постоянен. Он увидел мир спокойным и упорядоченным. Может быть, тут сыграло свою роль руководившее Эйнштейном всю его жизнь представление о стройной гармонии мироздания. Для того, чтобы уравнения рисовали мир именно таким, уче-

ному пришлось ввести в них так называемую космологическую постоянную. Не будем входить в сложные математические подробности такой операции, тем более, что впоследствии Эйнштейн называл эту свою «добавку» самой большой ошибкой своей жизни. (Впрочем, часть физиков сегодня не соглашается с «отречением» Эйнштейна и продолжают использовать его «старовведение».)

Так или иначе, первые годы Эйнштейн был вполне удовлетворен Вселенной, вышедшей из-под его пера.

Но тут слово взял петроградский ученый Александр Александрович Фридман...

Он умер в тридцать семь лет — роковой возраст для великих поэтов. Но сколько было сделано и сколько прожито в этот короткий срок! Математик, метеоролог, доброволец русской армии в первую мировую войну, военный летчик, организатор аэронавигационной службы на всем протяжении русского фронта, директор завода измерительных приборов, профессор Пермского университета, организатор математического бюро Петроградской Главной физической обсерватории... Перечислены далеко не все дела, которыми он успешно занимался.

А в 1922 году, за три года до смерти, он опубликовал небольшую работу «К вопросу о кривизне пространства».

Название спокойное, академическое. Между тем статья доказывала не больше и не меньше как то, что кривизна пространства меняется и Вселенная расширяется. Он выяснил это, по-новому решая уравнения общей теории относительности.

Достаточно известна история о том, как Эйнштейн прочел работу Фридмана, не согласился с нею, послал возражение в журнал, потом получил письмо Фридмана, убедившее его в ошибочности собственных возражений. И признал, что Вселенная может оказаться не только стационарной, но и динамической, меняющейся.

Это был чисто теоретический спор по математическим проблемам. Но именно тут теория гравитации Эйнштейна проявила себя, что довольно скоро выяснилось, как учение, способное делать предсказания гигантского масштаба. Эта теория, еще и не подтвержденная тогда «как следует», оправдала то доверие к ней физиков, о котором говорил Г. Бонди. Потому что через шесть лет после появления статьи Фридмана астро-



ном Эдвин Хаббл обнаружил факт «разбегания» галактик. Следовательно, Вселенная расширялась — по Фридману\*.

Хаббл и астрономы, его последователи, на основе своих наблюдений по скорости разбегания галактик определили возраст Вселенной примерно в два миллиарда лет. Они опирались как будто на факты. А теоретики, развивавшие общую теорию относительности, настаивали на удлинении временной шкалы по меньшей мере в пять раз.

В истории науки экспериментаторы и наблюдатели в среднем чаще оказываются правы, чем теоретики. Но в данном случае, как, впрочем, пока во всех случаях, связанных с теорией относительности, математическая физика вышла победительницей в споре с наблюдательной астрофизикой. В пятидесятые годы астрономия подтвердила ее правоту. Так называемое первичное, или реликтовое («ископаемое»), космическое излучение — память о «первовзрыве» нашей Метагалактики — было обнаружено в 1965 году чисто случайно, при испытаниях наземной системы связи со спутниками. Был обнаружен радиощумовой фон, не менявшийся, куда бы ни направляли антенну. Во всем сначала обвинили аппаратуру, ее разбирали, проверяли каждую деталь, пока не убедились, что от проверок и отладок радиощум не исчезает. Ровный поток радиоизлучения, соответствующий температуре в три градуса выше абсолютного нуля, падал на радиотелескоп на Земле, пронизывал Вселенную.

Очень обидно, что открыт он был случайно, потому что за семнадцать лет до этого существование такого излучения было, по существу, предсказано на основе общей теории относительности.

*...Нет, наверное, другого раздела физики, который был бы так проверен, изучен и опять проверен опытами, как теория относительности.*

*Герман Бонди*

Нейтронные звезды были предсказаны в 1934 году, а соответствующие предсказанию небесные тела обна-

---

\* Точнее — Метагалактика, единственная известная нам часть Вселенной. В современной научной физической литературе слова Метагалактика и Вселенная нередко употребляются как синонимы. В данной книге — тоже, но будем помнить только что сделанную оговорку.

ружили только в 1968 году — это были знаменитые ныне пульсары.

В 1939 году на основе геометродинамики Эйнштейна была предсказана возможность существования так называемых черных дыр.

Датский ученый Меллер написал книгу о теории относительности, которая вышла двумя изданиями — в 1952 и 1971 годах. В предисловии ко второму изданию Меллер отмечает, что в момент, когда книга его вышла впервые, теория относительности считалась в общем законченной. Научные события 1955—1970 годов показали ее возможности и в объяснении астрофизических явлений, и в новом бурном развитии.

Итак, Вселенная «искривилась» и начала расширяться, ее объекты стали несравненно многообразнее, но гравитация осталась, как и во времена Ньютона, силой, которой держится мир. Именно ее теория вызвала преобразование картины мироздания в XX веке.

Но «по-прежнему» гравитация собирает космический газ в звезды, звезды — в галактики, галактики — в скопления. Нельзя при этом, конечно, забывать чрезвычайно интересных данных о взрывных процессах во Вселенной, полученных Бюраканской школой астрономов во главе с В. А. Амбарцумяном. Иногда Вселенную, объекты которой конденсируются из рассеянного в космосе вещества, противопоставляют Вселенной, в которой космические тела образуются при взрывах так называемого протозвездного вещества — по Бюраканской концепции. Но сейчас многие физики полагают, что в реальной Вселенной идут оба этих процесса, в полном согласии с положением Бора относительно глубоких истин.

Большую роль в развитии космологических аспектов общей теории относительности сыграл приход в нее в конце пятидесятих годов советского академика Я. Б. Зельдовича. Он во многом увязал с теорией гравитации ядерные реакции в звездах, само понятие релятивистской астрофизики появилось в шестидесятих годах в науке в результате работ его школы.

Общая теория относительности широко развила данное Ньютоном представление о гравитационной энергии. Энергия гравитации есть всюду, где есть масса. Сосредоточена ли она в чудовищно грандиозных телах звезд или распылена частицами межзвездного газа по тому, что еще недавно считалось пустым космическим про-

странством. Эта энергия может быть превращена в тепло и свет — при процессах сжатия, конденсации вещества.

Гравитационная энергия во Вселенной имет огромный количественный перевес над всеми остальными формами энергии. Потоки света, излучаемые бесчисленными звездами Вселенной, жар самих этих звезд, космические лучи, пронизывающие мир, — все это вместе составляет лишь небольшую долю той энергии, которой тяготение обеспечивает наш мир.

Мало того. Именно тяготение — исток, из которого в конечном счете берут основу своей мощи все остальные энергетические ресурсы Вселенной. Гравитационное сжатие больших тел космоса превращает освобождающуюся энергию тяготения в свет, тепло и энергию вращательного движения.

Известный американский физик Фримен Дайсон пишет: «Законы термодинамики утверждают, что любое количество энергии обладает характерным качеством, связанным с ним, — энтропией. Энтропия измеряет степень беспорядка, хаотичности, связанной с энергией. Энергия всегда будет превращаться из одной формы в другую так, чтобы энтропия возрастала. Воспользовавшись этим обстоятельством, мы можем расположить разные формы энергии «по порядку значимости», где высшее место займет форма, которой присуща минимальная энтропия или минимальный хаос... Направление потока превращений энергии во Вселенной задается, главным образом, свойствами гравитации: прежде всего тем, что она преобладает в космосе количественно, а кроме того, тем, что гравитация является высшей формой энергии. Высшей — ибо она обладает нулевой энтропией».

Низшая форма энергии в этом смысле — тепло, теплота. В теплоту могут превращаться все виды энергии — от гравитационной до химической.

Но тогда встает вопрос: почему Вселенная еще существует? Ведь перед нами энергетический поток, который течет в одну сторону. Океан гравитационной энергии изливается могучими реками, непрерывно переходит в свет и тепло. И остается все тем же неиссякаемым океаном. Почему? Мало того, по Дайсону, закон всемирного тяготения отпускает нашей Галактике всего сто миллионов лет существования, причем не с сегодняшнего дня, а так сказать, с того момента, как она приняла тот вид, который имеет последние несколько миллиардов

лет. Расчет прост. В одном кубометре нашей Галактики, если учесть и звезды, и планеты (правда, пока достоверно известна лишь одна планетная система — Солнечная), и межзвездный газ, в среднем находится миллион атомов. Сто миллионов лет — время, которое должно было бы занять свободное падение всего этого вещества к общему гравитационному центру Галактики. Но закон всемирного тяготения при грандиозных масштабах своего действия все-таки не один управляет развитием Вселенной.

Мы обязаны сменой дня и ночи вращению Земли. Но точно так же вращаются все небесные тела. Когда Солнечная система возникала из сгустившегося межзвездного газа, именно вращение облака, из которого образовались и светило, и его планеты, помешало всему этому облаку собраться под воздействием сил тяготения в единый центр.

Наконец, термоядерные процессы, идущие в недрах звезд, не дают им сжиматься слишком сильно, противостоя силе тяготения, стремящейся стянуть массу звезды к ее центру.

Словом, гравитация, которую мы только что осыпали комплиментами (самая могучая... высшая форма энергии... и тому подобное) оборачивается злобным демоном вселенской истории, угрожающим разрушить нашу Галактику. А вращательное движение и термоядерные реакции выступают как защитники Галактики (и Метагалактики — в ней, правда, вещество в миллион раз разреженней, и сроки жизни соответственно в тысячу раз — по закону Ньютона — дольше) от этого злого гения Вселенной. Но ведь и вращательное движение звезд и звездных систем тесно связано, как подчеркивал Дайсон, с гравитационной энергией. Мало того. Сами термоядерные реакции возможны только при высоких температурах, а в разогреве масс протозвезд играло весьма значительную роль гравитационное сжатие.

Гравитация ведет себя как копьё Геракла: раны, которые наносило его острие, можно было вылечить прикосновением древка.

Во внутризвездных масштабах, как и в галактических, тяготение играет важнейшую роль. Жизнь звезды — борьба, как и жизнь галактики, как и жизнь человека. Три главные силы встречаются здесь в чудовищ-

ном противоборстве: гравитация, ядерные реакции и центробежная сила. Ярче всего это видно на примере событий, которые называют гравитационным коллапсом.

## ВСТРЕЧА У ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

**К**оллапс — термин, первоначально гораздо более популярный в медицине, чем в космологии. Сосудистый коллапс может привести к гибели человека. Гравитационный коллапс может привести звезду если не к гибели, то к перерождению. Он может произойти не со всякой звездой, а только с такой, масса которой превышает солнечную процентов по меньшей мере на двадцать. И может произойти, а может и не произойти. Это, как пишут физики, один из возможных путей завершения эволюции звезд. Возможных, но не обязательных.

Чем станет звезда после гравитационного коллапса? Может быть, нейтронной звездой, а может быть, даже черной дырой.

Термоядерные реакции, по наиболее признанной сегодня теории, дают звезде энергию, которую она тратит на излучение \*. Но термоядерные реакции ведут к образованию все более тяжелых ядер элементов из ядер легких, пока, наконец, дело не дойдет до появления в центральной области звезды огромного количества ядер группы железа. Ядра железа и его химических сородичей относительно весьма прочны. Нуклоны в них связаны друг с другом так крепко, что синтез на этой «железной» основе более тяжелых ядер не только не ведет к выделению энергии, но, наоборот, требует ее затрат.

Центр звезды, ее топка, перестает работать, затухает. Однако потери звездой энергии не только не падают, но растут. А между тем внутри каждой звезды на всем протяжении ее развития борются силы гравитационного притяжения и силы отталкивания частиц, притиснутых друг к другу чудовищным давлением и «желающих» чувствовать себя попросторнее в каждой ее точке. Наступает, наконец, момент, когда гравитационные силы

---

\* В последнее время эксперименты указывают как будто, что представление о важнейшей роли термоядерных реакций для «работы и жизни» ближайшей к нам звезды — Солнца нуждается в некотором пересмотре.

решительно берут верх над силами отталкивания. Разумеется, это означает, говоря философски, что рассматриваемое природное явление должно после некоторых изменений прийти в новое состояние равновесия. Да, конечно, такое состояние возникает. Но какой ценой! Бывшая топка звезды, ее сердцевина, оказывается сжатой действием неуравновешиваемых сил тяготения. Их нажима не выдерживают и прочнейшие связи между нуклонами в ядре железа и его родственников. Ядро разваливается, или, лучше сказать, разламывается. На это разламывание тоже уходит энергия, потому топка становится теперь топкой наоборот: берет энергию, а не отдает ее, в недрах звезды идет вывернутая наизнанку реакция синтеза ядер. Впрочем, температура топки все же не падает, ведь звезда сжимается, а гравитационная энергия, как мы знаем, способна переходить в тепло не хуже любой другой.

Если бы температура в центре звезды поднималась быстро, разогретое вещество набралось бы силы, чтобы побороться с тяготением, чтобы остановить сжатие. Но большая часть тепла расходуется все на ту же «обратную термоядерную реакцию».

Сжатие продолжается, пока не превращается в сжатие взрывное, когда вещество центральной области звезды устремляется к центру ее со скоростью, достигающей на определенных этапах многих километров в секунду. Естественно, что на место уже обрушившихся более близких к центру слоев рушатся слои, более близкие к поверхности. Катастрофа развивается!

Нашему Солнцу взрывной коллапс не угрожает. Слишком для этого мала масса светила. Вот если бы оно было больше хотя бы в один и два десятых раза... Впрочем, в Галактике множество звезд, больших, чем Солнце. Гравитация в конце концов приведет их к сжатию, и они превратятся в нейтронные звезды.

Но и нейтронная звезда еще не дает нам предела плотности, возможного для вещества. Если гравитационный коллапс не остановился, она схлопывается — при определенных условиях — еще примерно на треть своего диаметра. И вот тут-то из нее получается черная дыра. Космическое тело исчезает с небосклона, потому что тяготение вблизи его поверхности достигает такой фантастической величины, что даже и свет оказывается «прикован» и не может уйти в пространство. То же от-

носится и к любым другим формам вещества. Все, что достигает этого района, заглатывается черной дырой безвозвратно. Она становится грандиозной гравитационной ловушкой. Даже гравитационным гробом, как называл ее академик Я. Зельдович И не только для вещества. Само пространство-время приобретает здесь новые свойства.

Немецкий астроном Карл Шварцшильд в первые же месяцы после появления теории относительности нашел на основе ее уравнений, что если достаточно плотная звезда сожмется до определенных размеров, до своего так называемого гравитационного радиуса (в каждом случае зависящего от ее массы), то никакие сигналы с этой звезды уже не смогут выйти наружу. Слишком сильно будет искривлено окружающее ее пространство-время.

Черные дыры долго оставались, однако, на периферии космологии и астрофизики. Но с шестидесятых годов положение изменилось. Число посвященных им работ растет чуть ли не с той же быстротой, с какой они сами — в теории — схлопываются.

Какой реально должна быть черная дыра, первыми показали советские физики А. Г. Дорошкевич, Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков в 1965 году.

Вращающаяся черная дыра становится центром вихря, засасывающего по воронкообразным орбитам частицы и газ. Она имеет четко очерченный горизонт, через который вещество и свет могут проходить только в одну сторону — внутрь, но не наружу\*; окружность ее экватора должна быть равна девятнадцати километрам, помноженным на число масс Солнца, которым соответствует масса черной дыры. «Типичная» черная дыра имеет в «охвате» от шестидесяти до тысячи километров, и масса ее может содержать от трех до пятидесяти солнечных масс.

Кроме «типичных» черных дыр, могут существовать еще и дыры сверхгигантские. Ими, возможно, становятся центры галактик, в ядрах которых в прошлом происходили мощные взрывы. Если такая дыра есть и в центре нашей Галактики, то ее масса должна быть в сто миллионов раз больше массы нашего Солнца.

---

\* В последние годы в это положение пришлось внести поправку, речь о которой пойдет в свое время.

Наконец, теория учитывает возможность существования в нашем мире и минидыр массой всего лишь в несколько сот масс самой большой египетской пирамиды — пирамиды Хеопса. По космическим масштабам это и вправду минимасса, и вся она сосредоточена в объеме, который в нормальных условиях занимает одна (одна!) элементарная частица. Такие минидыры должны в соответствии с законами квантовой механики понемногу «испаряться». Один из «фокусов» квантовой механики состоит в том, что в определенных условиях элементарные частицы способны делать «скачки» сквозь как будто непреодолимые для них энергетические барьеры. Здесь не место вдаваться в подробности, заменим их аналогией. Сколько бы раз автомобиль ни подъезжал к глухой каменной стене, преодолеть ее он не в состоянии: он может либо остановиться перед ней, либо разбиться вдребезги. А вот подчиняйся он законам квантовой механики, в одном случае из очень многих автомобиль очутился бы «вдруг» позади стены, не повредив ее. Вот так какая-то часть вещества черной дыры все-таки выскакивает за ту самую ее поверхность, где даже свет вынужден останавливаться и обрывать свою дорогу вонне. Чем больше дыра, тем меньшая доля ее частиц прорывается наружу, но «испарение», предсказанное С. Хокингом, идет и с поверхности больших черных дыр. Маленькие же дыры испаряются относительно быстро, и завершается этот процесс «таяния» бурно — взрывом. По астрофизическим масштабам взрывом крошечным — всего-то в области пространства величиной с протон освобождается столько же энергии, что и при взрыве одного миллиона мегатонных водородных бомб.

Именно из-за склонности к взрыву при уменьшении массы минимальная масса черных дыр сегодня — десять в пятнадцатой степени граммов. Минидыры наших дней (если они есть) — реликты, ископаемые, оставшиеся от первых секунд рождения Метагалактики. А вот сверхмассивные дыры — памятники тех более близких к нам миллиардолетий, когда складывались уже галактики.

Между прочим, на черную дыру можно и наткнуться. Конечно, встреча с таким космическим телом, даже миниатюрным, обернулась бы для Земли катастрофой. Но, возможно, такие катастрофы, к счастью, не очень значительных масштабов, уже случались в земной исто-



рии. Одна из сотен гипотез, связанных со знаменитым Тунгусским метеоритом, объявляет его минидырой. Впрочем, гипотезу эту отнюдь нельзя назвать общепризнанной.

В отличие от случая с нейтронными звездами черные дыры пока не отождествлены достаточно точно ни с какими конкретными объектами Вселенной, хотя их существование уже подозревают в нескольких пунктах. Строго говоря, они только предсказаны — предсказаны на основе уравнений общей теории относительности. Пока что все ее предсказания, которые можно было проверить, оказывались верными. Но мы-то знаем ведь, что теория должна проверяться, пока не будет опровергнута. Станет ли проблема черной дыры новым триумфом теории?

*...Построение гипотез гораздо меньше зависит от логического мышления, чем думает большинство людей. Ни одна гипотеза не может быть создана путем только логического рассуждения, потому что она... основывается на недостаточном количестве данных; в противном случае это уже не гипотеза, а констатация факта. Гипотеза же тем изобретательней, чем больше она вынуждена опираться на воображение ввиду отсутствия фактов. Само собой разумеется, что оценка результатов может производиться только разумом.*

*Ганс Селье*

Изложенное выглядит интересно, неожиданно, парадоксально. Однако кого удивишь парадоксами в современной физике? Парадокс — то, что противоречит общепринятому взгляду на вещи. Ну, а когда, строго говоря, «общепринятый» взгляд по каждому поводу принят далеко не всеми?.. Сказал же Р. Фейнман, что каждый физик знает шесть-семь теорий, объясняющих одни и те же известные факты.

С одной стороны, гравитационный коллапс представляется нормальным явлением в жизни каждой достаточно массивной звезды. Теоретические расчеты убедили большинство физиков в том, что переход пережившей коллапс звезды в черную дыру в ряде случаев неизбежен. Надо, однако, отметить, что ряд исследователей (у нас в стране — доктор физико-математических наук М. Е. Герценштейн и некоторые другие ученые, за

рубежом — Р. Джилмен, Е. Г. Геррисон, В. Израэл) доказывает, что гравитационный коллапс на его последней стадии обратим, звезда, сжавшись до размеров сферы Шварцшильда, не застывает в этом положении, а снова расширяется, чтобы опять сжаться. Гравитационный коллапс, по Герценштейну и Джилмену, оборачивается не безвозвратной «смертью» звезды с обращением ее в гравитационный гроб, а пульсирующими ее биениями. На месте черной дыры в этой гипотезе возникает пульсар. С другой стороны, есть много оснований ожидать, что где-то впереди наша Метагалактика в целом должна пережить гравитационный коллапс. Положим, что в Метагалактике срабатывают те же задержки (противодействие гравитации некоторых других сил) коллапса, что и в галактике. Однако и тут и там это именно задержки — процесс не остановится, а только станет (становится) медленнее. А в масштабах Вселенной миллиарды и даже десятки миллиардов лет отнюдь не выглядят бесконечностью.

А вот еще одна система аргументов в пользу неизбежности перехода Метагалактики от расширения к сжатию. Рассказ о ней стоит начать с литературного примера, точнее — антипримера.

У советского геолога Обручева есть научно-фантастический роман «Плутония». Его герои сквозь отверстие вблизи полюса проникают внутрь нашей планеты, где, оказывается, находится обширное пустое пространство, освещаемое, собственным «внутриземным солнцем».

Рассмотрим эту ситуацию с гравитационной точки зрения.

Существуй на самом деле такая внутриземная полость, имейся на самом деле путь в нее — вблизи ли полюса или у экватора, — путешествие туда все равно было бы невозможно, как и жизнь в этой полости. Дело в том, что по одному из следствий закона всемирного тяготения Ньютона в пустой полости внутри сферической массивной оболочки гравитационная сила отсутствует. Попад в огромную полость внутри Земли, путешественники всплыли бы в воздух, как космонавты в спутнике, вышедшем на орбиту. Только в спутнике невесомость связана с тем, что он представляет собой свободно падающее тело, а в Плутонии притяжение со стороны ближайшей части земной оболочки уравнивается

притяжением остальных ее частей, в которых ведь вещества намного больше. Впрочем, дело обстояло бы даже хуже. В такой ситуации для путешественников сыграло бы роковую роль тяготение самого Плутона — светила подземной страны. В условиях равновесия сил притяжения со стороны Земли (Земли как «оболочки») Плутон должен был притянуть к себе отважных исследователей.

Поскольку аналогичных Плутонии полостей нет не только в нашей планете, но, насколько мы можем судить, ни в одной из планет Солнечной системы, ни даже ни в одном из массивных тел большого космоса, на данный вывод из теории тяготения Ньютона можно, казалось бы, не обращать внимания. Ан нет! Эффект, который Обручеву пришлось «забыть», играет огромную роль во Вселенной, и знание его открыло ученым глаза на многое в строении нашего мира. Потому что это правило (действующее во всю свою силу и в общей теории относительности) справедливо не только внутри сферической оболочки, но всюду, где силы тяготения, действующие, так сказать, с разных сторон, взаимно компенсируются и тем самым исчезают для соответствующим образом расположенного тела.

Известный уже нам американский физик Р. Дике пишет: «Во Вселенной нет таких огромных сферических полостей, но мы можем их себе представить, мысленно «вычерпав» все галактики из большого (но не слишком большого) сферического объема, а затем вернув в получившуюся при этом полость...»

Каков, однако, мысленный эксперимент! Не говоря уже о том, что ученый свободно оперирует целыми галактиками — великолепно сама оговорка, что объем (вмещающий группы галактик!) не должен быть «слишком большим».

Эта мысленная операция показывает, что можно «затем» рассматривать гравитационное взаимодействие «возвращенных на место» галактик только как притяжение их друг к другу, считая, что все остальное вещество Вселенной на них не действует.

Тогда каждая галактика, расположенная в этой сфере, притягивается к центру сферы, как если бы именно в ней было сосредоточено все вещество этой области (примерно так же, как герои «Плутонии» притягивались бы к внутреннему Плутону).

Как известно, Метагалактика расширяется, галактики разбегаются, причем расширяется Метагалактика равномерно. Так же равномерно будет расширяться и эта часть Вселенной, наша «сфера с галактиками», причем гравитация сдерживает их разлет, все уменьшая его скорость. Раньше или позже (сроки здесь должны в конечном счете определяться средней плотностью материи в сфере) скорость разлета будет полностью погашена, движение галактик от центра сферы прекратится. Начнется их обратное движение — к центру...

Мысленно выделенная сфера служит здесь моделью Метагалактики. При определенном, сравнительно малом значении средней плотности материи в Метагалактике расширение ее должно оказываться бесконечным; однако большинство физиков, работающих в данной области, полагают, что реальная плотность материи в нашем мире больше этой величины и на смену расширению неизбежно придет сжатие — гравитационный коллапс нашей системы мира.

*Научные истины всегда парадоксальны, если судить на основании повседневного опыта, который улавливает лишь обманчивую видимость вещей.*

*Карл Маркс*

Сама же черная дыра нередко рассматривается как модель Метагалактики в момент, предшествовавший тому «первовзрыву», что состоялся, по мнению современных космологов, десять — двадцать или еще больше миллиардов лет назад. Мы, правда, мало знаем пока о черных дырах, вплоть до того, что не уверены до конца в их реальности. И совсем уж мало известно нам о состоянии Метагалактики до того, как она начала расширяться.

Но не случайно же в лабораториях взрывников моделями динамитных и иных зарядов стали раздувающиеся резиновые шарики! Внешняя, и не только внешняя, разница между моделью и тем, что моделируется, бывает очень велика. Порою так велика, что поневоле вспоминается древняя китайская притча о поисках лучшего коня в мире. Императорский эксперт по лошадям был уже слишком стар и рекомендовал поручить эти поиски своему младшему товарищу. Тот, объездив страну, сообщил, где именно находится лучшая лошадь империи. Его спросили, как она выглядит. Ответ был: это

гнедая кобыла. За лошадью поехали и обнаружили в указанном месте вороного жеребца. Император предъявил претензии старику-эксперту. А тот пришел в восхищение — его протее, оказывается, умеет не обращать внимание на случайное и поверхностное, а видит суть. И действительно, вороной жеребец был лучшим конем в поднебесной...

Дж. Уилер в своей работе «За границей времени» объявил, что парадокс коллапса — величайший кризис в физике за все времена. Физик в этой своей работе становится поэтом, воспевающим не столько даже науку, сколько противостоящую ей поразительную Вселенную.

«Вселенная,— пишет Уилер,— начинает свое существование из сверхплотного и сверхгорячего состояния, расширяется до максимальных размеров, а затем вновь сжимается и коллапсирует: никогда не делалось предсказания, внушающего такой же благоговейный страх, как это. Оно нелепо и абсурдно. Эйнштейн и сам не мог поверить в свой вывод. И только наблюдения Хаббла заставили его и научную общественность отказаться от концепции Вселенной, которая, не меняясь, существует бесконечно долго».

Мало того, что Вселенная схлопывается, как отдельная звезда, становящаяся черной дырой, из уравнений еще и следует, что плотность массы-энергии растет неограниченно, материя должна собраться в одной точке...

Неужели же физика предрекает «конец» Вселенной, как когда-то обнаружила ее «начало»?

Нет, «физика продолжится дальше, хотя бы по той простой причине, что физика по определению — это то, что существует вечно, несмотря ни на какие призрачные изменения во внешних проявлениях реальности».

Слово «физика» в данном случае, судя по всему, равнозначно слову «материя».

Сравнительно недавно физики открыли процесс расширения Метагалактики из сверхплотного «первоначала». Их спрашивали, что было до него? А они вспоминали, как один из святых ответил на вопрос: «Чем занимался бог до создания мира?» Святой вышел из положения: бог, дескать, создавал ад для тех, кто задает такие вопросы. Остроумно. Но не убедительно. И во всяком случае ответ такого сорта — признание беспомощности физики. О, конечно, для науки — достоинство, когда она

умеет оценить пределы своего знания. Но расширение его пределов — долг науки.

Вспоминается история с другим коллапсом — электрическим, с другой ситуацией, в которой физикам на некоторое время стало казаться странным, как мир вообще может существовать, почему самое обычное вещество сохраняет свое состояние. Этот кризис начался в 1911 году, когда интерес общества к физике был гораздо менее развит, поэтому катастрофа, угрожавшая веществу, прошла бесследно для большей части человечества, тем более, что вскоре разразилась первая мировая война. Между тем кризис был весьма серьезным. Эрнест Резерфорд обнаружил экспериментально, что вещество состоит из отдельных положительных и отрицательных зарядов. Сегодня мы в школьном учебнике читаем, что в каждом атоме есть положительно заряженное ядро и отрицательно заряженные электроны, и не пугаемся, хотя знаем, что прогивоположные заряды притягиваются. Квантовая механика объяснила, почему электроны не падают на ядро. Но в 1911 году квантовой механики еще не было. По всем известным тогда законам отрицательные частицы должны были сблизиться и соединиться с положительными. Электрический коллапс выглядел неизбежным — и не происходил. Из решения парадокса электрического коллапса (вернее, парадокса его отсутствия) родилась модель атома Нильса Бора и в конечном счете квантовая механика в целом.

Что дает физике парадокс гравитационного коллапса? Чем значительнее парадокс, тем к большим результатам должно привести его разрешение. На повестке дня — не только судьба вещества, но и судьба самой Вселенной.

Что, кажется, страшнее, чем смерть, для человека, звезды, Вселенной? Но за «смертью» Вселенной неизбежно должно следовать новое ее рождение, процесс, в котором снова неизбежно будут порождены звезды, планеты, жизнь, разум.

Смотрите: гравитационный коллапс звезды, заканчивающийся ее превращением в черную дыру, ведет к поразительному обеднению звезды. Она теряет на этом пути большинство своих отличительных признаков. Получилась черная дыра из вещества или антивещества, из звезды или из облака излучения, из большой звезды или из относительно небольшой поначалу, но захватившей

достаточное количество фотонов,— понять по черной дыре ее прошлое, определить ее происхождение невозможно. Но у черной дыры все-таки останется масса, электромагнитный заряд, момент количества движения. Три характеристики из многих и живых звезд... Однако коллапсирующая Вселенная должна потерять и заряд, и массу, и момент движения — точнее, они потеряют в ней свой физический смысл. И все же... И все же начинается новый цикл, сжатие сменяется расширением.

«...Единственная разумная картина следующая: Вселенная в период коллапса либо преобразуется, либо превращается, либо переходит, либо воссоздается вероятным образом от одного цикла своей истории к другому», — пишет Уилер, поясняя, что, по его мнению, Вселенная скорее всего не столько преобразуется, сколько воссоздается. Элементарные частицы — реликт, ископаемое, оставленное нам в наследство последним гравитационным коллапсом. Если все электроны во Вселенной, сегодня или десять миллиардов лет назад, все, где бы они ни находились, одинаковы, то из этого можно сделать вывод, что при каждом очередном коллапсе Вселенной, в каждом цикле ее развития должны среди других частиц рождаться электроны, идентичные сегодняшним. То же относится, по Уилеру, ко всем остальным частицам. Сильное предположение? (В физике это словосочетание имеет свой четкий «внутриведомственный» смысл. Предположение находят тем более сильным, чем меньше доводов в его пользу.) Да, конечно, сильное. Но ведь Уилер и употребляет тут выражения типа «по-видимому», «наиболее разумно»...

Он обращает внимание на так называемые большие числа в физике, явно взаимосвязанные между собой, хотя понимаем мы эту связь пока не очень хорошо. Вот эти числа.

Во Вселенной  $10^{80}$  частиц.

Радиус Вселенной в момент максимального ее расширения ( $10^{28}$  сантиметров) так относится к среднему «размеру» элементарной частицы ( $10^{-12}$  сантиметра\*), как электрические силы к гравитационным силам. Это составит  $10^{40}$ .

Отношение «размера» элементарной частицы к так называемой планковской длине, предполагаемому кванту

---

\* Так у Уилера. Подлинная величина ближе к  $10^{-13}$  сантиметра.

пространства, составляет  $10^{20}$ . Во Вселенной отношение числа фотонов, частиц света, к числу барионов, тяжелых ее частиц, составляет  $10^{10}$ .

Выстроим эти числа в один ряд:  $10^{80}$ ,  $10^{40}$ ,  $10^{20}$ ,  $10^{10}$ . Слишком все стройно для случайного распределения. Перед нами типичная логическая задача, внешне похожая на те, что так часто печатает журнал «Наука и жизнь». Требуется найти решение.

Числа огромны, и эту огромность, возможно, нельзя объяснить, полагает Уилер. Если все константы, все постоянные Вселенной, включая гравитационную постоянную, постоянную Планка, размеры заряда электрона, воспроизводятся в каждом новом цикле, то физика должна принимать эти константы как некие исходные данные, заложенные при начале очередного цикла и задающиеся заново каждый раз.

*Что такое хаос? Это порядок, который уничтожили при сотворении мира.*

*Станислав Ежи Лец*

Американский физик Б. Картер попробовал посмотреть, что получилось бы, если бы константы были хоть немного другими. Достаточно сделать одну из них всего на один процент больше, чтобы все звезды стали красными, на один процент меньше, — чтобы все они стали голубыми. В этом новом мире не найдется места для маленькой желтой звезды, которую мы зовем Солнцем. А ведь жизнь, которую мы знаем, нуждается в свете и тепле, идущих именно от такой звезды.

Вот и выходит, что нашей планете, а вместе с ней и всему живому, в том числе и нам, людям, крепко повезло с «местом во Вселенной». Впрочем, «повезло» — это не более чем метафора...

Во всех попытках решить проблему дальней истории мира принимает свое участие черная дыра — «лабораторная модель» Вселенной.

И все-таки, как мы видели, иногда ставится под сомнение сама реальность черной дыры. Да, ставится. Может она исчезнуть из астрофизики? Да, конечно. История науки знает не так мало поистине замечательных идей, сослуживших человечеству и познанию хорошую службу и все-таки ушедших с арены науки, поскольку за ними не оказалось объективной реальности. Чтобы далеко не ходить, возьмем теплород — некое вещество,



наделавшееся когда-то теплотворной способностью. Но затем этот таинственный флюид оказался выброшенным за пенадобностью, но до этого ученые успели, пользуясь представлением о нем, вывести основные формулы термодинамики, формулы, не отвергнутые и сегодня. Можно долго перечислять случаи, когда на основе явно неверных, как позже выяснилось, данных бывали сделаны верные выводы.

Есть старый анекдот про человека, остановившего поднятой рукой машину, но не решающегося открыть дверцу, поскольку это не такси. Он спрашивает у шофера: «А где шашечки?» И слышит в ответ: «Вам шашечки или схать?»

Пока черные дыры «работают» в науке, они нужны. Все расчеты, предсказания, идеи, касающиеся черных дыр, имеют смысл только в том случае, если дыры эти представляют собой не только чрезвычайно интересную математическую модель, но и реальные участки реального пространства космоса. А это в конечном счете могут узнать не теоретики, а астрономы-наблюдатели.

*Наука всегда оказывается права. Она никогда не решает вопроса, не поставив при этом десятка новых.*

*Бернард Шоу*

Первоначально казалось очевидным, что положение черной дыры в пространстве может выдать только ее тяготение. В нашем небе астрономы видят множество двойных звезд. На самом деле таких звезд может быть еще больше, только из пары звезд одна, положим, продолжает жить и светиться, а другая умерла и стала черной дырой. Но «труп» звезды в детективе научном тоже нельзя «спрятать»: его масса осталась прежней, его тяготение должно сказываться на движении живой звезды, это движение и выдаст черную дыру пристрастным наблюдателям.

Английский ученый Р. Пенроуз, однако, обратил внимание на то, что предполагаемые космические объекты находят, как правило, не по тем признакам, на которые поначалу полагаются наблюдатели.

«Вполне возможно,— говорит он,— что черные дыры также будут обнаружены через некоторый побочный эффект, о котором мы сейчас даже не подозреваем. Сегодня в астрономии имеются в изобилии различные не-

понятные явления, которые могут иметь отношение к черным дырам. Известен феноменальный энергетический выход квазаров и радиогалактик, взрывы в центрах обычных галактик, аномальные красные смещения в спектрах некоторых квазаров и галактик, расхождения в определении массы галактик». Впрочем, последнее предложение приведенной цитаты иллюстрирует скорее важность и сложность проблемы черных дыр, чем способы их найти.

Но поиски идут и весьма активно.

Советские физики Я. Б. Зельдович и О. Х. Гусейнов обратились к каталогам так называемых спектрально двойных звезд. Двойные звезды чрезвычайно распространены в космосе. Но довольно часто из двух звезд увидеть в телескоп можно только одну, иногда потому, что вторая звезда совсем не излучает света или излучает его очень мало, иногда потому, что более яркая звезда «забивает» своего спутника, хотя он и светится вполне «нормально». Но на спектре света этой первичной звезды сказывается ее обращение вокруг спутника: когда звезда движется по своей орбите в направлении к Земле, линии спектра смещаются к голубому краю, когда от Земли — к красному. Тут действует знаменитый эффект Доплера. Он проявляется тем сильнее, чем массивнее звезда-спутник. Зельдович и Гусейнов среди нескольких сот спектрально двойных звезд выделили пять, в которых спутник по меньшей мере втрое превосходит по массе Солнце. Черная дыра может, конечно, обладать и меньшей массой, но в таком случае сразу исключается, что выделенные спутники — белые карлики или нейтронные звезды.

Американские физики К. Торн и В. Тримбл продолжили эту работу, в их списке оказалось уже восемь кандидатов на звание черной дыры. Увы, все время можно было найти для наблюдаемого эффекта какое-то другое объяснение, кроме черной дыры. К. Торн назвал ученых, подыскивающих такие альтернативные решения, в том числе своего соавтора В. Тримбл, адвокатами дьявола. Надо сказать, что из-за нашего нехорошего отношения к дьяволу, даже несуществующему, слова «адвокат дьявола» сейчас воспринимаются как не слишком лестная характеристика. Между тем происхождение этого термина весьма почтенное и связано с одним из установлений католической церкви. Когда какого-то из ее «героев» решали посмертно объявить святым, по этому поводу

устраивался... судебный процесс. На нем шло серьезнейшее разбирательство обстоятельств жизни и деятельности кандидата в святые. При этом одному из самых почтенных богословов поручалось находить все возможные детали, говорящие против «святости» претендента. Этот-то богослов и получал официальное наименование «адвоката дьявола». В нашем случае в роли претендента в «святые», то есть на конкретное место в космосе, выступает черная дыра. Окончательный ответ на вопрос о ее «святости» должны дать наблюдения.

Большие надежды научный мир возлагал на первый рентгеновский телескоп, который был установлен на борту американского спутника «Ухуру», запущенного в 1970 году. Ведь межзвездный газ или газ, стянутый черной дырой со звезды-спутника, должен излучать в рентгеновском диапазоне. А спутник тут был нужен постольку, поскольку земная атмосфера надежно защищает нас от вредных рентгеновских лучей. Что защищает нас — хорошо, что наши приборы — плохо.

К весне 1972 года рентгеновский телескоп довольно многое сообщил нам о ста двадцати пяти рентгеновских источниках. В их числе не оказалось ни одного кандидата в «святые». Зато в этом списке шесть рентгеновских источников принадлежат двойным системам звезд, причем таким, которые раньше не считались двойными. К сожалению, два из шести источников выпадали из числа претендентов по некоторым особенностям излучения. Зато четыре до сих пор остаются под сильным подозрением, причем один — Лебедь X-I — считается почти «изобличенным». Масса его, как показали исследования, не меньше восьми масс Солнца. А ведь именно масса — критерий выбора между тремя объектами с такими мощными полями тяготения, в которых падающий газ порождает сильное рентгеновское излучение. Белый карлик не может превосходить Солнце более чем в один и четыре десятых раза. Нейтронная звезда — более чем в три раза. И только черная дыра не имеет ограничений по массе «сверху».

А не так давно журнал «Знание — сила» опубликовал небольшую статью В. Шикана «Увидеть «черную дыру»? В заглавии стоит знак вопроса. Однако аппаратура для того, чтобы именно увидеть саму черную дыру, создается. Кандидат физико-математических наук В. Шварцман, работающий в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР, расположенной на Северном Кавказе, у

станции Зеленчукской, разрабатывает установку, которая должна увидеть то, что как будто уже по определению увидеть нельзя.

Сигналы, естественно, должны быть получены не от самой черной дыры, а от вещества, на нее падающего. Межзвездный газ при таком падении разгоняется постепенно почти до скорости света и разогревается до триллиона градусов. При этом образуются мощнейшие магнитные поля. Движущиеся в них с околосветовыми скоростями электроны излучают энергию в основном в виде света. Часть фотонов успеет уйти — не из самой гравитационной ловушки, конечно, а из ее ближайших окрестностей.

Плотность межзвездного газа — один атом на кубический сантиметр пространства. Вблизи черной звезды она должна увеличиваться, но все равно только очень слабый ореол окружает самое загадочное тело космоса. Считают, что его можно будет увидеть как слабый источник света. А отличить черную дыру от обычной звезды можно постольку, поскольку ее «светимость должна меняться с огромной быстротой — сотни тысяч раз в секунду и к тому же в чисто случайном порядке». Ведь реальный источник света — падающий межзвездный газ, частицы которого достигли околосветовых скоростей. В нем происходит чрезвычайно бурные и неустойчивые процессы. Светимость обычных звезд колеблется гораздо медленнее.

Решение задачи сводится к тому, чтобы не только заметить, но и исследовать источник света с очень быстрыми резкими колебаниями. «Внешне,— пишет В. Шикан,— все выглядит довольно обычно. К небольшому телескопу — рефлектору с зеркалом диаметром 60 сантиметров прикреплен фотометр, регистрирующий изменения яркости звездного объекта. Пробразовав кванты излучения в электронные импульсы, он передает эту информацию по кабелю в устройство, которое измеряет промежутки времени между отдельными квантами и выражает результат словами из двоичных букв. Далее запись вводится в электроно-вычислительную машину... Если его (объекта наблюдения) яркость менялась сравнительно медленно, значит, в объективе находилась обычная звезда. Если же частота колебаний измерялась нано- или микросекундами, это может означать, что мы увидели не что иное, как... «черную дыру».

Может означать... Что ж, будем ждать результатов. Стоит сказать еще, что в Москве астрономы Р. Сюняев и Н. Шакура предлагают отличать черную дыру от других небесных тел по небольшим всплескам интенсивности рентгеновского излучения в газе, падающем на черную дыру от ее звезды-спутника. Такие всплески, как показывают расчеты, должны состоять каждая из чрезвычайно коротких импульсов с интервалами между ними порядка миллисекунд.

Надо добавить, что, по мнению ученых, сторонников существования черных дыр, наша Вселенная должна буквально кишеть такими объектами. Скажем, американский профессор Пиблс полагает, что значительная часть вещества в Галактике давным-давно перешла в звезды, способные сжаться и стать черными дырами. Только наша Галактика может содержать около миллиарда черных дыр — цифра, которую даже в масштабах Вселенной не сочтешь незначительной.

...А может быть, черные дыры сумеют показать нам только гравитационная астрономия, когда она наконец возникнет? При образовании черной дыры может испускаться мощный поток гравитационных волн, то же происходит при падении на черную дыру сгустка вещества, при встрече двух черных дыр (когда они сливаются в новую черную дыру).

Так или иначе, не в первый раз человек собирается узнать то, что в принципе, как казалось поначалу, нельзя узнать.

Если черные дыры есть — они будут обнаружены. Если нет... Что же, неожиданный результат наблюдений или опыта имеет для физики неизмеримо большее значение, чем тот, которого ждут.

## ЕДИНСТВО ФИЗИКИ, ЕДИНСТВО МАТЕРИИ

Эйнштейн в свое время был очень разочарован, когда его десятилетние труды по разработке того, что он называл общим принципом относительности, дали «всего-навсего» теорию гравитации. Он ждал от своей работы много большего.

Это здорово, когда человек так требователен к себе, что собственное достижение столь грандиозного масштаба

кажется ему не таким уж крупным. С другой стороны, именно это разочарование, именно желание понять мир в еще более высокой степени заставило ученого погрузиться с головой в разработку единой теории поля. Сегодня такой теории нет, во всяком случае признанной.

Но зато сама общая теория относительности, оставаясь учением о гравитации, стала чем-то гораздо более широким. И не потому даже, что ее развитие Эйнштейном и после Эйнштейна привело к интереснейшим результатам, имеющим значение для других областей физики. А потому еще, что эти другие области отнюдь не стояли на месте. Они развивались параллельно теории относительности, а уж «научное-то пространство» никогда, даже во времена самого Евклида, не было «евклидовым». В науке параллельные линии развития имеют свойство пересекаться, даже когда речь идет о разных науках, а тут ведь перед нами разные линии движения вперед внутри одной физики.

Было бы, наверное, любопытно, хоть шутки ради, и вправду подойти к физике с этой точки зрения — как к искривленному пространству, вычислить «радиус кривизны», благодаря которой различные направления встречаются, обогащая друг друга, как встречались два «плоскостных» физика, двигавшихся по глобусу из разных точек экватора по разным меридианам. И тут тоже уместно назвать сблизившую их силу тяготением. Причина такого тяготения в данном случае понятна. В ее основе лежит единство мира. Одну и ту же материю, одно и то же пространство исследуют, если отвлечься от масштабов, все физики, чем бы конкретно они ни занимались. Математика, как отметил еще Галилей, это язык природы. И если вся она говорит на одном и том же языке (в отличие от человечества, между прочим), то ведь так ее куда легче понять.

Законы электромагнетизма открывали, беря за образец закон всемирного тяготения Ньютона. Кулон перенес закон «обратных квадратов» на взаимодействие электрических зарядов и оказался прав. Постепенно возникла стройная теория электромагнитного взаимодействия, вершиной и завершением которой стали знаменитые уравнения Максвелла. Эта теория появилась намного раньше новой теории гравитации, немалую роль тут сыграла огромная — сравнительно с гравитационным взаимодействием — величина электромагнитных сил.

Кроме того, электромагнитные силы не имеют того универсального характера, что силы гравитации. Теории тяготения предстояло быть несравненно более широкой.

И чем дальше углубляются физики разных областей в изучение своих объектов, тем очевиднее становится, что у них много общего и кроме языка.

Не раз и не два уже случалось, что достижения ученых-теоретиков, занимающихся плазмой, светом, радиоволнами и даже жидкостями, оказывались использованными в развитии представлений о том, что происходит в поле тяготения. И наоборот, гравитационный теоретический аппарат, созданный Эйнштейном, его товарищами по работе и продолжателями, оказался весьма полезен в других районах и точках физики. «Гравитационщики», имеющие дело с самой слабой и одновременно самой могучей силой Вселенной, создали не только изощренные методы расчетов и мысленных экспериментов для космологии и астрономии, но и самую, пожалуй, точную сегодня технику земного эксперимента.

Однако все конкретные примеры выглядят до некоторой степени частными на фоне общей встречи двух самых мощных достижений физики XX века — теории гравитации и квантовой механики.

Физики-экспериментаторы и теоретики ждут чрезвычайно многого от мало-помалу создающейся, хотя далеко еще не сформировавшейся квантовой теории гравитации. Уже в самом ее названии отражен синтез обеих ведущих областей физики.

Теория гравитации имеет дело с огромными массами и расстояниями, измеряемыми световыми годами; квантовая механика заведомо занимается эффектами, возникающими на самом нижнем этаже материи — в микромире. У них, однако, нашлись и точки пересечения, которые в принципе можно было предвидеть еще двадцать лет назад, и, что еще важнее, общие сферы деятельности.

Мы много говорили об эволюции звезд. При этом не могли не обратить внимания на следующий факт: чем больше масса звезды, чем сильнее ее тяготение, тем очевиднее ее неустойчивость как системы. Но эта неустойчивость, подчеркивает видный советский физик доктор физико-математических наук Я. А. Смородинский, предсказывается на основе теории элементарных частиц, формул квантовой механики.

Открытие пульсаров с такой точки зрения было подтверждением того, что формулы квантовой механики применимы и к звездам. О свойствах гигантских тел мы узнаем на основе изучения тел сверхмалых.

В физике элементарных частиц выделяют две фундаментальные постоянные — скорость света и постоянную Планка. Постоянную Планка иначе называют квантом действия. Она характеризует наименьшие возможные порции, на которые может уменьшаться или увеличиваться любая энергия и равна примерно  $6,626 \cdot 10^{-27}$  эрга на секунду. Скорость света отличается от всех прочих скоростей тем, что она — одна-единственная — одинакова для всех наблюдателей во всех возможных системах отсчета. Квант действия тоже один для любых физических систем. Как полагают ученые, если бы удалось найти для физики элементарных частиц еще одну — третью — столь же фундаментальную постоянную, то из этих трех величин можно было построить все остальные величины этого раздела физики. Так, через три точки можно провести одну и только одну окружность. Две точки, как и две фундаментальные постоянные, оставляют слишком большую свободу выбора.

В общей теории относительности положение сходное: тоже есть две универсальные постоянные — одна из них та же скорость света, другая — гравитационная константа. Опять-таки одной «точки опоры» не хватает. Обеим теориям недостает того, что можно назвать масштабной единицей: для массы, либо для расстояния, либо для времени. Найдись «естественный» масштаб для любой из этих трех величин, он мог бы быть использован, после преобразований, и для двух других.

Не раз физики пытались вводить масштабные единицы в свою теорию. Еще в 1938 году знаменитый немецкий физик Вернер Гейзенберг, один из отцов квантовой механики, предложил считать квантом пространства, наименьшей возможной длиной, размер электрона десять в минус тринадцатой степени сантиметра! Предложение выглядело естественным. Мы ведь не знаем, например, заряда, меньшего, чем заряд электрона, да и частицы не должны обладать способностью умещаться на отрезке, меньшем, чем электрон. Но затем выяснилось, что в микромире возможны и меньшие длины. (Сейчас на ускорителях удается исследовать строение нуклонов — частиц атомного ядра — до длин примерно в десять в минус



пятнадцатой степени сантиметра. И это далеко не предел.) Между тем естественных, данных нам природой тел, чьи размеры могли бы стать эталонными, не удастся встретить и при таком углублении в элементарную частицу.

Аналогично этому пытались найти среди космических тел такое, массу которого можно было бы принять за эталон, — тоже не получилось.

Итак, ни общая теория относительности, ни квантовая механика по отдельности не смогли найти эталона длины, массы или времени. А вместе они, похоже, такой универсальный размер дают.

Его называли длиной Планка, равна она десяти в минус тридцать третьей степени сантиметра; меньшие, чем длина Планка, отрезки, как полагают многие ученые, невозможны.

Перед нами — квант пространства. Казалось бы, величина из микромира, где гравитация слишком мала, чтобы себя проявлять. Тем не менее в формулу, по которой вычислили этот квант пространства, входят и гравитационная постоянная, и постоянная Планка, и скорость света.

Тут, видимо, пришло время напомнить, что на поразительное единство и взаимосвязанность законов природы, действующих в разных ее областях, обращали внимание многие мыслители. Максвелла поражало сходство уравнений, описывающих электромагнитные колебания и колебания обыкновенного маятника.

Владимир Ильич Ленин видел проявление единства природы в том, что дифференциальные уравнения, относящиеся к различным областям явлений, поразительно аналогичны.

То обстоятельство, что крайности сходятся, что звезды исследуют порой, образно говоря, в камере Вильсона, а на электроны наводят телескоп, что, исследуя атомное ядро, мы можем кое-что узнать не только о частицах, которые там есть, но и о тех, которых там нет, — все это имеет, безусловно, глубокий философский смысл. Картина мира — мозаика, в которую каждый раздел науки дал свои кусочки смальты. Но свойства любого кусочка зависят от свойств остальных и в чем-то, в свою очередь, определяют их свойства.

## ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ

Она появилась на свет из-под пера Исаака Ньютона, как Афина-Паллада в древнем мифе из головы Зевса. Мало было великому Ньютону понять, что тяготение прямо пропорционально массе тел и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Надо было еще ввести коэффициент пропорциональности. Этот коэффициент и стал в дальнейшем именоваться гравитационной постоянной, заняв почетнейшее — первое уже по старшинству — место среди физических постоянных, или констант.

Менялись только латинские буквы, обозначающие этот коэффициент. Одно время его представляла в формулах строчная  $f$ , теперь чаще всего эту роль берет на себя заглавное  $G$ . Над самой гравитационной постоянной не властна среда, разделяющая массы, она не зависит от химических и любых иных свойств этих масс. Холодные планеты и самые горячие из звезд не в силах изменить коэффициент в формуле Исаака Ньютона. Он остается тем же в уравнениях и для двух протонов и для двойной звезды. Это воистину постоянная. Большинство, пожалуй, даже огромное большинство ученых полагают, что над гравитационной константой не властно даже время.

Поль Дирак, автор множества смелых идей, человек, предсказавший, в частности, существование позитрона — «положительного электропа», поставил под сомнение неизменность гравитационной постоянной во времени. Если он прав, то получается, что хотя в истории Вселенной тяготение всегда определялось, как и сегодня, массой тяготеющих тел и расстоянием между ними, сила тяготения изменялась. Точнее, уменьшалась.

Размеры такого уменьшения были предположительно определены: на три стомиллиардные доли за триста шестьдесят пять дней.

Неисчислимы проистекающие из такого взгляда последствия для наших представлений об эволюции всего нашего мира и, в частности, маленькой планеты Земля.

Физик Иордан сделал из гипотезы Дирака о постоянном ослаблении гравитационной постоянной определенный вывод, что в результате этого процесса Земля должна расширяться, как шарик, который надувают воздухом.

Между тем некоторые геологи совершенно независимо от физиков пришли к тому же выводу о расширении Земли на протяжении всей ее истории. (А другие, напротив, категорически отстаивают неизменность размеров планеты или даже говорят об ее сжатии; есть и предположение, что Земля то расширяется, то сжимается — пульсирует.)

Уменьшение гравитационной постоянной «по Дираку» за год примерно на три стомиллиардные доли ее теперешней величины должно иметь в числе своих следствий удаление Луны от Земли каждый год примерно на два сантиметра с соответствующими изменениями ее орбиты. Обработка данных лунных затмений за девятнадцать лет как будто подтвердила сам факт удаления Луны, но связан ли он именно с уменьшением гравитационной постоянной? С нашей соседкой и спутницей у ученых вообще относительно много хлопот, и такой эффект может объясняться, конечно, и иначе.

По расчетам одного американского физика получается, что если бы гравитационная постоянная по мере углубления в прошлое росла, то всего один миллиард лет назад температура на поверхности нашей планеты должна была превышать сто градусов по Цельсию. Чем больше притяжение, тем больше должно было быть давление в центре Солнца. Выше давление — выше температура ядерных реакций — ярче Солнце — жарче на Земле. Ясно, что при такой температуре жизнь невозможна. Между тем у нас есть веские доказательства того, что миллиард лет назад жизнь на Земле процветала.

Но не будем торопиться. Тем более, что в своем широком космическом, даже космологическом варианте, в виде самой гипотезы Дирака, это предположение все-таки не теряет своей популярности.

*...Величайшая катастрофа для физики — если бы мы могли разрешить все главные нерешенные проблемы, но я не опасаясь, что это может произойти в сколько-нибудь обозримом будущем.*

*Фримен Дайсон*

Ученые снова обращают внимание на сходство между характеризующими Метагалактику величинами. Время при космологических расчетах можно исчислить в так называемых атомных единицах. За атомную единицу

принимается время, за которое свет проходит расстояние, равное «классическому радиусу электрона».

Атомная единица времени равна примерно десяти минус двадцать третьей степени секунды — одной стоксестиллионной доле секунды. Наша Метагалактика существует на протяжении примерно десяти в сороковой степени таких единиц.

Итак, перед нами десятка в сороковой степени. Отношение электромагнитных сил в атоме к гравитационным, если усреднить данные по электронам и нуклонам (об этом говорилось во введении к книге), составляет примерно десять в сороковой степени. По мнению ряда специалистов, эти величины слишком близки друг к другу, чтобы сходство могло оказаться случайным. Ослабление притяжения — прямое следствие возраста нашего мира. Старость — не радость...

Но ведь изменение гравитационной постоянной должно было сказываться не только на размерах Земли, но и на ее орбите вокруг Солнца, как и на орбитах всех других планет.

А что должно было происходить, скажем, с двойными звездами в прошлом, когда взаимное притяжение в этих системах было намного больше, чем сегодня?

Сама эволюция звезд, как достоверно известно, зависит от их массы; причем можно сказать, что не столько от массы, сколько от произведения массы на гравитационную константу. Представление о вековом уменьшении гравитационной постоянной должно бы заставить астрономов-теоретиков пересмотреть такое количество устоявшихся теорий, что это вызвало бы, пожалуй, настоящий кризис их науки. Даже нынешние взгляды на историю и ход синтеза элементов во Вселенной подлежали бы пересмотру. Как и то, что мы считаем известным относительно множества деталей, касающихся, например, эволюции планетных атмосфер.

Вот простой пример. Сейчас, пожалуй, даже школьники младших классов знают, что такое вторая космическая скорость — наименьшая скорость, которую надо придать телу, находящемуся у поверхности космического тела, чтобы оно без воздействия каких-либо дополнительных сил покинуло это космическое тело навсегда. Для Земли вторая космическая скорость — одиннадцать и две десятых километра в секунду, для Луны — всего два и четыре десятых километра в секунду, для Юпите-

ра — шестьдесят один, для белых карликов — четыре тысячи километров в секунду. И это еще не предел. На поверхности нейтронных звезд она равна уже половине скорости света! Вот как трудно вырваться из их объятий. Что уж говорить о черных дырах, где и скорости света для этого мало.

Однако на планетах некоторые молекулы и атомы газов, составляющих атмосферу, в своем беспорядочном тепловом движении достигают второй космической скорости — в применении к ним ее называют еще скоростью ускользания.

В нижних, относительно плотных слоях атмосфер такие молекулы-рекордсменки сталкиваются с другими молекулами, и эти столкновения то и дело меняют и скорость и направление их движения. «Завистливые соседи» не дают своим разогнавшимся товаркам вырваться из пут притяжения. Но в верхних разреженных слоях атмосферы дело обстоит иначе. Скоростные молекулы некому остановить, и они навсегда ускользают в космическое пространство, пополняя мировые запасы межзвездного газа.

При этом поскольку, во-первых, в верхних частях атмосфер относительно велика доля легких газов и поскольку, во-вторых, легкие молекулы чаще достигают второй космической скорости, то в первую очередь из атмосфер исчезают легкие газы — водород и гелий.

В земной атмосфере есть и водород, и гелий, но только потому, что их запасы постоянно пополняются (водородом из молекул воды, распавшихся под воздействием ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца). Ведь время полного исчезновения из нашей атмосферы всего входящего в данный момент в ее состав водорода составляет всего несколько лет.

Другое дело — гигант Юпитер, его водороду куда труднее разогнаться до юпитерианской скорости ускользания, она ведь в пять с лишним раз больше земной. На Юпитере много и водорода и гелия.

А вот Луна, где сила тяжести в шесть раз, а скорость ускользания почти в пять раз меньше земной, давно потеряла свою атмосферу целиком. Меркурий и Марс имеют силу притяжения примерно втрое меньшую, чем Земля, и их атмосфера чрезвычайно разрежена.

На основе этих фактов можно представить себе, насколько иначе должна выглядеть история планет, если

в прошлом гравитационная постоянная была много больше.

В формулу, по которой определяется скорость ускользания, входит корень квадратный из удвоенного произведения гравитационной постоянной на массу планеты, деленный на радиус планеты. Значит, скорость ускользания тем больше, чем больше эта постоянная и чем меньше радиус. Однако радиус-то планеты, в свою очередь, тем меньше, чем больше постоянная  $G$ . Значит, в прошлом атмосферным молекулам (по Дираку!) было гораздо труднее покидать относительно малые планеты. Выходит, Дирак своей гипотезой льет воду на мельницу предположений о существовании, по крайней мере в далеком прошлом, цивилизаций на Марсе и даже Луне.

Однако факты, которыми располагают астрофизики (именно факты, оставим сейчас в стороне выводимые из этих фактов теории), не требуют такой коренной ломки. Астрофизики в своем большинстве не чувствуют потребности в столь крутой ломке созданной ими картины мира. То же относится к большинству геологов.

Но есть ученые, верные идее Дирака. И тут нам остается только вспомнить грустные слова английского астрофизика Ф. Хойла: «Тому, кто не работает активно в какой-либо области науки, трудно себе представить, как много можно сказать в пользу любой из множества противоречащих друг другу теорий».

Так или иначе, сейчас земная экспериментальная техника вышла к рубежу, на котором гипотеза Дирака может быть проверена и, значит, должна быть проверена.

Это — одна из задач, которые будут разрешаться с помощью аппаратуры на спутниках, свободных от сноса, и «солнечном зонде».

## НА СТАРОЙ ЗЕМЛЕ И РЯДОМ

Эта глава объединяет четыре небольшие темы, посвященные роли гравитации для нашей планеты, для живых существ на ней вообще и человека в частности. Она отнюдь не претендует на исчерпание этих тем. Речь идет только о том, чтобы на примерах показать важность тяготения, его вездесущность не только в качестве, так сказать, свидетеля и фона для всего, что происходит на нашей планете, но и одного из важнейших

героев весьма многих событий. Автор устоял перед соблазном дать длинный ряд рассуждений типа «гравитация и история», «гравитация и география», «гравитация и...» — в качестве второго слова в таком сочетании можно использовать названия большинства наук и научных дисциплин. Возьмем, скажем, баллистику, столь важную для военного дела. Траектория снаряда определяется не только скоростью его вылета из ствола орудия, но и земным тяготением. А архитектура? А кораблестроение и авиастроение?

Можно сочинить специальную книгу о тяготении как враге человечества, больше того, рассмотреть историю человечества под углом его борьбы с гравитацией. Одна ее глава может называться «Сопромат», потому что именно сила тяжести в первую очередь испытывает на прочность почти все материалы, которыми пользуется человечество.

Можно написать книгу о тяготении как нашем друге и помощнике. Ведь если оно забирает, по некоторым подсчетам, четверть вырабатываемой нашей цивилизацией энергии, то вся эта энергия, кроме разве что атомной, обязана своим появлением, как тоже говорилось, в конечном счете гравитации.

И так далее, и тому подобное.

## **Фигура леди Земли**

Давным-давно, издеваясь над педантами, от их лица изрекли: не Шекспир важен, а комментарии к нему. Между тем комментарии к Шекспиру тоже важны. Такая, казалось бы, вневременная и при чтении в XX веке безобидная и даже легкомысленная комедия «Сон в летнюю ночь» до отказа набита намеками, в том числе весьма злыми, на конкретных современников автора, как его друзей и знакомых, так и просто знаменитостей. Зрители шекспировского театра «Глобус», наверное, встречали дружным хохотом напоминания о недавних скандалах и аплодисментами — реплики, по сути, обращенные не к тем, кто играл на сцене, а к тем, кто сидел в зале или присутствовал в это время на приеме в королевском дворце.

И Свифтовы «Путешествия Гулливера» тоже можно читать без комментариев. Но стоит ли? Возьмем, к при-

меру, борьбу тупоконечников и остроконечников в Лилипутии, развернувшуюся вокруг проблемы, с какого конца надо разбивать яйцо. При некотором умственном напряжении и без примечаний можно догадаться, что великий сатирик обращает свое жало против религиозных войн. Но Свифт отличался умением поражать сразу несколько целей. И современники, безусловно, видели в партиях тупоконечников и остроконечников еще и намек на шедшую в то время борьбу двух научных партий, каждая из которых по-своему определяла фигуру нашей планеты.

Какова форма Земли? Это сегодня мы знаем, что она сплющена у полюсов (а значит, победили тупоконечники, возглавляемые самим Исааком Ньютоном). Но вот итальянский астроном и математик Джованни-Доменико Кассини, ставший во Франции Жаком Домеником и директором Парижской обсерватории (а также основателем династии французских астрономов), считал, что Земля сплющена у экватора и удлинена по направлению к полюсам. Так полагал и его сын Жак Кассини.

Проблема фигуры Земли стала полем научного сражения между двумя мощными научными школами, для каждой из них это был лишь сугубо частный вопрос, деталь в картине мира, рисуемой обеими школами по-своему. По «теории вихрей» великого французского философа Декарта Земле надлежало быть вытянутой. Спор был чисто научным, но длился так долго, что приобретал для обеих сторон политический и даже — увы! — национальный оттенок. Франция, постепенно уступавшая Англии место ведущей державы Западной Европы, жаждала реванша хотя бы на поле научной битвы.

Чтобы решить вопрос, надо было «просто» измерить Землю. Или, говоря точнее, измерить хотя бы кусочки дуг меридиана на разных широтах и посмотреть, как соотносятся расстояния, приходящиеся на один градус. Собственно говоря, измерять эти расстояния во Франции начали еще до того, как мир узнал о ньютоновском законе всемирного тяготения. В 1679—1680 годах эту работу начал астроном Пикар, к 1715 году ее закончил Жак Кассини. Измерения дали результат, говоривший в пользу «остроконечников», — не потому ли, что измерения были организованы последователями Кассини? Нет, здесь даже мысли не может быть о памеренной фальсификации вычислений, но история науки знает немало



случаев, когда ученые получали именно те результаты, которые им хотелось получить.

Первый из династии Кассини (его потомки вплоть до правнука наследовали пост директора Парижской обсерватории в течение ста двадцати четырех лет, пока этот пост не был ликвидирован) вошел в историю науки как составитель подробной карты Луны, открыватель четырех спутников Сатурна и многого другого. Немало сделал и его сын. Оба были настоящими учеными. А за «тупоконечниками» стоял не только Исаак Ньютон, который учел действие на форму Земли центробежной силы, растягивающей планету у экватора и сплющивающей у полюсов, но и его великий оппонент по некоторым другим вопросам Гюйгенс. При этом Ньютон принял для удобства расчета, что Земля однородна и состоит из жидкости, свободно перетекающей внутри ее фигуры под действием сил тяготения и центробежной. Если правы были «остроконечники», то градусы меридиана тем длиннее, чем они ближе к экватору и дальше от полюса. Так и получилось у Кассини, но длину обоих градусов измеряли под Парижем, где разница между ними, кто бы ни был прав, не могла быть достаточно велика для точных измерений. Споры приняли такой размах (только в 1733 году и только во Франции вышли из печати шесть работ по проблеме фигуры Земли), что Парижская академия при поддержке морского министра отправила в 1735 году экспедицию в Перу, на экватор, а несколько позже — другую, в Лапландию, поближе к полюсу.

Восемь лет в Кордильерах французские ученые измеряли дугу длиной в три градуса восемь минут. В Лапландии условия были немногим легче. Экспедиция получила в свое распоряжение военные отряды, которые прорубали просеки в лесах, обеспечивая возможность измерений. Сами измерения совершали с помощью соосновых жердей с выверенной длиной в десять метров. К большому удивлению членов северной экспедиции, длина градуса оказалась на целых два километра больше, чем полагалось «по Кассини». Запоздавшее сообщение из Перу стало только подтверждением результатов, полученных при сравнении данных из Лапландии со старыми измерениями дуги градуса под Амьеном. Чем ближе к полюсу, тем длиннее становился градус.

Руководитель лапландской экспедиции Мопертюи писал: «Вернувшись, мы столкнулись со значительными

раздорами: Париж, жители которого не могут остаться безразличными ни к какому вопросу, разделился на два лагеря: одни приняли нашу сторону; другие же считали, что для чести нации невозможно, чтобы у Земли осталась иностранная фигура, которую придумали одни англичанин и один голландец».

Вольтер в письмах именовал Мопертюи «тем, кто сплющил Землю и всех Кассини».

Какое отношение имеет борьба «тупо»- и «остроконечников» к теме книги?

Да дело в том, что, по определению Н. П. и А. Н. Грушинских, авторов книги «В мире сил тяготения», теория фигур планет (и Земли в том числе) опирается на те же постулаты, имеет те же принципы и законы, что небесная механика, изучающая движение тел в поле всемирного тяготения. Общим им равно положили начало работы Галилео Галилея и открытие Ньютоном закона всемирного тяготения.

Но две науки, родившиеся из одного корня, развивались дальше каждая своими путями, которые, впрочем, часто пересекались, порою сливаясь; науки-сестры обогащали друг друга. И если небесная механика обрела практический смысл относительно недавно, когда в ее проблематику полноправно вошло движение искусственных спутников Земли, то физическая геодезия, она же геодезическая гравиметрия, стала работать на практику еще во второй половине XIX века...

Впрочем, надо сразу сделать оговорку, что слово «практика» здесь в обоих случаях понимается исключительно в узком смысле. Давно сказано, что нет ничего практичнее хорошей теории. И потому небесная механика оплодотворяла своим воздействием многие науки еще триста лет назад.

И если спор «тупоконечников» и «остроконечников» был решен чисто геометрически, то, как пишут Н. П. и А. Н. Грушинские, сама постановка его возникла из гравиметрических понятий — из теории тяготения Ньютона и понятия силы тяжести как равнодействующей двух сил — притяжения и центробежной.

Недаром именно один из «измерителей дуг» — Алексис-Клод Клеро, ставший в восемнадцать лет академиком, вывел теорему зависимости силы тяжести в определенной точке от положения этой точки на земном эллипсоиде. Иными словами, теорема Клеро довольно точ-

но позволяет определить зависимость силы тяжести от широты. И если тут приходится говорить не «точно», а только «довольно точно», так в этом виноват не Клеро, а сама планета Земля. Она ведь состоит не из однородной жидкости, как условно принял Ньютон, и не из слоев, каждый из которых хотя бы внутри однороден, как предположил Клеро.

Долгая и богатая идеями и открытиями история того, как уточняли фигуру Земли, останется за пределами книги. Хотя в этой истории огромную роль сыграли все новые и новые измерения силы тяготения. Из шара Земля стала эллипсоидом и потом получила имя единственной в своем роде геометрической фигуры — геоида. Геоид — значит «подобный Земле». С какой же точностью надо было провести исследования, чтобы полученные результаты нельзя было даже подогнать к чему-то, кроме нашей планеты... И все это — первоначально — делалось без какой-либо надежды на чисто практическую отдачу. Должно было пройти почти двести лет с начала спора между «тупоконечниками» и «остроконечниками», чтобы появились гравиметрические методы геологической разведки. Естественно, там, где под поверхностью Земли скрыты запасы тяжелых металлов, сила тяжести больше, чем обычно; там, где есть пустоты, заполненные нефтью или газом, она меньше, чем по соседству.

Сейчас для измерения фигуры Земли и силы тяжести в ее точках используют уже не сосновые жерди десятиметровой длины, а приборы, установленные на спутниках. Сжатие Земли, например, удалось после запуска спутников определить в сотню раз точнее, чем прежними способами. Каждый спутник сам по себе — это прибор для измерения поля земного притяжения, ведь его траекторию прежде всего определяет именно это поле. Но по-прежнему в чести и совсем простые на вид приборы для определения силы тяжести, приборы самого земного характера, о которых речь пойдет в следующей главе.

Не только общие очертания фигуры Земли определяются силой тяготения и центробежной силой. Советский ученый Б. Л. Личков рассматривает такое грандиозное явление, как горообразование, в качестве части процесса пересформирования фигуры Земли при изменениях скорости ее вращения. С увеличением или уменьшением скорости вращения планеты изменяется ведь и степень ее сжатия.

Главное проявление гравитации в современной «внешней» жизни нашей планеты в том, что она удерживается Солнцем на своей орбите. Следующее, пусть не по значению, а по очевидности,— то, что мы тащим с собой вокруг Солнца собственную спутницу — Луну.

Но и Луна в свою очередь влияет на процессы, происходящие на Земле, чему доказательство — приливы и отливы. Мировой рекорд по максимальной высоте прилива более тринадцати с половиной метров делят два залива у побережья Канады. В Англии в заливе Северн высота прилива достигает тринадцати метров десяти сантиметров, во Франции в бухте Мон-Сен-Мишель — двенадцати метров шестидесяти сантиметров. Однако приливы и отливы бывают не только в океанах и морях; Луна и Солнце вызывают приливы и в земной коре. В районе экватора максимальные колебания земной поверхности по этой причине достигают примерно полуметра, а на широте Москвы до сорока сантиметров. К счастью, приливные волны в земной коре — очень длинные и очень медленные; в отличие от океанских приливов, их можно обнаружить только с помощью специальных приборов.

Однако сейчас ряд специалистов пытается связать с гравитационным воздействием Солнца и Луны... землетрясения или по крайней мере значительную их часть.

Еще в прошлом веке было замечено и подтверждено проверкой и новыми наблюдениями, что землетрясения чаще всего происходят в моменты новолуний и полнолуний, причем тогда, когда сама Луна находится вблизи перигея, то есть той точки своей орбиты, которая наиболее близка к Земле. Считать это случайностью трудно.

Сейчас многие сейсмологи отводят приливным волнам в земной коре двойную роль, обе стороны которой в равной степени неприятны для нас, землян. Во-первых, приливные волны играют роль провокаторов, они расшатывают равновесное состояние масс, слагающих земную кору, способствуют возникновению смещений этих масс и тектонических разрывов. Энергетический вклад приливных волн в эти процессы относительно очень мал, однако и «капля дробит камень не силой, но частым падением», как знали еще древние римляне. Во-вторых, когда равновесие окажется нарушенным и на большом участке планеты возникает возможность землетрясения, «та же

самая» приливная волна выступает в роли спички, поджигающей здание, последней соломинки, ломающей спину верблюда.

Нет, испытывать чужое притяжение, как и притягивать самому,— вещь и для космических тел хоть и необходимая, но не безопасная.

Прослеживается связь фаз Луны и ее относительной близости к Земле с извержениями вулканов. Есть гипотеза, по которой энергия приливов в твердой оболочке Земли частично идет на подъем магмы из глубинных ее очагов к жерлам вулканов, да и вообще ближе к поверхности Земли. Не исключено, что часть энергии таких волн тратится на расплавление и превращение в магму некоторых количеств твердого вещества в земной коре.

Беспокойная соседка — эта Луна! Правда, гравитационное влияние Земли на Луну относительно больше, пропорционально перевесу нашей планеты в массе. «Мы» своим тяготением развернули Луну, поворотили ее к Земле одной стороной, вызвали серьезные изменения в фигуре своей спутницы, земные приливы в твердом веществе Луны сильнее, чем соответствующие лунные приливы на Земле... Не нам жаловаться.

Сейчас ряд ученых разрабатывает гипотезы, связанные с влиянием на Землю центров тяготения, куда более отдаленных, чем Солнце. Ставится такой вопрос: случайно ли самый высокий материк нашей планеты, Антарктида, находится в районе южного полюса? Ведь сейчас наша планета обращена именно Южным своим полушарием в сторону центра Галактики. Нет ли здесь проявления некой закономерности?..

## Слава маятнику

Слабость и даже, можно сказать, беспомощность самой могучей из сил нашей Вселенной легко доказываются опытом, который каждый из нас, не задумываясь особенно над выводами, успел проделать еще в раннем детстве. Крошечный магнит, извлеченный из электродвигателя игрушечного автомобильчика, поднимает целую цепочку канцелярских скрепок, небольшой гвоздь, полдюжины бритвенных лезвий. Поднимает — значит, одерживает победу над притяжением целой огромной планеты! Вот ведь как!

Тем поразительнее, что мы научились различать чрезвычайно мелкие колебания этой самой слабой и самой могучей силы. Причем с помощью удивительно простых приборов. Первым из них по праву должен быть назван маятник. Что на самом деле проще его?

Но нужны были гений и наблюдательность девятнадцатилетнего Галилея, чтобы заметить, что люстра в Пизанском соборе по мере уменьшения размаха своих колебаний вовсе не тратит на каждое из них все меньше и меньше времени. Именно с этого наблюдения началась не только история маятника как точного прибора, но история подлинно научного исследования гравитации. Должно было пройти еще семь лет, прежде чем Галилей проделал свои знаменитые опыты по сбрасыванию разных предметов с Пизанской башни. И с самого начала видел он глубокую связь между законами, управляющими падением тел, и законом, управляющим качаниями маятника.

Маятник стал прибором, с помощью которого установили ускорение свободного падения. Именно маятник относительно точно — куда точнее, чем геометрические измерения меридианных дуг, — показал, насколько именно Земля сплюснута у полюсов (кстати, в Лапландии экспедиция Мопертюи немало поработала и с маятниками). Свойства маятника так тесно связаны с силой тяжести, с земным тяготением, что известный немецкий физик Макс Лауэ как-то заметил: «Маятниковые часы — это не просто ящик, который вы покупаете в магазине; маятниковые часы — это тот ящик, который вы купили в магазине вместе с самой Землей. Если вы хотите передать маятниковые часы от одного наблюдателя к другому, вы должны выдать каждому из них по Земле; конечно, это довольно накладное мероприятие».

Период колебания маятника зависит от его длины и силы тяжести. И — в принципе — только от них. Выходит, зная длину маятника (а ее можно измерить, хотя тут возникают сложности, которых здесь не стоит касаться) и период колебаний (тоже поддающийся измерению), можно определить силу тяжести в любой данной точке. При этом очень важно, что вместо того, чтобы ловить доли секунды в поисках точного промежутка времени, отданного на одно колебание, можно определить, скажем, время, за которое маятник делает тысячу, десять, сто тысяч колебаний, и разделить это время на их

число — так сразу многократно повышается точность наших знаний.

Вот такие маятники и стали главными приборами на первых гравиметрических станциях, покрывших нашу планету довольно густой сетью уже с конца XIX века.

Впрочем, наиболее точно и бесспорно ускорение земного тяготения определяется самым прямым образом: наблюдением за тем, как падает пробное тело в вакууме.

Определить при помощи маятника абсолютную силу тяжести чрезвычайно трудно, ведь тут многое зависит от точного измерения его длины. Поэтому в наше время маятники предпочитают использовать для выяснения разницы между силой тяжести в двух точках. В этих двух точках один и тот же маятник будет иметь разный период колебаний, и такая разница будет зависеть от различий в силе тяжести. Надо было только выбрать на Земле место, где силу тяжести следовало принять за эталон. Поскольку впервые абсолютное значение силы тяжести на Земле было установлено в городе Потсдаме (ныне — в ГДР) в 1898—1904 годах, то именно Потсдам стал опорным пунктом для мировой гравиметрической системы.

Нынешние наземные гравиметрические измерения, по сути, относительны, они показывают прирост или падение силы тяжести в какой-то точке Земли сравнительно с исходным пунктом. (Надо оговориться: поскольку Земля вращается, то на каждое тело на ее поверхности действует, кроме силы земного притяжения, еще и центробежная сила; сила тяжести есть равнодействующая этих двух сил.)

В наших наручных часах место гири и маятника ходиков заняла пружина. В истории гравиметрии лет пятьдесят назад наступил момент, когда маятник в качестве универсального и единственного прибора для определения силы тяжести оказался потеснен гравиметром с пружиной. На конце пружины подвешен груз — вот суть прибора. Груз растягивает пружину, а уж на сколько именно — зависит от силы тяжести в данном месте. Пружина, конечно, нужна идеальная, длина ее и способность растягиваться должны как можно меньше зависеть от внешних условий, ведь измерять тут приходится миллионные доли длины пружины. Впрочем, само слово «пружина» носит здесь чрезвычайно обобщающий характер. В этом качестве используют и настоящие металлические

и кварцевые пружины и упругие нити и даже сжатый газ.

Сейчас появились гравиметры, в которых используются магнитная подвеска, сверхпроводимость и другое оружие из современного арсенала физики.

Идея применения в приборе газа, как и сама идея гравиметра такого типа, принадлежит Ломоносову.

Подводит гравиметр только то, что как ни точно выверен этот прибор, а нагруженная пружина имеет свойство растягиваться.

Гравиметры, как и нынешние маятниковые приборы, измеряют относительную силу тяжести. Но при этом гравиметр в конце очередной серии измерений приходится возвращать в исходный пункт (создана целая сеть таких пунктов), по которому он выверен, и смотреть, не изменились ли показания прибора, а если изменились, то как.

Очень напоминают маятник по характеру колебаний и крутильные весы (их часто так и называют крутильным маятником), те самые, на которых взвесили и саму Землю. Роль первого весовщика, как мы знаем, сыграл Генри Кэвендиш.

Крутильные весы отличаются прямо-таки фантастической чувствительностью. Н. П. и А. Н. Грушинские отмечают: «Замечательным является тот факт, что Кэвендиш при низких технических возможностях 18 века получил результат, лишь на 1% отличающийся от современного».

Крутильные весы Кэвендиша стали прародителем приборов, измеряющих уже не само гравитационное поле Земли в разных точках нашей планеты, а именно изменение поля при переходе от одной точки к другой. Называют такие приборы вариометрами. Первый вариометр создал венгерский физик Этвеш (тот самый, что первым с высокой точностью измерил на крутильных весах эквивалентность тяжелой и инертной масс).

Перед нами опять-таки коромысло с двумя грузами на концах, причем если на один груз действует не совсем та сила, что на другой, оно повернется вокруг оси подвеса. Насколько повернется — уже можно измерить. Хороший вариометр реагирует даже на наблюдателя, стоящего около него, то есть регистрирует неоднородность поля, возникшую от присутствия человека. Если снова вспомнить о слабости гравитации, о том, как не-



велика сила тяготения, создаваемая массой в шестьдесят — сто килограммов, остается только поразиться такому результату. А между тем речь ведь идет просто о «хорошем вариометре», а не о некоем уникальном и сверхточном.

Этвеш же первым и применил вариометр для того, что можно назвать геологической разведкой. Впрочем, он не искал полезные ископаемые, а пытался исследовать геологические структуры.

Сегодня гравиметрическую разведку геологи используют вместе с другими физическими методами поиска. Уголь и нефть, железная, хромовая, медная руды выдают себя точным гравиметрам и вариометрам. Глубину льда в Антарктиде и Гренландии определяли гравиметрическим методом — ведь легкий лед лежит на гораздо более плотных материковых породах.

Н. П. и А. Н. Грушинские обращают особое внимание на то, что гравиметрия идет впереди других видов геологической разведки на море, как и на суше. Правда, уточнение результатов приходится часто проводить другими методами, но ведь нельзя же требовать, чтобы тот, кто идет впереди, сам же и расширял проложенную им тропу.

Наконец, в роли гравиметра выступают искусственные спутники Земли. На их траектории отражается распределение масс в теле Земли. До сих пор спутники давали в основном сведения широкого характера, с их помощью уточняли фигуру Земли, находили занимающие относительно большие территории аномалии силы тяжести. Той особой «конкретности», какую дают наземные гравиметры, спутники обеспечить не могли. На их движении сказывается слишком много привходящих обстоятельств. Но сейчас, когда уже летали первые спутники, защищенные от таких искажений, когда готовятся к запуску десятки новых свободных от сноса спутников, положение коренным образом меняется. Издали и в мелких деталях гравитационного поля Земли можно будет разобраться лучше, чем вблизи.

А что же маятник? Он еще послужит. И, строго говоря, искусственный спутник Земли — тоже ведь в определенном смысле маятник. Равномерное круговое движение спутника и колебания маятника описываются одними и теми же уравнениями. Логическое сближение маятника и спутника — отнюдь не просто сравнение,

аналогия. Сходство здесь весьма глубокое: и космический гравиметр, и маятниковый наземный гравиметр работают по одному принципу.

## На весах жизни

Все живое делят обычно на два грандиозных разряда, отделяя растения от животных. Но можно предложить еще один способ деления — по тому, чувствует ли живое существо свою массу. И тогда весь мир сразу окажется разорван на тех, кто растет и живет в воде, и тех, кому принадлежит суша. К промежуточной группе можно отнести, пожалуй, амфибий, тюленей, некоторых насекомых и морских черепах, водяных змей, крокодилов, выдр... Перечислять долго, но принцип выбора понятен. Пингвина, скажем, тоже стоит причислить к этой категории, потому что он добывает пищу под водой. А вот большинство птиц — создания с «постоянным весом». Это, говоря языком техники, аппараты тяжелее воздуха.

Все, что живет на суше, постоянно ощущает свою массу. Водные животные тут оказываются в несравненно более выгодном положении. Вон кит. Позвоночное, теплокровное животное. Самое огромное живое существо, которое когда-либо обитало на нашей планете. И никто не удивляется, что хотя кит млекопитающее, но гигантом стал в море. Самый крупный из современных сухопутных животных, слон, уступает ему по массе в десяток-другой раз.

Удельный вес человека почти равен удельному весу воды. Готовя человека к полетам в космос, ученые имитируют состояние невесомости, погружая подопытного (в акваланге) в бак с водой, в котором заранее растворено ровно столько солей, сколько нужно, чтобы ее удельный вес точно совпал с удельным весом человеческого тела. Конечно, это не победа над гравитацией в точном смысле слова... Однако массы своей человек в воде, как и кит в воде, не ощущает. Кит — представитель водной жизни, человек — сухопутной. Киту — легче.

На сравнении жителей суши и жителей моря довольно легко увидеть некоторые весьма весомые преимущества водной среды. Прежде всего энергетические. На суше

приходится бороться с собственной массой. В воде за тебя работает закон Архимеда. Недаром до сих пор при всех достижениях автомобилистов и железнодорожников, не говоря уже об авиации, самыми дешевыми остаются водные перевозки грузов. И паровой двигатель был поставлен сначала на корабль, а уже потом на повозку, поскольку тут требовалось потратить меньше энергии на единицу расстояния. И все из-за закона Архимеда, а закон Архимеда, как известно, действует постольку, поскольку на воду действует земное притяжение.

*До глубокой мысли надо подняться.*

*Станислав Ежи Лец*

Жизнь на Земле, как полагают биологи (во всяком случае огромное их большинство), возникла в океане и лишь потом перебралась и на сушу, сумев приспособиться к новым условиям, среди которых немаловажное значение имел вес. Но снова и снова виды живых существ, сформировавшиеся на суше, возвращались в воду. Однако за это приходится расплачиваться. Оказавшийся на отмели во время отлива кит не всегда может дожидаться прилива. Он буквально оказывается полураздавленным собственной массой. Его мышцы еле-еле способны раздвинуть ребра, освобождая место расширяющимся при каждом вдохе легким. Не только мышцы, скелет, кровь, все жизненно важные системы китообразных приспособились за время долгой эволюции в водной среде к практическому отсутствию веса.

Экспедиция знаменитого исследователя морских глубин Кусто как-то наткнулась на застрявшего на мелководье китенка. Его понадобилось для лечения и перевозки поднять на борт. Но «поднять кита из воды — дело мудреное. Даже новорожденный китенок может сломаться от собственного веса без равномерной опоры». Пришлось сделать что-то вроде гамака и подвести под туловище животного. Именно исследование существ, живущих в воде, стало ключом к пониманию роли земного притяжения для жизни. Судя по всему, выходящим на сушу морским животным пришлось когда-то перестроить свой организм для «борьбы» с собственной массой не в меньшей, даже в гораздо большей степени, чем для перехода на новую, легочную форму дыхания. Последнее коснулось прежде всего перестройки дыхательного аппа-

рата и до некоторой степени механизма кровообращения, первое — всего организма. Профессор П. А. Коржуев пишет в книге «Эволюция, гравитация, невесомость»: «Эволюция наземных животных представляет в основном эволюцию приспособлений, направленных на преодоление сил гравитации».

И эту мысль профессора Коржуева отнюдь нельзя назвать тривиальной, хотя может показаться, что данный факт очевиден. Как ни странно, сравнительно немногие мыслители обращали внимание на эту сторону эволюции.

Константин Эдуардович Циолковский специально рассмотрел еще в 1882 году проблему соотношения размеров обитаемой планеты и размеров ее обитателей. Он писал: «Будь иная сила тяжести на нашей планете, и размер наиболее совершенных людей, как, впрочем, и всех других существ, изменился бы».

Англичанин Крукс в 1897 году констатировал, что форма животных определена силой земного тяготения, исключения относятся только к водным животным. Стоит, впрочем, добавить, что если не о заданности размеров живых существ тяготением, то о верхнем пределе, который поставила тяжесть этим размерам, очень убедительно говорил еще Галилей: «...природа не может произвести деревьев несоразмерной величины, так как ветви их, отягощенные собственным чрезвычайным весом, в конце концов сломались бы. Равным образом невозможно представить себе костяка человека, лошади или другого существа слишком большой величины, который бы держался и соответствовал своему назначению, достигнуть чрезвычайной величины животные могли бы только в том случае, если бы вещество их костей было значительно прочнее и крепче, нежели обычные, или же если бы кости их изменились, соразмерно увеличившись в толщину, отчего животные по строению и виду производили бы впечатление чрезвычайной толщины. Это, возможно, уже было подмечено тем проницательнейшим поэтом, который, описывая великана, говорит: нельзя было сказать, насколько он был высок, так все в нем было непомерно толсто».

А дальше Галилей объясняет огромные размеры кита вполне научно даже с современной точки зрения (хоть и называет его, увы, рыбой).

В 1960 году в нашей стране была издана книга биолога В. Я. Бровара «Сила тяжести и морфология животных».

Ее главная идея: «...всякое живое существо взаимодействует с силовым полем. С момента возникновения и на всем протяжении своего онтогенетического \* развития, связанного с изменением внешней формы и положения частей внутри целого, организм находится под влиянием тяготения».

Сейчас широко разрабатывает проблемы влияния гравитации на конкретные органы и системы организма профессор П. А. Коржуев. Новый подход позволяет, по мнению ученого, понять наконец ряд фактов эволюции — фактов, которые до сих пор не получали убедительного объяснения. Чтобы осмыслить их, полагает Коржуев, прежде всего надо анализировать работу костно-мышечной системы, «так как скелет и мускулатура — наиболее эффективные механизмы преодоления сил гравитации». Мускулатуру для преодоления этих сил нужно обеспечить достаточным количеством энергии, и организму пришлось совершенствовать ее выработку в процессе эволюции.

Производство энергии в организме тесно связано с кровоснабжением органов — ведь именно кровь доставляет в ткани необходимый им кислород. У рыб кровь образуется прежде всего в селезенке и почках. Уже у амфибий появился новый кроветворный орган — костный мозг, причем, собственно, в качестве кроветворного органа выступает скелет в целом, трубчатые кости вместе с заключенным в них костным мозгом.

Эволюция отказалась от усиления кроветворной деятельности старых органов, изготавливающих кровь, — почек и селезенки. «Биологически целесообразно было перемещение очагов кроветворения в те структуры, которые воспринимают всю мощь воздействия сил гравитации в наземных условиях. Такой структурой является скелет. Весь скелет или его отделы... воспринимая нагрузку, автоматически могут регулировать деятельность очагов синтеза гемоглобина».

Профессор Коржуев сравнил отношение массы скелета к массе тела у разных животных и массовое соотно-

---

\* Онтогенез — развитие конкретного организма, в отличие от филогенеза — развития вида, рода, семейства и т. д.

шение между собой различных частей самих скелетов у разных же животных. Результат оказался чрезвычайно любопытен. Самый легкий скелет, естественно, у рыб. Самый тяжелый (в среднем) у птиц и млекопитающих, хотя отдельные виды этих классов «сумели» сильно облегчить себя — до рыбьего уровня. Однако это относится, вопреки общепринятым представлениям, отнюдь не к летунам. Среди птиц своеобразный рекорд понижения массы скелета поставила малоподвижная пекинская утка, существо домашнее. У нее скелет по массе составляет только десять процентов массы тела. У ее дикой родственницы кряквы доля скелета в массе тела поднимается уже до одиннадцати и двух десятых процента. А у крачки обыкновенной — почти до восемнадцати процентов.

Скелет малоподвижной морской свинки дает пять с половиной процентов массы тела (абсолютный нижний рекорд в таблице Коржуева), зато у летучих мышей доля скелета поднимается до семнадцати, девятнадцати и двадцати двух процентов общей массы.

Мы привыкли считать, что скелет птиц облегчается благодаря утоньшению стенок трубчатых костей и другим способам, изобретенным природой. С одной стороны, это верно, но облегчение, как видим, не абсолютно. Чтобы летать, нужен мощный скелет.

Мы знаем, какие отличные прыгуны лягушки. Так вот, у травяной лягушки задние конечности дают почти половину массы скелета, шестьдесят четыре процента всей мускулатуры связано у травяной лягушки с задними конечностями — вот что делает ее такой подвижной.

У хорошо летающих птиц на кости крыльев приходится почти половина массы скелета. А у летучих мышей даже более половины общей массы скелета.

«Таким образом, осуществление полета у птиц и млекопитающих потребовало такой же глубочайшей перестройки организма, как и у бесхвостых амфибий, впервые сделавших попытку преодолеть силы гравитации. Примерно половина веса скелета и три четверти веса всей мускулатуры — вот такая цена заплачена за возможность преодолеть силы гравитации на миг и на более длительное парение в воздухе. Нужна была в буквальном смысле слова переплавка организма, фундаментальное перераспределение всех его ресурсов для решения

только одной задачи — вырваться из оков земного тяготения».

Если же сравнить отношение массы сердца к массе тела у рыб, амфибий, рептилий и млекопитающих, то картина выглядит в целом еще более впечатляющей. В среднем масса сердца у рыб составляет едва лишь тысячную долю массы тела, у бесхвостых амфибий (лягушек, жаб) — вчетверо большую, у птиц — от одной трехсотой массы тела у фазана до почти тридцатой доли массы тела у колибри; у млекопитающих — от одной триста семидесятой доли массы тела у домашнего кролика и до одной семидесятой — у летучей мыши. Чем больше энергетические затраты, тем более крупное требуется сердце. А энергетические траты уходят прежде всего на борьбу с гравитацией.

При переходе млекопитающих к водному образу жизни идет обратный процесс. Снижается масса скелета, который теперь испытывает меньшую нагрузку. У дельфина, например, она составляет лишь пять — семь процентов массы тела.

Приспособление к гравитации, по Коржуеву, сыграло свою роль и в изменении состава крови наземных живых существ, и во многом другом.

Человек прошел по пути биологической борьбы с гравитацией еще дальше, чем большинство млекопитающих. Мы твердо стоим на двух ногах, обходимся двумя точками опоры. Но это означает, что в нашем теле произошло резкое перераспределение напряжений, связанных с тяжестью — по сравнению с четвероногими животными. Это сказалось на форме костей ног, принявших двойную тяжесть, на костях рук, освобожденных от обязанности служить опорой. Таз женщины, который теперь должен служить опорой плоду, изменил свою старую форму, применяясь к новой функции. Разумеется, все это происходило на протяжении очень длительного времени и, вероятно, происходит и по сию пору. Видно, прав врач и писатель В. Вересаев: «...органы человека и их размещение до сих пор еще не приспособились к вертикальному положению человека. Нужно себе ясно представить, как резко при таком положении должны были измениться направления и сила давления на различные органы, и тогда легко будет понять, что приспособиться к своему новому положению органам вовсе не так легко». Нема-

лое число болезней связывают медики с такой «недоприспособленностью».

Многое в обмене веществ, пищеварении, дыхании, кровообращении обеспечивается у нас специальными физиологическими механизмами. Но в ряде случаев организм «просто» использует даровую силу земного тяготения. Кровь на некоторых участках артерий и вен идет, так сказать, самотеком... Живое существо экономит свою энергию, обходится без лишних морфологических и физиологических механизмов. Это хорошо. Но человек вышел в космос. И тут-то перед ним, сверх прочего, во всей своей важности встала проблема того, до какой степени он приспособлен к земному гравитационному полю. Встала потому, что человечество начало — пусть пока в лице немногочисленных своих представителей — выходить из-под влияния этого поля.

## Без тяжести

Слова «антигравитация», «антигравитационный» долгое время казались выходцами из фантастики.

А между тем биологи уверенно говорят и об антигравитационных мышцах и даже об антигравитационной функции организма. Мы буквально на каждом шагу только тем и занимаемся, что преодолеваем земное тяготение. Кровь в наших жилах притягивается Землей, и понятно, что есть в организмах человека и животных специальные механизмы, обеспечивающие, чтобы кровь более или менее равномерно распределялась по нашему телу.

Есть знаменитая древняя формула: лучше сидеть, чем стоять, лучше лежать, чем сидеть. Физиологический смысл этого изречения может быть отнесен при желании к снабжению организма кровью. Ведь когда лежащий человек встает или стоящий ложится, он коренным образом изменяет положение своего тела в поле земного тяготения. Как все мы знаем из школьных учебников, в легких человека находятся особые пузырьки — альвеолы, через их стенки кислород воздуха проникает в кровь. Легкие тут — базы снабжения кислородом, артерии — дороги, кровь — транспорт для кислорода. Так вот, в верхние отделы легких крови поступает меньше, чем в нижние, причем к примерно одной десятой всех альвеол



стоящего человека кровь за кислородом вообще не является. И это связано только с тем, что в распределении крови по легким важную роль играет гравитация. Доказать эту связь, между прочим, оказалось очень легко. Достаточно было в эксперименте на несколько минут перевернуть добровольца-испытуемого вниз головой, чтобы его верхние и нижние отделы легких поменялись местами не только буквально, но и по степени обеспечения их кровью.

У лежащего на спине человека легкие заполняются кровью более равномерно. Здесь явно налицо некая недоработка со стороны организма — работаем-то мы стоя или сидя, но не лежа. Значит, как раз лежащему человеку нужно меньше энергии, для выработки которой требуется кислород, между тем в положении лежа, выходит, дыхание эффективнее. Что же, организм нашел пути для выправления такой ситуации. Жизненная емкость легких у сидящего человека больше, чем у лежащего, и еще больше она у стоящего. Уровень обмена энергии у человека при стоянии на десять — восемнадцать процентов больше, чем когда он лежит на спине.

Г. С. Белкания, автор одной из статей в журнале «Космическая биология и авиакосмическая медицина», отмечает, что изменения дыхания при перемене положения в пространстве направлены на «компенсацию первичных механических эффектов гравитации и обеспечение повышенных энергетических потребностей».

В общем, конечно, нельзя сказать, чтобы такие результаты, полученные в точных экспериментах, были совсем уж неожиданными. Ученые понимали, что организм человека должен находить пути приспособления к действию своей постоянной спутницы — силы тяжести. Опыты такого рода продолжаются. И пишут о них журналы, освещающие самую передовую линию нашей науки, рассказывающие о исследованиях, связанных с прорывом человечества в космос. Дело в том, что взаимоотношения организма человека с полем земного тяготения оказались гораздо более сложными и многообразными, чем это представлялось еще недавно. И ключ к выяснению этих взаимоотношений был дан той самой невесомостью, которая поставила перед космической медициной столько серьезных проблем.

Недавно писатель — популяризатор науки и публицист Ярослав Голованов опубликовал в «Новом мире»

великолепную статью «Архитектор в мире, где яблоки не падают». Он рассматривает в ней перспективы строительства и архитектуры и новые принципы оборудования жилища в условиях невесомости.

Можно жить на «потолке» с теми же удобствами, что и на полу, несравненно шире использовать площадь «боковых стен» комнат. Отпадает необходимость в сиденьях. Шар, идеальная геометрическая фигура, оказывается куда удобнее, чем привычные землянам параллелепипеды. А сколько возможностей сулит архитектуре невозможная, неслыханная на Земле свобода от силы тяжести! И все же сам Голованов делает неизбежную оговорку о том, что весь новый мир «эфирных поселений» в невесомости станет реальностью, только если будет доказана безопасность невесомости для человека.

С одной стороны, эксперименты на животных (особенно популярны сейчас у ученых в роли «космонавтов» уже не собаки, как прежде, а крысы) отчетливо показывают, что хотя организм изменяет в невесомости процессы обмена веществ, кровообращения и т. д., эти изменения обратимы. На Земле все возвращается к норме и довольно быстро. Опыт советских и американских космонавтов говорит о том же.

Но, с другой стороны, пока продолжительность космических полетов, в которых участвовали люди, составляет немногим более трех месяцев. Каков реальный срок безвредного пребывания в невесомости — мы еще не знаем. По мнению же многих специалистов, такой реальный предельный срок должен существовать, до него не так уж далеко, и считаться с этим необходимо.

Есть опасности, которые хоть и остаются опасностями, но с сегодняшней точки зрения преодолимы относительно легко. Тренировки, тренировки и еще раз тренировки. Мышцы, во всяком случае большинство их, можно так поддерживать в работоспособном и здоровом состоянии. Хуже обстоит дело с костями скелета. Ноги несут обычно на себе тяжесть всего тела. Как вернуть им в этом отношении хотя бы ощущение нагрузки?

Стоит отметить, что обнаружена масса общих черт в том, как организм отвечает на невесомость и на неподвижность при длительном постельном режиме. У здорового человека после долгого постоянного пребывания в постели становятся менее плотными кости, что легко за-

метить на рентгенограмме. То же отмечалось у космонавтов после многосуточных полетов.

А доброволец, который провел в постели девять месяцев, в среднем терял каждый месяц полпроцента элемента кальция, содержащегося в его костях. Дорогая цена за изменение положения тела в пространстве и неподвижности! Хорошо еще, что когда такой доброволец возвращается к нормальному образу жизни с естественными физическими нагрузками, его здоровье восстанавливается. Восстанавливается и содержание кальция. Но в невесомости далеко не все нормальные физиологические процессы можно восстановить за счет физических тренировок, даже самых интенсивных.

Между кровью и тканями тела идет постоянный обмен веществ. Для перехода жидкости из артерий в ткани организм в значительной мере использует силу тяжести, а тканевые жидкости в кровь поступают через капилляры, такие тоненькие каналцы, что жидкость двигается в них за счет капиллярного давления, и тяжесть к этому отношения не имеет. В невесомости нормальное равновесие этих процессов нарушается. Фильтрация сильно замедляется, ткани обескровливаются, а кровь оказывается, наоборот, сильно разбавлена тканевой жидкостью. Расширяются центральные вены и предсердия, чтобы пропустить избыток крови. Организм же начинает этот избыток крови (увы, кажущийся!) удалять через почки. С жидкостью уходит из организма и кальций. Похоже, что при строгом постельном режиме в теле здорового человека происходит примерно то же, что в теле космонавта при невесомости. Ведь неподвижность, да еще в лежачем положении, даже в поле земного тяготения мешает правильному снабжению кровью всех тканей. Естественно, что тело «лежебоки поневоле» тоже теряет кальций, но теряет его гораздо медленнее.

Ученые мира разрабатывают лекарства, помогающие сохранению солевого равновесия, конструируют костюмы, в которых давление на организм должно хоть в какой-то степени заменять силу тяжести. И наконец, самое главное, радикальное решение проблемы — создание искусственной силы тяжести.

Тут есть два основных пути. Во-первых, поддерживать космический корабль в состоянии ускорения (положительного или отрицательного); но во время дальних полетов это потребует много дополнительной энергии.

Во-вторых, можно закрутить корабль вокруг некой оси так, чтобы на его внутренней поверхности возникла сила тяжести — способ, давным-давно освоенный фантастикой, но, правда, не наукой. Однако космические корабли пока относительно невелики, а угловая скорость вращения (для создания достаточной силы тяжести) должна быть довольно большой. Какие последствия это будет иметь для космонавта, который ведь почувствует, что его «вертят», — весьма неясно. Не попасть бы из огня да в полымя!

К невесомости не приспособлен и механизм снабжения органов тела кровью через артерии. Космонавт Павел Романович Попович в состоянии невесомости чувствовал время от времени, будто он висит головой вниз и вперед. «Впечатление такое, что стоишь на голове», — это рассказывал космонавт В. А. Шаталов. Все говорили о временных приливах крови к голове, видели, как у товарищей по кабине космического корабля становятся одутловатыми лица и даже морщины сильно сглаживаются. Это организм гонит кровь в голову с силой, достаточной для преодоления земного притяжения, а преодолевать-то в невесомости нечего. В голове крови слишком много, в ногах слишком мало. Вниз-то кровь обычно идет легко, а вверх ее надо гнать; в невесомости возникает прямо противоположная ситуация. Тело из нее само выйти не может, надо опять-таки искать способы ему помочь. Каким же образом?

Тут, видимо, возможны два пути — медико-биологический и технический. Пока космическая медицина не может предложить идеальные выходы «на все случаи жизни». Остается надежда на принцип эквивалентности. Достаточно заставить космический корабль двигаться с ускорением, чтобы на нем появилась тяжесть. Такое решение проблемы ставит труднейшие задачи, касающиеся двигателей, запасов энергии и многого другого, но все это задачи технические по своей сути. А их решать в конечном счете много проще, чем задачи медико-биологические, да еще касающиеся человека.

Первые ракеты, пошедшие (без человека) на Венеру и Марс, часть пути проходят без ускорения, по орбите искусственных спутников Солнца. Так же пойдут к планетам первые ракеты с людьми, если будет найден способ гарантировать безопасность и сохранение здоровья их экипажам. А не будет он найден — придется подо-

ждать кораблей, способных нести достаточный запас топлива, чтобы лететь к планетам напрямую. Но к этому же космонавтика будет стремиться и в том случае, если полеты по орбите спутника окажутся возможны по медицинским показателям. К чему же тратить на дорогу лишние месяцы и даже годы!

Вся история человечества есть в известном смысле процесс замены приспособления человека и общества к среде приспособлением среды к человеку и обществу. Космонавтика сейчас в самом начале, потому она и предъявляет такие требования к своим пилотам, потому мы и зовем — заслуженно зовем — первых завоевателей космоса героями.

Но человечеству предстоит жить в космосе, освоить его как собственный дом. А у себя дома быть героем уже необязательно.

Первым летчиком, поднимавшимся в относительно высокие слои атмосферы, приходилось приспосабливаться к дыханию разреженным воздухом; потом появились кислородные приборы, а сейчас для таких случаев употребляются специальные скафандры.

А уж если развивать это сравнение, то, как известно, эскимосы и огнеземельцы живут в весьма суровых условиях. Организм эскимоса гораздо хуже приспособился к холоду, чем организм огнеземельца, но несравненно более высокую культуру создали именно эскимосы, сумевшие поставить между собой и средой идеально отвечающие условиям одежду и жилище. Сравнение, может быть, слишком резкое. Но ведь космонавты — тоже, с определенной точки зрения, часть человечества, попадающая в экстремальные, необычные условия. А генеральный путь развития культуры в широком смысле этого слова — один.

Невесомость, возможно, должна быть оставлена для спутников-автоматов, как холод остался за стенами эскимосских жилищ.

Честь и слава медикам и биологам, ищущим сегодня пути борьбы с невесомостью, — на ближайшие десятилетия эта борьба актуальна и необходима. Но дальше...

А как быть с малой тяжестью, лунной, скажем?

Когда-то казалось, что тут самое трудное будет — научиться правильно ходить. Но «первые люди на Луне» буквально за полчаса выработали и довольно удачную походку и подходящую осанку.

А вот относительно того, долго ли человек сможет жить на Луне без вреда для себя,— уверенного ответа мы пока не имеем. Индивидуальное самочувствие-то должно быть несравненно лучше, чем в невесомости, поскольку есть ощущение верха и низа, кровь будет меньше приливать к голове и т. д. Но физиологические процессы, связанные с использованием организмом массы той же крови, пойдут гораздо медленней, чем на Земле; нагрузка на мышцы ног в шесть раз слабее.

Луняне — герои научно-фантастического романа Айзэка Азимова «Сами боги» — нашли выход в спорте: «То, что для вас — развлечение, для нас — жизненная необходимость... Вы, земляне, приспосабливались к земной силе тяжести добрых триста миллионов лет — с того самого момента, как живые организмы выбрались на сушу... Наш организм... требует постоянной тренировки, чтобы функционировать нормально. И это касается таких сложных и тонких функций, как пищеварение, выделение гормонов и тому подобное».

И дальше Азимов дает блистательную картину гимнастических состязаний в шахте шириной пятнадцать метров и глубиной сто пятьдесят. «Правильное использование мускулатуры компенсирует слабое притяжение».

*Скептицизм — удобное мировоззрение? Скептики смотрят на это скептически.*

*Станислав Ежи Лец*

Но видеть в спорте панацею от всех бед не приходится. Мы ведь только прикоснулись к физиологическим явлениям, связанным с невесомостью или малой силой тяжести, а рассчитывать надо на годы и десятилетия. Луна же отличается от космического корабля, между прочим, и тем, что здесь не создашь за счет движения добавочную силу тяжести, не сыграешь на принципе эквивалентности. А мы ведь не можем ждать с ее освоением до тех пор, пока сумеем создавать искусственное гравитационное поле.

Проблем, нуждающихся в срочном решении, тут более чем достаточно.

## ЗАГАДКА ТЯГОТЕНИЯ — ЗАГАДКА?

**С**очетание слов «загадка тяготения» поразительно устойчиво. Так называются и целые книги, и разделы в книгах, и статьи. И в принципе против этого никак нельзя возражать. Действительно загадка. Но почему-то словосочетание «загадка атомного ядра» встречается несравненно реже, а «загадка электромагнетизма» вообще не встречается. Между тем общая теория относительности ничуть не в меньшей степени объясняет явление гравитации, чем теория Максвелла — электромагнитные явления.

Одно из железных правил развития науки состоит в том, что ни одно явление природы не может быть до конца объяснено созданной для такого объяснения теорией. Иначе сама наука остановилась бы и омертвела. Поэтому можно и нужно, конечно, искать более глубокую «причину тяготения», чем данная теорией гравитации Эйнштейна. Но точно так же и в той же мере можно и нужно пытаться найти и более глубокую «причину электромагнетизма», чем у Максвелла. А уж об атомном ядре мы, по мнению физиков, знаем куда меньше, чем о тяготении. И тем не менее...

В одной хорошей научно-популярной книге написано буквально следующее: «Любопытно отметить, что некоторые вопросы, поставленные наукой на заре ее развития, не могут быть решены, несмотря на все достижения современности. Одним из таких важных, интересных, но совершенно не продвинувшихся со времени Ньютона вопросов является вопрос о природе всемирного тяготения...»

А уже в следующей главе книги идет рассказ о теории Эйнштейна → это после заявления об отсутствии продвижения вперед после Ньютона в проблеме природы тяготения...

В чем же дело? Почему достойные, серьезные ученые, не работающие непосредственно в теоретической физике (не говоря уж о журналистах), так часто подчеркивают загадочность именно тяготения?

Кажется, причины тут чисто психологические. И в их числе, пожалуй, сложность теории Эйнштейна — причина из самых в данном случае малозначащих. Теория Максвелла, конечно, проще, но о загадке электромагнетизма не говорят ведь и те, кто не имеет об этой теории

ни малейшего представления. Гораздо важнее, что само тяготение воспринимается как сила, не подвластная человеку, наоборот даже, властвующая над ним.

То ли дело электромагнитные силы! Гидростанции и игрушечные автомобильчики, холодильники и обыкновенная лампочка... Как видеть загадку в верном слуге? Если, по старой пословице, не существует великого человека для его камердинера, то уж увидеть загадочность в камердинере еще труднее. Атомное ядро стало служить человеку совсем недавно, и все-таки тот же эффект оказался в значительной степени достигнут за четверть века, которые прошли со ввода в действие первых атомных электростанций.

Победить — для нашего житейского мышления означает и разгадать. На самом же деле это далеко не одно и то же.

*...Человеческое мышление по природе своей способно давать и дает нам абсолютную истину, которая складывается из суммы относительных истин. Каждая ступень в развитии науки прибавляет новые зерна в эту сумму абсолютной истины, но пределы истины каждого научного положения относительны, будучи то раздвигаемы, то суживаемы дальнейшим ростом знания.*

*В. И. Ленин*

Играет, видимо, свою роль и ненаглядность общей теории относительности. Привычка считать понятными только наглядные механические модели, идущая со времен Галилея, если не от Древней Греции, сохранилась у большинства из нас до сих пор.

Атом можно представить в виде миниатюрной Солнечной системы; хотя такое представление безнадежно устарело, самая возможность его позволяет относиться к атому и его ядру как к чему-то, что сам ты не знаешь, но ученые — те знают.

Для теории Максвелла механические модели так же невозможны, как для теории Эйнштейна; а как сам Максвелл в свое время пытался найти их! Не смог. Обошелся.

Электромагнетизму сегодня отсутствие механической наглядности прощается — за верную службу.

Значит, все дело в том, чтобы найти способы обуздать тяготение, управлять им — тогда оно догонит по степени



понятности электричество. Иначе с общепринятой загадочностью тяготения ничего не сможет сделать и та теория гравитации, что сменит когда-нибудь теорию Эйнштейна,— не сможет, как бы глубоко ни заглянула новая законодательница тяготения в его механизм. Ей же ей, это будет действительнее даже, чем изучение общей теории относительности в школе — такое обучение, кстати, уже стало правилом в некоторых школах и у нас, и за рубежом.

А вот управление тяготением, активная утилизация его, генерирование и укрощение — все это дело будущего.



# ЗАВТРА ИЛИ НИКОГДА

## ВОЛНЫ КРИВИЗНЫ, ИЛИ В НЕБО, ЗА ЗВЕЗДАМИ

**К**то не видел волн на воде — набегающих на морской берег, ряби на реке под легким ветром, кругов, расходящихся от брошенного в пруд камня? Мы знаем радиоволны, знаем, что свет — это тоже волны; квантовая механика категорически подчеркивает волновые свойства элементарных частиц.

Чем же на этом фоне так уж выделяются гравитационные волны, что они собой представляют? Или должны представлять, поскольку пока они только предсказаны, только вычислены, только описаны. — и не более того...

Уравнения Эйнштейна гораздо сложнее уравнений Максвелла. Но структура тех и других уравнений сходна. Из теории Максвелла следовало, что при неравномерном движении электрического заряда возникают электромагнитные волны. Именно таково в конечном счете происхождение и радиоволн, и рентгеновских лучей, и самого обыкновенного видимого света.

Немецкий физик Генрих Герц впервые в опыте показал реальность электромагнитных волн. Это случилось в 1888 году.

Понадобилось всего семь лет, чтобы Александр Попов превратил электромагнитные волны в средство коммуникации, и человечество получило радиосвязь.

Так вот, неравномерное движение «гравитационных зарядов» (а такие «заряды», как вы знаете, несут все известные нам тела) тоже должно создавать волны, только, естественно, гравитационные. Поскольку же гравитация тесно связана с геометрическими свойствами пространства, то колебания поля тяготения есть колебания кривизны пространства\*.

Необходимая оговорка: польский физик Леопольд Инфельд доказывал, что гравитационные волны невозможны, невозможен реальный перенос ими энергии. Но

---

\* Впервые идея о возможности волн гравитации была высказана еще до возникновения общей теории относительности Б. Б. Голлицыным в его переписке с П. Н. Лебедевым.

мало кто из теоретиков разделяет сегодня эту точку зрения.

Равномерное движение в нашем мире встречается не так уж часто. Движение Земли и других планет вокруг Солища — движение с угловым ускорением, значит, неравномерное. Любое космическое тело при движении по своей орбите излучает гравитационные волны, они рождаются и при любых столкновениях тел, при взрывах — словом, буквально всюду.

Мир должен быть пронизан гравитационными волнами. А поскольку они подчиняются законам квантовой механики, то являются одновременно материальными частицами, имеют массу. По некоторым подсчетам, около трети всей массы-энергии в нашей Вселенной составляют именно гравитоны, родившиеся в течение тех десяти — двадцати миллиардов лет, которые отводят астрофизики на существование Метагалактики. В каждом кубическом сантиметре космического пространства содержится, возможно, десять в минус тридцатой степени грамма гравитонов — столько же, сколько (в среднем) всей видимой материи — от звезд до фотонов (еще треть массы мира составляют, возможно, нейтрино). И вот это-то грандиозное явление пока что только описано, но не обнаружено. Причина — та самая слабость силы тяготения, о которой уже столько раз говорилось. Вот какой пример приводит В. Борисов в книге «Загадка тяготения»: «Если взять несколько брусков кварца массой в 1 т, возбудить в них такие упругие колебания, что бруски будут колебаться в режиме, близком к разрушению (на это понадобится  $10^8$  Вт мощности), мощность всего гравитационного излучения составит  $10^{-21}$  Вт».

Коэффициент полезного действия в этом случае составит одну стомиллионную долю от одной квадриллионной доли: десять в минус двадцать девятой степени.

Пожалуй, только в области тяготения ученым придется практически иметь дело с десятками, над которыми стоят в качестве показателей степени столь огромные отрицательные числа! Тут гравитационщикам не позавидуют даже специалисты по элементарным частицам.

Причем Борисов еще считает нужным оговорить, что приведенный им пример — «один из наиболее удачных в отношении коэффициента полезного действия».

Мало того. При приеме излученной гравитационной энергии нам придется иметь дело с той же величиной

КПД. Значит, при массе излучателя в одну тонну на приемной гравитационной антенне придется измерять величину, равную всего-навсего десяти в минус пятидесятой степени ватта. Похоже, что бессмысленно передавать эту чудовищно малую величину словами, лучше написать так:  $10^{-50}$ .

Но ведь в мире столько природных источников гравитационных волн! Вселенная просто переполнена ими. Однако ближайшие из них тоже не отличаются мощностью. Самая большая планета Солнечной системы, Юпитер, излучает в виде гравитационных волн ровно столько энергии, сколько достаточно для электролампочки в четыреста пятьдесят ватт. Не густо. Что говорить об остальных планетах?

Зато чем дальше в космос, тем больше мы встретим мощных генераторов гравитационного излучения. При некоторых взрывах сверхновых звезд, при гравитационном коллапсе (если он происходит несимметрично, то есть вещество звезды не устремляется к ее центру со всех сторон с одной и той же скоростью), при столкновениях нейтронных звезд и черных дыр гравитационные волны должны излучаться в огромных количествах. Предполагают, что тут возможен КПД перехода массы-энергии в гравитационное излучение, равный десяткам процентов. Энергия такого излучения оценивается теперь в эргах числом, равным десяти в пятьдесят второй — пятьдесят пятой степени. Снова огромная величина показателя степени, но теперь со знаком плюс! Вот как пополняются «запасы» гравитонов в Метагалактике, составляющие, возможно, до трети ее массы. Но гравитационные волны от мощных взрывов всех видов рассеиваются в пространстве равномерно, до Земли доходит ничтожная доля их энергии. А КПД земной гравитационной антенны по-прежнему чрезвычайно низок.

И все-таки охота за гравитационными волнами началась. Ученый, который их обнаружит, станет новым Генрихом Герцем.

Ловля гравитонов — занятие сложное. Чтобы поймать радиоволну, как и любую электромагнитную волну, достаточно в принципе всего-навсего одного электрического заряда. Волна заставит его сместиться, а это смещение можно измерить.

Есть два основных способа принять гравитационные волны из космоса. Можно использовать то обстоятель-

ство, что гравитационное излучение взаимодействует с электромагнитным полем и способно возбудить в нем колебания, которые и подлежат измерению. Можно измерить смещение тел в высокочувствительной механической системе. Именно этим и занимался в 1968—1971 годах профессор Мерилэндского университета в США Джозеф Вебер.

...На тонких нитях к раме из стальных блоков, разделенных резиновыми прокладками, подвешен алюминиевый цилиндр длиной полтора метра, диаметром шестьдесят сантиметров и весом полторы тонны. На поверхность цилиндра наклеены пьезодатчики, переводящие его механические колебания в электрические. Все это сооружение помещено в вакуумную камеру. Второй такой же цилиндр был установлен на расстоянии в тысячу километров от первого.

С помощью сейсмографов, акустических датчиков, наклономеров стремились отсеять все колебания, вызванные внешними воздействиями, не связанными с гравитационными волнами. Оставались, правда, неустранимы слабые колебания, причиной которых были тепловые шумы — результат броуновского движения молекул.

Вебер считал, что при этих условиях одновременные всплески колебаний обоих цилиндров — признак воздействия на них очень длинных (многокилометровых) гравитационных волн. Приборы отметили такие всплески, и во всех, пожалуй, газетах и журналах мира появились сообщения о первом приеме гравитационного излучения.

Астрофизики, однако, пришли в большое смущение. Чувствительность веберовской системы была, несмотря на все старания, очень низка. Если тем не менее прием состоялся, это означало, что во Вселенной происходят процессы, мощность которых не соответствует теоретическим представлениям астрономов. Предполагаемым источником волн, которые Вебер пытался принять, является центр нашей Галактики. Для того, чтобы антенна их зафиксировала, в центре Галактики должна была ежегодно переходить в гравитационное излучение полная энергия вещества с массой в тысячу с лишним раз больше солнечной. Для Галактики чудесно много. При таких процессах, похоже, давно бы не существовало нашей звездной системы. Но теория теорией, а эксперимент экспериментом. Подобное проверяют подобным, клин вы-

шибают клином, эксперимент проверяется другим экспериментом.

Первыми в мире проверяли опыт Вебера в Московском университете. Это сделала группа Брагинского. Волн не приняли. Потом эксперимент повторяли в США и Англии, Италии и ФРГ... Эффект Вебера тоже не повторился.

Что же произошло?

По-видимому, установка Вебера не была достаточно защищена от внешнего «постороннего» воздействия. Во всяком случае обнаружено, что некоторые моменты, в которые антенна Вебера регистрировала приход волн, совпадают во времени с изменениями солнечной активности и магнитного поля Земли.

Первая атака оказалась неудачной, но она стала важным звеном планомерного штурма проблемы.

В том же 1971 году, когда Вебер закончил свои опыты, появилась в «Письмах в Журнал экспериментальной и теоретической физики» работа В. Б. Брагинского и М. Б. Менского. Она излагала способ, обещающий повысить чувствительность коротковолновых гравиприемников на восемь порядков по сравнению с антенной Вебера, то есть в сто миллионов раз. Этим новый метод гравиприема обязан принципиально новому подходу к проблеме. Измеряться должны не механические колебания твердого тела, а изменение свойств цуга — сгустка электромагнитных волн. Слово «цуг» — немецкого происхождения и означает запряжку лошадей гуськом, в две или три пары. Цуг волн в новом гравиприемнике должен быть пущен по круговому волноводу. Согласно законам общей теории относительности, гравитационная волна воздействует на волны электромагнитные. На одних участках волновода она их «подгонит», на других — «притормозит». Выразится это в изменении частоты электромагнитных волн и сдвиге их фазы. Если теперь правильно подобрать то и другое, в принципе можно изменить диаметр круга и время его обегания цугом так, чтобы это время было вдвое меньше периода колебаний гравитационной волны; наступит резонанс: на одних и тех же участках волновода цуг будет снова и снова ускоряться, на других снова и снова замедляться. Это и позволяет резко повысить чувствительность прибора. Резко, но пока недостаточно для приема предполагаемых гравитационных волн.

Теоретики — тут большую роль играют советские ученые, группирующиеся вокруг академика Я. Б. Зельдовича, — стали рассчитывать, какие именно волны, какой длины и всплесками какой продолжительности должны приходить на Землю от гравитационных источников разного типа. Такие расчеты были проделаны, например, для шарового скопления, содержащего примерно миллиард сверхплотных звезд (пульсаров, черных дыр). Гравитационные волны должны были излучаться при пролете звезд на близком расстоянии друг от друга и при их столкновениях.

Для приема излучения от такого скопления надо настроить детектор на частоту сто герц (длина волны — три тысячи километров). При этом чувствительность гравитационной антенны должна быть достаточной, чтобы зарегистрировать амплитуду колебаний в десять в минус шестнадцатой степени сантиметра за одну сотую секунды.

Самые мощные из предполагаемых источников гравитационных волн — черные дыры с массой в миллион или миллиард солнечных масс. Точнее говоря, не сами дыры, а процессы их образования, если схлопывание звезд имеет несимметричный характер, если вещество звезды устремляется к центру ее неравномерно с разных сторон. Но черные дыры — все-таки гипотетические объекты. То же относится к процессам, при которых они образуются. Реальнее рассчитывать на волны, идущие от нейтронных звезд, масса которых не может быть намного больше солнечной.

Гравитационные антенны придется изолировать не только от сейсмических и акустических шумов, но и от магнитных воздействий любого типа, и, что труднее всего, от тепловых шумов. Тут надо будет работать при максимально низкой температуре, в гигантских холодильниках.

Большие возможности открывает космос.

Надо вынести две массы, составляющие гравитационную антенну, за пределы атмосферы — конечно, на спутниках. Желательно на спутниках, свободных от сноса. Здесь длину антенны, расстояние между пробными массами можно сделать сколь угодно большой — скажем, размером с радиус земной орбиты или еще больше.

Такая антенна будет предназначена для свехдлинных гравитационных волн.

«Обычно экспериментаторы интуитивно отдают предпочтение лабораторным земным вариантам опыта по сравнению с космическими», — пишут по этому поводу В. Б. Брагинский и В. Н. Руденко. Причина понятна. Космические эксперименты дороги. Но в случае с гравитационными волнами и лабораторные эксперименты весьма недешевы. А на разработку надежных систем защиты от всевозможных шумов и необходимое повышение точности измерений в лаборатории требуется, по мнению оптимистов, минимум пять лет, чтобы стал реален «опыт Герца». Пессимисты увеличивают срок втрое. Между тем космическую антенну нужной чувствительности можно запустить в принципе в самое ближайшее время. Можно даже использовать космические станции обычного типа, то есть несвободные от сноса, расположив их соответствующим образом и применив изощренные методы отсеивания влияний, не относящихся к делу, с помощью расчетов.

Как ни велики надежды на космос, разрабатываются все новые наземные варианты антенн.

Так, в конце пятидесятых годов М. Е. Герценштейн указал вот еще на какую возможность. Свет и радиоволны, проходя через магнитное поле, должны порождать гравитационные волны. Причем эти волны имеют очень высокую частоту — ту же, что сами электромагнитные колебания, их породившие.

КПД превращения здесь значительно выше, чем в случае с механическими колебаниями. Например, энергия гравитационных волн, вызванных к жизни электромагнитным излучением звезд в межзвездных магнитных полях, должна быть меньше энергии электромагнитного излучения лишь в десять в шестнадцатой степени раз. Довольно «энергичны» должны быть и гравитационные волны, возбуждающиеся при проходе видимого и невидимого света через внутризвездное магнитное поле.

Во время термоядерных реакций в недрах звезд, в том числе и Солнца, постоянно возникает жесткое электромагнитное излучение. По дороге к поверхности звезды оно идет через ее магнитное поле — опять-таки появляются гравитационные волны.

То обстоятельство, что свет в магнитном поле может порождать гравитационные волны, открывает возможность создания их излучателя.



Тут появляется, в частности, — в очень далекой перспективе, конечно, — и возможность создания «гравитационного лазера». В обычных лазерах мы получаем очень узкие направленные пучки света. Гравитационные волны, порожденные таким лазером, тоже будут идти узким пучком. КПД превращения электромагнитных волн в гравитационные пропорционален квадрату напряженности магнитного поля и квадрату длины пути света в этом поле. Такая зависимость считается очень выгодной. Ведь каждый шаг вперед в усилении поля и увеличении его размеров дает эффект, возведенный в квадрат. Достаточно усилить напряженность поля в десять раз, и в сто раз большая доля энергии света перейдет в гравитационное излучение. А если при этом удастся в десять раз удлинить дорогу света через поле, то уже можно говорить в общей сложности о десяти тысячекратном увеличении. Но десять тысяч — это только десять в четвертой степени. Немного рядом с величинами, характеризующими гравитационные волны.

Но это все-таки один из путей, открытых науке. А может быть, удастся найти физические процессы, которые дадут гораздо больший КПД превращения света в волны тяготения?

Пока же ученые работают над использованием в гравитехнике уже известных процессов.

Сейчас появилось большое количество конкретных проектов гравитационных антенн на этой основе.

Л. П. Грищук и М. В. Сажин детально разработали проект излучателя, в котором колебания электромагнитного поля создают пучок гравитационных волн.

Казанские физики У. Х. Копвиллем и В. Р. Нагибаров уже давно предложили идею создания своего рода гравитационного лазера, где должны складываться вместе излучения десяти секстильонов элементарных источников. К сожалению, идея пока недостаточно разработана даже в чисто теоретическом плане.

А. А. Соколов, Д. В. Гальцов и Ю. В. Грац предлагают использовать для генерации гравитационных волн движение электронов в плазме...

Новые типы механических приемников и излучателей предлагаются В. Б. Брагинским и В. Н. Руденко.

Словом, идей много. И если до их конкретного воплощения в жизнь достаточно далеко и стоит это будет большого труда, то зато перспективы здесь необъятны.

...Простым глазом в самую звездную ночь увидишь в небе лишь несколько тысяч светящихся точек. Телескопы резко умножили число звезд, то же сделали затем радиотелескопы. И все-таки эта открывающаяся нам бездна, что звезд полна, должна быть полна ими в еще большей степени. Задумаемся вот над каким фактом. Мы видим только те космические тела, что светятся своим или отраженным светом, те тела, что посылают нам электромагнитные волны. (Радиозвезды в конце концов излучают те же электромагнитные волны, только другой, не световой частоты.)

Ну, а как быть с теми небесными телами, что еще не зажглись или уже погасли? Для нас они не существуют. Мы словно бродим по ночному лесу, видя в нем только гнилушки да светлячков. Слишком сильное сравнение? Наверняка. Но мы действительно видим на небе лишь то, что светится. Это, конечно, не вина наша, а беда.

Разумеется, по тончайшим деталям видимого движения звезд иногда удается узнать, не двойные ли они, может ли быть у такого-то светила планетная система. Тут помогает знание законов тяготения и небесной механики. Но отдельные солнца нашей Галактики разделяют такие чудовищные пространства, что ни Ньютон, ни Эйнштейн со всеми их законами не запретят существование в этих просторах темных звезд, не излучающих ни световых, ни радиоволн. Астрономы-теоретики даже рассчитали, какими могут быть эти таинственные звезды, предсказали их возможные массу, свойства, особенности; фантасты прикинули, как невидимые космические «несветила» будут мешать межзвездным путешествиям, что за жизнь возникнет на их вечно ночной поверхности.

Впрочем, дело тут не в фантастах. Может быть, нынешний звездный глобус будет скоро выглядеть еще более нанвно, чем доколумбовский земной глобус, обходившийся без трех частей света из шести возможных. Преображение звездного глобуса должна произвести гравитационная астрономия, которая, вероятно, когда-нибудь позволит разглядеть многие из звезд-невидимок.

Она же решит тем самым некоторые вселенские проблемы.

С 1933 года существует в астрономии «парадокс Цвикки», «парадокс скрытых масс». Суть его вот в чем. Масса каждой галактики связана с ее светимостью.

По тому, сколько света исходит от галактики (или скопления галактик), высчитывают, разумеется, примерно, ее массу. Но ту же самую массу можно определить и другим способом — по скоростям обращения звезд, расположенных на разных расстояниях от центра галактики. Последний метод должен быть более точным, поскольку на движение звезды в галактике влияет именно притяжение, масса остальных объектов этой большой звездной системы.

В первом случае учитываются только видимые объекты, во втором — все.

Разница в результатах, полученных первым и вторым методом, никак не может быть объяснена неточностью вычислений. Масса галактики (или группы галактик), определенная по движению звезд, может быть и в два, и в десять и в сто раз больше, чем масса, определенная по светимости.

Каких только гипотез не выдвигают для разрешения парадокса Цвикки! Пересматривают плотность межзвездного газа. Предлагают считать, что группы галактик очень быстро расширяются (и верно: при этом «парадокс скрытых масс» снимается).

Предполагают, что видимые части галактик на самом деле лишь центральные их области, окруженные далеко за принятыми ныне их пределами межзвездным газом, масса которого и объясняет эффект. И т. д. и т. п. Однако достаточно давно выдвигалась идея о том, что скрытые массы составлены просто-напросто несветящимися звездами, возможно, гораздо меньшими, чем Солнце.

Последняя гипотеза, можно сказать, напрашивается. И все-таки особой популярностью она не пользуется. Причина проста — ее нельзя проверить. А наша наука слишком прочно, пожалуй, покоится на фундаментальных принципах тех же Галилея и Ньютона да еще Френсиса Бэкона, требующих эксперимента, проверки. Ну как исследовать проблему, которую нельзя решить ни наблюдением, ни расчетом? Ученые в аналогичных случаях нередко предпочитают изучать менее вероятные предположения, если есть зато возможность их проверить.

Вот тут гравитационная астрономия тоже скажет свое веское слово. Конечно, не сразу. Сначала ее техни-

ка, вероятно, позволит исследовать только мощные процессы взрывного типа. Но ведь лиха беда — начало!

Не менее, если не более важно, что гравитационные волны сообщат нам самые интимные подробности внутреннего строения Солнца, ведь оно для этих волн прозрачно. Значит, гравитационное излучение, возникшее при перемещении внутрисолнечных масс и движениях электромагнитных волн через поле Солнца, до нас дойдет. Дойдут до гравиприемников и те гравитационные волны, что пришли со стороны и по дороге пронизали Солнце. По тому, как подействовало на таких «транзитников» поле Солнца, можно будет составить об этом поле реальное представление.

А там за «опытом Герца» должна прийти очередь «опыта Попова».

## ТЯГОТЕНИЕ, РАБОТАЙ!

Есть что-то приторное в заявлениях, будто наука обгоняет фантастику, разве что следует рассматривать такие заявления, как сугубо риторические, которым не верят и сами их авторы. Функция фантастики, ее прямое назначение — опережать науку, заглядывая в будущее. Выполнить такое назначение тем легче, что на будущее-то научная фантастика смотрит с высоко поднятых вверх ладоней своей кормилицы-науки.

Есть, однако, по крайней мере один случай, когда фантастика не угнала за наукой. Радио как средство связи не было угадано писателями. И Жюль Верн с запоздалой торопливостью вставил его в один из своих романов уже спустя достаточно много времени после открытия Александра Попова. Уж больно, наверное, антинаучно звучал бы до 1895 года рассказ о связи на многотысячекилометровом расстоянии без проводов... Открытие радио развязало фантастам руки, освободило еще одно направление для путешествий воображения. И о гравитационной связи, связи на гравитационных волнах писали уже не раз. Часто, впрочем, принимая при этом, что скорость их много выше скорости света. На самом деле скорость гравитационных волн равна скорости света, и, значит, выигрыша во времени тут по-

лучить не удастся, но во многих других отношениях грависвязь должна иметь огромные преимущества перед радио.

Ну, во-первых, для радиоволн практически непроницаемы многие твердые тела и жидкости. А гравитационные волны не знают серьезных преград. Они глубоко проникают в тела звезд и планет, способны проходить сквозь них, как свет проходит сквозь стекло.

В современной радиоволновой технике одна из главных, если не просто главная задача,— борьба с помехами связи; так называемая магнитная буря и даже обыкновенная гроза способны доставить массу неприятностей радистам. Ученые, занимающиеся проблемами радиосвязи, утверждают, что большая половина сил в их области деятельности уходила и уходит на защиту аппаратуры от помех все новыми и новыми способами. И хотя успехи тут достигнуты немалые, но решить эту проблему до конца, по-видимому, просто невозможно; такова уж природа радиоволн, а с природой не поспоришь.

Гравитационные волны от природы помехоустойчивы — идеальное в этом смысле средство связи на любом расстоянии. И недаром же у многих физиков вызывают скептическое отношение попытки связаться с внеземными цивилизациями на радиоволнах: на нашей планете радиосвязь существует всего восемьдесят с небольшим лет, и никак нельзя поручиться, что при стольких-то недостатках она продержится хотя бы еще восемьдесят лет; конечно, при условии, что ей найдется замена. Может быть, у цивилизаций в других мирах срок временного пользования радиосвязью был еще короче, поскольку они овладели связью гравитационной.

Не исключено, что мы сначала научимся передавать и принимать искусственно созданные гравитационные волны, а уже потом создадим гравитационную астрономию, о которой шла речь в предыдущем разделе.

Но тогда дело дойдет обязательно и до попыток поймать идущие от внеземных цивилизаций сигналы на гравитационных волнах. Уже опубликованы некоторые интересные проекты, посвященные проблеме организации таких попыток. Например, советский ученый Л. Х. Ингель поместил в «Астрономическом журнале» статью, в которой предложил использовать эффект фокусировки

гравитационных волн для облегчения их приема \*. В качестве гигантской линзы выступает здесь само Солнце, и оно способно преломить гравитационные волны, как стеклянная линза преломляет лучи света. Гравитационные волны материальные, они обладают массой, стало быть, искривленное Солнцем пространство-время должно искривлять и их путь через само Солнце, как искривляет оно лучи света.

В пучке гравитационных волн, проходящем через Солнце, волны по-разному отклонятся от своего прежнего пути в зависимости от того, через какие участки нашей Дневной звезды они идут. Поток гравитонов, пересекший центр светила, так и останется прямым — сила тяжести в центре Солнца равна нулю. Но чем дальше от этого центра к краю, тем сильнее отклонятся гравитоны. И параллельный пучок гравитационных волн окажется в конечном счете сфокусированным. Ингель нашел и место фокуса. По его расчетам, гравитационные волны, в прошлом параллельные, соберутся в одну точку в сорока миллиардах километров от Солнца. Много это или мало? С одной стороны, это расстояние равно миллиону земных экваторов. С другой стороны, еще Маяковский отметил, что «даже до луны расстояние советскому жителю кажется чепухой», а с тех пор, как были написаны эти строчки, земляне вообще привыкли не удивляться астрономическим цифрам. Миллион экваторов в такой ситуации — размер, мало что говорящий не астроному. Остается сказать, что радиус орбиты последней (во всяком случае — последней большой) планеты в нашей Солнечной системе — Плутона — примерно шесть миллиардов километров. Итак, «гравитационный фокус» Солнца находится на расстоянии всего лишь в шесть и шесть десятых раз больше.

Прикинем: Луна (расстояние триста восемьдесят тысяч километров) достигнута «безлюдными» ракетами в начале шестидесятых годов, Марс в конце шестидесятых, человек высадился на Луне в 1968 году, на Марсе высадится, по-видимому, в восьмидесятых годах. Ей-ей, не так уж далеко при таких темпах и до Плутона и до гравитационного фокуса — точнее, до воображаемой сферы, на которой размещены точки таких фокусов.

\* О возможности фокусировки гравитационных волн писал еще Эйнштейн.

Солнце, как известно достаточно точно, круглое. Оно одно может служить линзой для любых пучков гравитационных волн, из каких бы точек небосвода эти волны ни приходили к нему. Место фокуса на сфере радиусом в сорок миллиардов километров будет, конечно, меняться в зависимости от того, откуда именно придут сигналы. Пункт, на который придется фокус, сможет найти космический корабль с Земли с гравитационным приемником на борту.

Точно так же, как в случае с радиоволнами, такой способ приема космических сигналов фантастика предложить не успела. Как не успела она предложить и построенный по тому же принципу «эксплуатации» Солнца способ передачи гравитационных волн. Надо «просто» поставить на тот самый корабль, что обнаружил очередную точку гравитационного фокуса, гравипередатчик и из этой самой точки отправить гравитационный волновой сигнал к Солнцу. Все произойдет в обратном порядке. Пучок гравитонов по дороге несколько разойдется. Солнце сделает его почти параллельным, отклонив волны с их прежних путей. Вырвавшись из Солнца, гравитоны устремятся к той самой звезде, которая послала нам свой сигнал: неведомый наш корреспондент окажется найденным, так сказать, автоматически.

Конечно, законы физики заставят пучок гравитационных волн слегка расходиться по дороге через космическое пространство, но, согласно выводам Ингеля, для пучка диаметром в тысячу километров такое расхождение не станет серьезным на расстоянии порядка десяти тысяч световых лет. Ближайшая к нам звезда находится всего в четырех целых и трех десятых светового года от Земли, а расстояния до самых дальних звезд нашей Галактики составляют примерно сто тысяч световых лет. Значит, так мы сможем связаться со значительной частью «местных» звездных систем при условии, что в них есть цивилизации, освоившие гравитационную связь. А если дело обстоит именно так, то их дежурные корабли давно совершают патрульные полеты по сфере гравитационного фокуса своих солнц.

Конечно, размеры такой сферы даже страшно себе представить, как страшно и подсчитывать количество космических аппаратов, потребных для ее патрулирования. Даже если учитывать расположение звезд, откуда

можно ждать сигналов. Страшно потому, что это относится и к соответствующей солнечной сфере. И все-таки... Раз сегодня ученые придумывают такие вещи, послезавтра они сумеют воплотить их в жизнь, если не найдут чего-то лучшего.

Солнце в роли ретранслятора (со всеми оговорками насчет неточности сравнения), Солнце в роли почтальона, направляющего послание по адресу, Солнце в роли... ряд сравнений можно продолжить. И все эти роли оно сможет играть не потому, что согревает и освещает Землю, а только в силу того, что обладает большой массой и соответственно мощным тяготением. Остается добавить, что здесь говорилось в связи с гипотезой Ингеля о поведении в гравитационном поле светил именно гравитационных волн постольку, поскольку это вдвойне отвечало теме данной книги. Но сам Ингель указывает, что совершенно аналогичные явления происходят при проходе через Солнце пучка нейтрино — конечно, потому, что нейтрино тоже идут через пространство-время, искривленное огромной массой Солнца.

Связь с помощью радиоволн — лишь малая часть того, что получило человечество, овладев электромагнитной энергией — тем, что в просторечии зовется электричеством. А как будет с гравитацией?

Представим себе только: найдя путь к использованию тяготения, мы откроем для себя самые большие энергетические «залежи» из возможных; мало того, «залежи» высшей формы энергии, легко превращаемой в другие, низшие формы. Конечно, это будет поначалу, наверное, дорогая энергия, и она не вытеснит — во всяком случае сразу — из нашей жизни тепловых и гидростанций, как не сделал это сам атом. Но у гравитационной энергии не должно быть тех недостатков, что так характерны для атомной.

Когда же здесь будут сделаны хотя бы первые шаги?

Артур Кларк в книге «Черты будущего» дал список будущих побед человечества над природой — с примерными датами. Он «назначил» там открытие гравитационных волн на 1980 год, а овладение гравитацией отнес на конец XXI столетия. Ныне покойный академик АН УССР А. З. Петров, тогда председатель гравитационной комиссии АН СССР, заведующий отделом теории относительности и гравитации в Институте теоретической физики в Киеве, соглашался с первой частью этого



прогноза и не поддержал вторую; вряд ли, по его мнению, физика так долго будет овладевать гравитацией. Стоит оглянуться на сравнительно недавнее прошлое взаимоотношений науки фундаментальной и прикладной, чтобы увидеть, подчеркивал советский ученый, как сокращается время между открытием научного принципа и моментом, когда созданный на его основе прибор входит в жизнь. И действительно, телефонная связь ждала своего часа пятьдесят лет. Радиопередатчик Попова отделен от опытов, в которых Герц обнаружил радиоволны, всего семью годами. Физики не захотят откладывать управление гравитацией на столетие. Ключ к нему Петров видел в открытии гравитационных волн: «Уверен, что сегодня никакие фантасты не смогут предсказать тех гигантских изменений, что придут в технику с экспериментальным обнаружением гравитационных волн».

Использование энергии тяготения в космосе прямо-таки напрашивается. Скажем, для того, чтобы добраться до планет, есть прямой смысл заставить космический корабль по дороге с какого-то момента надать на Солнце с выключенными двигателями. Естественно, поскольку корабль движется относительно Солнца, он будет надать на него точно так же, как «падает» на Солнце наша Земля, то есть попросту начнет двигаться вокруг Солнца по эллиптической траектории, станет планетой Солнечной системы, только искусственной. Требуется предварительно рассчитать его орбиту так, чтобы в какой-то точке она подошла максимально близко к планете назначения, в этой точке на корабле снова включат двигатели. Весь промежуточный участок пути будет пройден за счет гравитационной энергии Солнца.

Разработал эту схему еще в 1920-е годы немецкий ученый В. Гоман. Сегодня автоматические космические корабли к Венере и Марсу летят именно по таким «ленивым» траекториям. «Солнечный зонд», о котором говорилось выше, в середине восьмидесятых годов для того, чтобы поближе подобраться к Солнцу, использует гравитационное поле Юпитера.

Довольно нескоро человечество, видимо, сможет позволить себе тратить на кораблях горючее в таких размерах, чтобы они летели к планетам напрямик. Но сам принцип «утилизации» по пути бесплатной и ничего не весящей энергии тяготения будет, очень возможно,

использован в межзвездных полетах. Вот описание такого способа дальних полетов из рассказа Михаила Пухова — не только фантаста, но и физика: «Вы когда-нибудь видели бильярд? Вот и прекрасно. Карамболем называют сложный удар, при котором биток, прежде чем коснуться мишени, задевает промежуточный шар. Или несколько промежуточных шаров. А мы пользуемся этим термином для полетов с гравитационным разгоном и поворотом... Первые такие рейсы выполнялись еще в XX веке, когда облет Венеры или Юпитера по пути к другим планетам позволял набрать лишнюю скорость и сберечь топливо. Потом этот маневр временно умер, чтобы возродиться при первых полетах к звездам. Правда, задача карамболя изменилась. Раньше он применялся в основном для увеличения скорости, теперь для изменения ее направления».

Смысл маневра в том, что чудовищное поле у нейтронной звезды или черной дыры искривляет пространство так, что в нем искривляется на определенный угол и путь летящего по инерции корабля. «Экономится уйма энергии и вещества».

Но это, так сказать, напрашивающееся транспортное использование гравитационной энергии, недаром принципиально ее начали разрабатывать так давно.

Трудно предсказать, как именно удастся черпать гравитационную энергию для общепроизводственных, что ли, целей. Однако проекты гравитационных генераторов время от времени появляются. Взгляды некоторых ученых уже сейчас обращаются к черным дырам. Разумеется, прежде всего к маленьким, «удобным в обращении», портативным.

Вот один из проектов добычи энергии из черной дыры. Минидыру надо доставить поближе к Земле и сделать ее спутником. Для этого космический корабль должен будет подойти к черной дыре достаточно близко, чтобы гравитационная связь между ними стала прочной, а затем двинуться к Земле, держа за собой на буксире тяготения будущий «энергетический спутник» Земли. После того, как черная дыра займет на околоземной орбите отведенное ей место, космический корабль отправится выполнять новое задание, а на расстоянии сотни метров от минидыры на ее орбите появится искусственный спутник-автомат, который будет обстреливать свою соседку маленькими шариками. Каждый из них при

падении в чудовищном гравитационном поле звезды нагреется до нескольких десятков миллионов градусов. Это вызовет в шариках термоядерную реакцию. Большая часть их вещества в результате будет выброшена из черной дыры в виде газа с огромным электромагнитным зарядом. На борту космического автомата (того же, что бросает шарики, или другого) размещен генератор с обмоткой, в которой газ этот вызовет мощный электрический ток. Дальше энергия передается в виде потока микроволн на огромные антенны, установленные на Земле.

Идея, достойная фантастического рассказа! Однако проект разработан не более и не менее как Комиссией по атомной энергии Соединенных Штатов Америки. Энергетический кризис заставляет искать самых экзотических путей выхода из него.

Поиск минидыр, если они есть, станет (а вдруг?!) такой же важной отраслью земного хозяйства; как сегодня разведка нефти. Впрочем, по расчетам получается, что всего одна минидыра даст достаточно энергии, чтобы надолго обеспечить ею человечество. Но ведь мы выходим в космос, и потребность в энергии будет все расти и расти.

Ну, а как насчет создания в будущем антигравитационных систем, так называемых гравитационных двигателей и личных антигравитаторов? Уж очень соблазнительно помечтать вместе с Уэллсом, Артуром Кларком и другими фантастами о космических кораблях, обходящихся без дюз, о силовых полях, которые переносят по Земле потоки грузов, о способах, которые позволят человечеству экономить ту четверть вырабатываемой на Земле энергии, что приносится в жертву тяготению. Если даже и не сэкономить энергию (двигатель на то и двигатель, каков бы он ни был, чтобы ее потреблять), то во всяком случае сделать гораздо удобнее и космические полеты и перевозки.

Будущее — на него, наверное, можно положиться. Оно осуществляет то, о чем мечтает настоящее. До сих пор те пророки техники реже всего попадали впросак, которые делали оптимистические предсказания — при условии, что эти предсказания были достаточно общими. Мы восхищаемся Роджером Бэконом и Леонардо да Винчи за то, что те предвидели авиацию, и досадливо пропускаем строчки, в которых их летающие машины

машут крыльями. Всякая точность пророку противопоставлена — и не только в технике. Но автор этой книги не собирается выступать в роли предсказателя. Поэтому стоит поговорить о гипотетических путях подлинного покорения тяготения, заранее отдавая себе отчет в том, что наука почти наверняка выберет себе иные конкретные дороги.

Прежде всего общая теория относительности разрешает создать систему, в которой одно тело будет отталкиваться от другого примерно так, как две катушки с током, вращающиеся в разные стороны, отталкиваются друг от друга. К сожалению, до сих пор экспериментальная техника была бессильна хотя бы заметить это отталкивание — так ничтожен эффект даже в том случае, когда материал этих тел, будь то самая твердая сталь, почти разрушается под действием центробежной силы. Раскрутить два шара или два диска до такой степени, чтобы сила отталкивания победила и верхний из них взвился над планетой, теория гравитации позволяет. Теория прочности — нет.

Не исключено, что такие материалы когда-нибудь все-таки создадут, и антигравитация станет реальностью. Но кажется, что если антигравитационный двигатель будет создан, то не таким прямым путем. Наука, как хороший полководец, редко решает проблемы такого рода атакой «в лоб»; прямой путь тут самый трудный, надо искать обходные, бить по слабым местам. Предсказывать сейчас, где их найдут ученые, — вещь рискованная. Однако один из возможных — пусть фантастических пока — путей можно увидеть в гипотезе о возможности существования отрицательной массы.

## МАССА СО ЗНАКОМ МИНУС

**М**ного у тяготения загадок, но одна кажется особенно вызывающей. Все известные тела только притягиваются друг к другу. Мы не знаем случаев, когда гравитационное взаимодействие проявлялось бы в отталкивании тел. Не знаем — и все. Некоторые, хотя бы слабые, надежды в этом смысле отдельные ученые возлагают на антивещество.

Антивещество, как известно, отличается от вещества тем, что в нем заряды сменили свой знак. Электромаг-

нитный, барионный и иные заряды, характеризующие атом, у антивещества — в сравнении с веществом — становятся из отрицательных положительными и наоборот. Хотя большинство физиков не считает, что аналогичная пертурбация имеет место и в случае гравитационного заряда, но проверить это просто необходимо.

Античастицы уже научились получать на мощных ускорителях. Требуется получить их достаточно и так организовать эксперимент, чтобы увидеть, как они отклонятся в поле земного тяготения. Пойдут вниз — значит, и у них гравитационный заряд положителен. Но вот если отклонятся вверх... Такие эксперименты готовятся.

*...Материалистическое мировоззрение означает просто понимание природы такой, какова она есть, без всяких посторонних прибавлений...*

*Фридрих Энгельс*

Но пока где же она, отрицательная гравитация? Ответов несколько. Самый простой и, пожалуй, самый по духу традиционный из них объясняет отсутствие тел с отрицательной тяжелой массой исторически. Они родились из предполагаемого «первоайца» вместе с обычными телами. Но, подгоняемые силами отталкивания, давно разлетелись из пределов наблюдаемой части Вселенной или равномерно рассеялись по Вселенной. Метагалактика и сама-то разбегается, причем скорость этого разбегания, как мы видим, умеряется взаимным притяжением ее составных частей. А тела с отрицательной массой только разгонялись.

Второй ответ парадоксален, причем парадоксален уж очень наглядно.

У каждого тела две массы, равные друг другу, — тяжелая и инертная. Представим себе, что обе они поменяли свой положительный заряд на отрицательный. Теперь рассмотрим, как будет себя вести отрицательная инертная масса при отсутствии (конечно, невозможном на самом деле) массы тяжелой.

Вы толкаете тело, и оно ответит вам движением в вашу сторону, тем более быстрым, чем сильнее был толчок. А чтобы остановить такой предмет, его придется подталкивать сзади...

Первый закон механики Ньютона будет полностью справедлив и для поразительного вещества с инертной

антимассой, только действие силы будет проявляться «не в ту сторону». Забавно, наверное, было бы побывать — хоть в фантастическом рассказе — на планете, где все происходит по первому антизакону механики Ньютона (или первому закону антимеханики).

Если здесь дверь в доме открывается внутрь, ее надо тянуть к себе при входе и толкать от себя при выходе из дома.

Представим теперь себе космическое тело, наделенное сразу отрицательной тяжелой и отрицательной инертной массой. Тяжелая масса его отталкивается от обычного космического тела, но «наоборотная» инертная масса реагирует на отталкивание по-своему, обращая его снова в притяжение. Результат: отрицательный гравитационный заряд проявляет себя точь-в-точь как положительный. Поди теперь определи, какая звезда или планета в самом деле имеет отрицательную массу...

Профессор Нью-Йоркского университета Б. Хоффман предполагает, что положительная масса может превращаться в отрицательную при потере большого количества энергии в виде гравитационного излучения. Но если под сомнением находится сама отрицательная масса, то еще сомнительней превращение в нее массы положительной.

Все это, конечно, сугубо абстрактные примеры. Между тем с возможностью существования (принципиального) отрицательной массы связана ведь возможность ее искусственного создания (пока — весьма проблематичная возможность, которая проходит скорее по ведомству научной фантастики). А единственный путь к кэйвориту, который можно хотя бы представить — по аналогии с изоляцией от электромагнитного заряда — видится в создании слоя вещества, в котором положительным массам противопоставляются отрицательные\*. Мечта же о кэйворите, по мнению академика А. З. Пет-

---

\* Вещество (или поле), непроницаемое для тяготения, придется поддерживать в этом состоянии постоянной подкачкой энергии, иначе мы и вправду столкнемся с вечным двигателем. Любое тело, оказавшееся над таким веществом (полем), начнет подниматься и сможет затем при падении выполнить определенную работу. А для того, чтобы ввести экран, отделяющий от Земли тело, которое мы хотим «обезвесить», придется обязательно совершить определенную работу. Это неизбежно. Законы природы можно использовать, отменять их нельзя.

рова и некоторых других ученых, вполне осуществима, в будущем, конечно.

Артур Кларк в своих «Чертах будущего» сформулировал полушутливый «Закон Кларка»: «Когда выдающийся, но уже пожилой ученый заявляет, что какая-либо идея осуществима, он почти всегда прав. Когда он заявляет, что какая-либо идея неосуществима, он, вероятнее всего, ошибается». «Пожилой возраст» применительно к физикам для Кларка означает просто: «после тридцати лет». А «положительные» высказывания о кэйворите принадлежат ученым, которым было в момент такой оценки значительно больше тридцати.

Надо, конечно, оговориться, что «единственный путь, который можно хотя бы представить», и путь, на котором в дальнейшем действительно находится решение, далеко не всегда совпадают, когда доходит до дела.

Существование отрицательной массы поставило бы науку перед рядом серьезнейших проблем. То, что при этом оказались бы возможны (не будем входить в подробности, почему именно) температуры ниже абсолютного нуля,— мелочь рядом с путаницей, которая может возникнуть с самым важным научным законом, гласящим, что причина всегда предшествует следствию.

Вероятнее всего, что именно к возможности отрицательной массы и придется отнести слово «никогда» в заголовке последнего большого раздела книги. Весьма вероятно также, что оно относится и к гипотетическим объектам, ставшим предметом следующей главы — тахионам, частицам,двигающимся быстрее света. Тахионы как будто не имеют прямого отношения к проблеме гравитации. Правда, в некоторых сомнительных гипотезах гравитации их привлекают для объяснения «причины тяготения». Частицы «тахионного газа» играют роль придуманных Лесажем и упомянутых в первом разделе книги частиц, подталкивающих тяготеющие тела друг к другу.

Однако современная, разрабатываемая десятками физиков гипотеза тахионов родилась на фундаменте специальной теории относительности, а та ведь очень тесно связана с теорией гравитации.

Главное же — «сверхсветовые» экскурсии физиков, даже если они приведут в тупик, показывают возможности современной теории, в частности ее умение обо-

дить ею же установленные запреты. Опять-таки в этом разделе мы заглядываем в будущее, а уж к этому процессу предположение о тахионах, верно оно или неверно, со всей очевидностью имеет отношение.

## БЫСТРЕЕ ВРЕМЕНИ?

**В**ернемся снова к «парадоксу парадоксов» Нильса Бора: великая истина — это истина, противоположность которой — также великая истина.

Теория относительности Эйнштейна решительно утверждает: по мере приближения скорости любого «предмета» — от элементарной частицы до звездолета — к скорости света масса этого «предмета» будет расти в такой степени, что один какой-нибудь атом может достичь массы целой галактики. Да и как же иначе, если со скоростью растет энергия, а следовательно, и масса тела.

Итак, скорость света в природе — предел всех возможных скоростей. Роль этого положения для наших представлений о мироздании невозможно переоценить. Недаром же световыми годами исчисляют земные ученые расстояния до звезд и галактик. И именно в «световой барьер» упираются даже в самых смелых расчетах будущие скорости любых будущих космических кораблей.

...В древности верили, что где-то на краю света стоит столб с надписью «дальше некуда». По отношению к возможной скорости путешествий в космосе ту же роль играет положение теории относительности о предельности скорости света. Именно оно заставляет астрономов с грустью говорить о годах пути до ближайших звезд и многих тысячелетиях, которые пройдут в дороге к звездам дальним. Из этого же положения следует немалое число парадоксов, но дело сейчас не в них. Современная физика сумела как будто перехитрить сама себя. Едва физики успели сделать общепринятым запрет на сверхсветовые скорости, как им (конечно, не всем физикам) понадобилось атаковать этот запрет. И самое, пожалуй, парадоксальное, что атакуют они его, как уже говорилось, под знаменем той теории относительности, которая сама же запрет ввела.

Теоретики, поддерживающие идею о тахионах, позволили себе по-новому посмотреть на ситуацию. Частица



не может «перешагнуть» через световой барьер? Да, это правило остается неколебимым. Но почему бы не представить себе, что есть в нашем мире частицы, которые с самого начала своего находятся уже по другую сторону этого барьера, частицы-аристократки, наделенные от рождения сверхсветовой скоростью, недоступной всяким там протоном, электронам, сигма-минус гиперонам и прочим плебсам обыденного физического мира?!

Для этого предположения не понадобилось так уж много фантазии. Ведь еще в школе мы знакомимся с частицами, от рождения наделенными способностью двигаться со скоростью света. Это кванты электромагнитной энергии, к числу которых принадлежат и частицы видимого света — фотоны, и радиоволны и т. д. «Зато» такие кванты не могут двигаться ни с какой другой скоростью, а в состоянии покоя (будь оно для них возможно — как будто можно остановить на лету луч света, сохранив его при этом) фотоны и их родственники не имеют массы вообще: как выражаются физики, масса покоя фотона равна нулю. Вот какую цену приходится платить за достижение светового барьера! Цена за «жизнь» по другую сторону этого барьера еще дороже. Сверхсветовые частицы обречены существовать (если, конечно, они существуют) с массой, представляющей собой мнимую величину. Когда школьная алгебра сообщала нам о том, что нельзя извлечь корень квадратный из отрицательного числа, а потому все числа, в состав которых в качестве множителя входит пресловутое  $i$  (корень квадратный из минус единицы), — мнимые, это, оказывается, имело, неведомо даже для авторов учебников, прямое отношение к проблеме сверхсветовых скоростей.

Мнимость величины массы за световым барьером не стала у теоретиков непреодолимым препятствием для самого существования сверхсветовых частиц. Больше того! По мнению доктора физико-математических наук В. Барашенкова, теория относительности не только не запрещает существование частиц, движущихся со сверхсветовыми скоростями, она оказывается без этих частиц неполной, односторонней (как елка, пушистая лишь с одного боку).

Первые предполагаемые жильцы области за световым барьером свое имя тахионов получили от греческого «тахис» — быстрый. Их довольно подробно описали,

составив длинный список особых примет. И приметы эти, действительно, чрезвычайно особые. Даже у пресловутых античастиц куда меньше отличий от частиц обычных. Посудите сами. Досветовые частицы с ростом энергии увеличивают свою скорость. Тахионы как раз наоборот. Они тем быстрее, чем меньше энергии содержат. Грубо говоря, если тахионы «подталкивать», добавляя энергии, они будут тормозиться; напротив, попытка остановить их, отнимая энергию, приведет к увеличению скорости. Достаточно чуть подумать, чтобы понять: иначе и быть не может. Для тахионов световой барьер также непреодолим, как для знакомых нам тел, только непреодолим «сверху». Обычным частицам мешает перемахнуть через него то обстоятельство, что с приближением к барьеру фантастически вырастает масса-энергия частиц; то же должно происходить и с тахионами при их приближении к скорости света, только они ведь идут к ней «тормозя», и именно замедление тут требует энергии.

Мало того, возможна ситуация, в которой тахион окажется частицей с отрицательной кинетической энергией. Это уже страшнее, чем мнимая масса. Потому что всякое тело, рождающее тахионы и теряющее их, будет тем самым все набирать и набирать энергию, черпая ее буквально из ничего. Тем самым в наше распоряжение поступит что-то вроде вечного двигателя, но он, увы, запрещен законами природы. Теоретики, занимающиеся тахионами, сумели, правда, найти способ, благодаря которому тахионы можно всегда считать частицами с положительной энергией и их источник вечным двигателем не окажется.

*Как известно, драконов не существует. Эта примитивная констатация может удовлетворить лишь ум простака, но отнюдь не ученого... Имеется три типа драконов — нулевые, мнимые и отрицательные. Все они, как было сказано, не существуют, однако каждый тип — на свой особый манер.*

*Станислав Лем*

Все это перечисление «особых примет» было только подступом к главному последствию, вытекающему из существования тахионов. Последствию, которое должно коснуться самих основ физического мира. Речь идет о причинно-следственной связи.

Причина предшествует следствию — это один из глубинных законов природы. Человек сначала спотыкается, потом падает. Пуля вылетает из винтовки после того, как боек ударил по капсюлю, а не наоборот. Чтобы вырос колос, в земле должно быть зерно. Впрочем, чего стоят эти три примера рядом с мириадами других, предлагаемых самой жизнью каждому из нас. Ни одна из сотен элементарных частиц, открытых или придуманных (или то и другое) физиками, не посягала на бесспорную справедливость того, что причина опережает во времени следствие. Но тахион и тут оказался исключением. Дело в том, что он может двигаться во времени из будущего в прошлое!

По реке Времени нельзя плыть против течения, как нельзя в ней и остановиться. Но всему нельзя, а тахионам, выходит, можно?

Физики предприняли, правда, грандиозную операцию то теоретическому укрощению тахионов. Операцию, название которой проще всего перевести на русский язык словом «переистолкование». Барашенков пишет об этой операции так: «При любом взаимодействии частица, имеющая отрицательную энергию и движущаяся в конечном (начальном) состоянии реакции обратно во времени, должна интерпретироваться как соответствующая античастица, имеющая положительную энергию и движущаяся вперед во времени в начальном (конечном) состоянии реакции».

Именно так удалось решить проблему отрицательной энергии. Но для того, чтобы абсолютно надежно закрыть дорогу в прошлое, это решение годится далеко не во всех случаях. Можно представить себе эксперимент, в котором при взаимодействии тахионов с атомами мы все равно увидим следствие, предшествующее причине, и теоретические ухищрения от такого положения не спасут.

Позволим себе простую аналогию. Когда мы видим киноленту, в которой боксер вначале лежит на ринге (причем рефери ведет счет от десяти до одного), потом он вскакивает, получает удар в челюсть, сам наносит удар, то мы можем заявить, что лента пущена в обратном порядке и никакого чуда здесь нет. Но если мы вдруг увидим то же самое на ринге «живьем», без посредничества кинокамеры, то придется признать, что время для нас течет в обратном направлении — по сравне-

нию с боксером. Так вот, можно поставить эксперимент, где, условно говоря, боксер сначала упадет, а потом получит удар. И это будет реальностью... если реальны тахионы и реальна возможность их реакции с атомами.

Если построить два тахионных приемопередатчика, обменивающихся между собой сигналами, то сигнал первого из них придет ко второму до того, как первый будет включен. А второй приемопередатчик отправит ответный сигнал, который будет принят опять-таки прежде, чем он был послан. Образуется петля времени, сотни раз описанная в фантастике. Старый вопрос софистов и схоластов: что раньше — курица или яйцо — неожиданно приобретает вполне реальный физический смысл, во всяком случае в теории.

А достаточно допустить нарушение причинно-следственной связи в случае с тахионами, чтобы признать эту связь по меньшей мере не такой простой и ясной, какой она до сих пор представлялась. В последние годы была выдвинута, например, гипотеза, что наряду с опережающей причинностью в мире может действовать и причинность запаздывающая, когда следствие предшествует причине. Другая гипотеза предлагает в некоторых случаях вообще не прибегать к понятию о причинах и следствиях. В. Барашенков пишет о возможности процессов, в которых одно и то же явление в зависимости от системы координат, в которой оно рассматривается, может выступать и как причина, и как следствие. И вообще при сверхсветовых скоростях прошлое и будущее не противостоят друг другу, их можно противопоставлять так же условно, как в обыденной жизни условно мы противопоставляем правое и левое.

Есть такая любопытная формула, которую не так уж редко вспоминают: «Прошлое — то время, в котором мы ничего не можем изменить, но относительно которого питаем иллюзию, что знаем о нем все. Будущее — время, о котором мы не знаем ничего, но питаем иллюзию, что можем его изменить. Настоящее — граница, на которой одни иллюзии сменяются другими». Если сверхсветовые скорости возможны, то представление о неизменности прошлого может оказаться под угрозой. А почему, собственно, под угрозой? Ведь в прошлое в самом крайнем случае оказываются способны проникать только сверх-

световые частицы (и тела?!). Машина времени в качестве экипажа с пассажирами и в этом случае по-прежнему продолжает проходить только по ведомству фантастики: ведь мы уже выяснили, что световой барьер и в новой ситуации остается непреодолимым.

*Время окончательно потеряло надо мной свою власть. Оно потекло в разные стороны, иногда даже в противоположном направлении.*

Валентин Катаев

Как решить парадоксы, связанные с путешествием в прошлое? Может быть, стоит вспомнить, что некоторые научные парадоксы являются отражением реальных диалектических противоречий природы? Недаром в одном фантастическом рассказе, повествующем о путешествии в прошлое, герои вспоминают знаменитый еще в античную эпоху парадокс, известный под именем апории об Ахиллесе и черепахе.

Положим, быстроногий Ахиллес бсжит за черепахой, отделенной от него ста метрами (метры — это чтобы «осовременить» античность). Черепаха движется вдесятеро медленнее Ахиллеса. Он пробежит эти сто метров, а черепаха за то же время проползет еще десять метров. Он перемахнет и эти десять, а черепаха одолеет еще один метр. Ахиллес — метр, черепаха — десять сантиметров, он — дециметр, она сантиметр и так далее. Расстояние между ними будет все меньше и меньше, но никогда не окажется равно нулю. Смешно, правда? А между тем древнегреческий ученый Зенон, первый сформулировавший этот парадокс, уловил здесь, как полагают современные ученые, одно из действительно существующих противоречий реальности. До сих пор в специальных философских и математических журналах появляются научные статьи, посвященные этому парадоксу и противоречию, которое он отражает. Иногда пишут, что если на пути научного мышления встречается парадокс, он должен быть разрешен, снят, так или иначе заменен истинами, не ведущими к неразрешимым противоречиям. Сделать это удастся далеко не всегда, недаром же сказано, что «гений, парадоксов друг». А центральный закон диалектики, по Марксу и Энгельсу, — закон единства и борьбы противоположностей.

Парадоксы, противоречия в познании человеком мира отражают часто не только недостаточность наших знаний о мире, но и противоречия самой природы.

Есть, конечно, прекрасный способ решить проблему сверхсветовых частиц так, чтобы и волки были сыты, и овцы целы. И он уже найден. Достаточно принять, что тахионы существуют, но никак не взаимодействуют с «досветовым» веществом в любых его формах. При встрече с обычными частицами тахионы минуют их, не замечая, а на тех, в свою очередь, никак не сказываются столкновения с тахионами. Два мира, досветовой и сверхсветовой, разделены навсегда и сверхнадежно, световой барьер — стена, разделяющая Вселенную на два абсолютно независимых и совершенно самостоятельных мира, существующих, между прочим, в одном и том же пространстве и времени.

Так удается как будто разрешить противоречие между предсказываемым теорией для тахионов путешествием в прошлое и хорошо проверенной в нашем мире причинно-следственной связью. Но на смену этому противоречию встает другое. Мир должен быть познаваем! А тут получается, что мы так никогда и не сможем проверить экспериментально, есть ли тахионы. А с принципиальной непознаваемостью хотя бы части мира наука согласиться не может. И лучшее тому для нашего случая подтверждение — напряженные поиски тахионов.

Тахионы пытались ловить в космических лучах. Поступали при этом ученые (индийские физики) чрезвычайно остроумно. В ожидании очередного ливня (периодического резкого всплеска) космических лучей они открывали затворы своих регистрирующих аппаратов чуть раньше, чем должен был прийти такой ливень. Если бы в космическом излучении оказались тахионы, они опередили бы другие составные части излучения и, возможно, как-нибудь были бы отмечены аппаратурой. Но приборы их не зарегистрировали.

Пытались заметить, как отражаются на других частицах предполагаемые столкновения с тахионами. Пытались получить тахионы на гигантских ускорителях. И все неудачно.

Часть физиков на основании опытов пришла к выводу, что тахион, если и поглощается атомом, то в среднем не чаще чем один раз за сто триллионов квадрил-

лионов лет (единица с двадцатью девятью нулями!) и что живет тахион максимум одну триллионную одной триллионной доли секунды. Живи он дольше или сталкивайся с атомами чаще, его бы, по мнению этой части ученых, уже обнаружили.

Астрофизиков несколько смущают странные вещи, связанные с наблюдением за космическим объектом — квазаром ЗС-279. Группа американских ученых утверждает, что здесь имел место выброс вещества, удаляющегося от квазара со скоростью, вдесятеро большей скорости света. Ошибка? Скорее всего. И все-таки... На этом, видимо, основании один из американских физиков предположил даже, что могут существовать целые сгустки сверхсветового вещества.

Может быть, стоит сказать, что не нужны нам такие частицы, раз с ними столь хлопотно и трудно? Тем более, что тахионы никак не удастся найти. Обойдемся привычными протонами, электронами, фотонами и остальными двумя с лишним сотнями «элементарных» частиц, резвящихся по сю сторону скорости света. Такое решение многих ученых устроило бы. Но ведь природа не спрашивает у людей, устраивают ли их установленные ею в физическом мире порядки.

Пусть тахионы до сих пор не найдены, но раз на них не наложено запрета, есть шансы, что они все-таки существуют. Тем более, что теории эти частицы нужны.

Но никакие теоретические выкладки не смогут — до эксперимента — доказать, что тахионы существуют, что возможны сверхсветовые скорости, что их, наконец, можно будет когда-нибудь использовать.

Придет ли такое доказательство?

Найдется ли способ решить — с помощью тахионов либо на основе их изучения — проблему путешествия в прошлое?

Впрочем, у древних греков была ведь и такая поговорка: даже боги не могут сделать бывшее не бывшим. И, может быть, тахионам «отведут в пользование» лишь события, разыгрывающиеся в самых глубинах микромира, может быть, сверхсветовым скоростям так же нет доступа в наш обычный мир, как некоторым законам квантовой механики, действующим лишь в мире элементарных частиц.

Даже если тахионы проявляют себя только в масштабах ультрамалых пространств и ультракоротких промежутков времени (по Барашенкову, на расстояниях менее десяти в минус шестнадцатой степени сантиметра и в реакциях, продолжающихся менее десяти в минус двадцать шестой степени секунды), они все равно должны играть во Вселенной выдающуюся роль. Открытия атомной физики отучили нас от презрения к малым масштабам микромира, которые оборачиваются для макромира то трагедиями атомных бомб, то рождением атомных электростанций.

Что же, в любом случае истину о тахионах надо, необходимо узнать.

## СТАРЫЕ ЗАКОНЫ, НОВЫЕ ЗАКОНЫ

**О**бщая теория относительности вот уже шесть с лишним десятков лет с успехом отбивает любые нападки.

Следует ли из этого, что все с тяготением и его теорией ясно, желать больше нечего, все коренные проблемы разрешены? Мы уже знаем, что о загадке тяготения можно говорить лишь в том же смысле, в каком мы говорим о загадке электромагнетизма или загадке атомного ядра. Но и на этом уровне загадка остается загадкой. Теория относительности — не фетиш, который нельзя трогать. В сущности, ни одну естественнонаучную теорию, ни один физический закон, строго говоря, нельзя считать исчерпывающе доказанными. Как бы мы тщательно ни проверяли факты, относящиеся к содержанию теории, как бы ни стремились сверить все и вся подлежащее действию закона — наше доказательство никогда не будет законченным, завершенным. Д. Томсон в своей книге «Дух науки» категорически утверждает: «Логически доказать теорию никак нельзя, так как никто не может проделать всех мыслимых экспериментов, которые она охватывает».

Есть такой афоризм: теорию проверяют до тех пор, пока не установят, что она неверна.

Можно сказать и иначе. Теорию проверяют до тех пор, пока не обнаружат, где она неверна.



*Всегда познавайте предмет в противоречиях. Вы обнаружите при этом, что существует постоянный заговор, имеющий целью преподавать тот же предмет догматически и односторонне.*

*Бернард Шоу*

Закон всемирного тяготения Ньютона царил безраздельно в нашем мире в течение четверти тысячелетия. Да и сейчас не отменен — законы природы не отменяют! — а просто «понижен в ранге»: во-первых, признается верным не для всех возможных ситуаций, во-вторых, признан проявлением свойств материи и пространства-времени, открытых общей теорией относительности (как законы Кеплера — только проявление этого закона Ньютона).

Так демонстрирует себя один из принципов развития науки — принцип соответствия. Двигается вперед наука, и новая теория в ней приходит на смену старой, но каждый раз теория-победительница не просто изгоняет свою предшественницу, а хотя бы частично включает ее в себя, если хотите, как заслуженный трофей. Законы новой теории в определенных условиях переходят в законы старой, полностью совпадают с ними. Формула Ньютона по-прежнему верна для гравитационных пар Солнце — Земля и Земля — Луна, хотя луч звезды, скользящий вблизи Солнца, так же как и перигелий Меркурия, уклонились от точного следования старому закону всемирного тяготения в его Ньютоновой форме.

Какой бы ни была и чье бы имя ни носила будущая теория тяготения, она включит в себя и общую теорию относительности.

*На первый взгляд кажется, что теории живут всего лишь день и что их руины громятся на руинах. Но есть в них и нечто длящееся. Если какая-нибудь из них раскрыла нам некоторое истинное отношение, то это отношение приобретено на все времена. В новом облачении мы его снова обнаружим в других теориях, которые одна за другой будут торжествовать на месте прежней.*

*Анри Пуанкаре*

Мы уже как будто знаем в нашей Вселенной явления, которые, с одной стороны, безусловно подлежат ведению теории тяготения и в то же время, с другой

стороны, не могут быть описаны и объяснены с помощью аппарата общей теории относительности.

Советский академик В. Л. Гинзбург в одном из своих выступлений отметил несомненную, по его мнению, «неприменимость обычных (классических) уравнений общей теории относительности при сверхвысоких плотностях...»

Впрочем, нельзя фетишизировать и принцип соответствия — он относится только к «хорошо проверенным» теориям, а критерий именно хорошей проверки трудно выработать для всех возможных случаев. Вспомним хотя бы теплород средневековья, теорию приливов Галилея, теорию приливов Декарта, наконец, теории Аристотеля для падения тел и движения их. Все это заняло свое почетное место в истории науки — в истории, а не в самой науке.

Дж. Дж. Томсон, человек, открывший электрон, писал: «Великое открытие — это не конечная станция, а скорее дорога, ведущая в области, до сих пор неизвестные. Мы взбираемся на вершину пика, и нам открывается другая вершина, еще более высокая, чем мы когда-либо видели до сих пор, и так продолжается дальше. Вклад, сделанный в понимание физики одним поколением, не становится меньшим или менее глубоким или менее революционным по мере того, как одно поколение сменяет другое. Сумма нашего знания не похожа на то, что математики называют сходящимися рядами... где изучение нескольких членов позволяет понять общие свойства целого. Физика соответствует скорее другому типу рядов, рядам расходящимся, где добавляемые члены не становятся все меньше и меньше и где нельзя считать, что выводы, к которым мы пришли при изучении нескольких известных членов, совпадут с теми, которые мы сделаем, когда наши знания будут больше».

Произойдет ли, и когда, если произойдет, новая революция в физике, подобная той, которая началась с появления теории Максвелла, а завершилась формированием квантовой механики и общей теории относительности? Этот вопрос часто поднимается в наше время.

Есть ученые, которые полагают, что время новой физической революции вот-вот наступит и даже что она, возможно, уже начинается. Другие откладывают физическую революцию на неопределенный срок или даже

считают, что дальнейшее развитие науки не обещает тут резких скачков в познании, что предстоит медленная и постепенная эволюция, а ломки наших взглядов на глубинное строение материи не предвидится.

Часть астрономов и физиков настаивает на том, что мы уже сейчас наблюдаем в космосе явления, объяснить которые можно только действием таких законов природы, какие нам еще неизвестны. Их оппоненты признают, что в природе существуют законы, нам неизвестные, однако считают, что пока все, наблюдаемое в космосе, хорошо объясняется законами уже известными.

И та и другая позиция, безусловно, заслуживают уважения. Они серьезны.

Другое тело, что одинаково противопоставлено развитию научных идей крайние точки зрения: и легкомысленное отбрасывание уже накопленного огромного запаса знаний о мире, и провозглашение сегодняшнего состояния науки — окончательным, приписывание нынешней науке всеведения.

*Никто так не ошибался в своих предсказаниях, как пророки ограниченности человеческого знания.*

*Климент Тимирязев*

Сейчас большинство физиков, исследующих гравитацию, придерживается общей теории относительности, порядком постаревшей, но не устаревшей и бурно развивающейся. Конечно, есть у этой теории конкурентки, другие теории тяготения. Но сторонники геометродинамики Эйнштейна чувствуют себя очень уверенно. Авторы трехтомного труда «Гравитация», вышедшего на русском языке в 1977 году, уже известные нам Миннер, Торн и Уилер полагают, что в теориях-конкурентках нуждается сама теория относительности, нуждается примерно так же, как красавица — в подружках-дурнушках, на фоне которых ее прелести только выигрывают. Или как рыцарь на турнире нуждается в соперниках, чтобы в победных схватках все более изощрять свое умение владеть оружием. Авторы книги слегка кокетничают: «Эксперимент проводился за экспериментом, и одна за другой отпадали гравитационные теории, становясь жертвами наблюдений, а эйнштейновская теория осталась непоколебимой...

Вопрос: зачем в таком случае заниматься изучением других теорий гравитации? Ответ: чтобы с чем-то сравнивать эйнштейновскую теорию при ее проверке и более конкретно оттенять ее преимущества».

Трое физиков пропели настоящий гимн в честь геометродинамики Эйнштейна, продержавшейся вопреки всем атакам более шестидесяти лет.

В разное время рядом с нею возникали десятки других теорий гравитации, жили бок о бок, развивались, честно служили науке, делали предсказания — и в большинстве случаев уходили в Лету, потому ли, что им не хватало жизненной силы для борьбы на равных, или потому, что новые факты разрушали прочные с виду построения.

«Жизнеспособность научной теории» — это точный термин, и как всякий термин, он имеет точное определение. Школьник, чтобы перейти во второй класс, как минимум должен уметь читать, писать и считать до двадцати. Теория гравитации (как и всякая другая физическая теория) должна, чтобы ее признали жизнеспособной, чтобы к ней относились именно как к теории научной, отвечать трем критериям, удовлетворять трем условиям.

Первое из них — самосогласованность. Теория не должна приводить к резко противоречащим друг другу выводам.

Второе условие выполнить еще труднее. «Первопринципы» и фундаментальные законы теории должны давать возможность вычислить на их основе движение сложных систем и проанализировать результаты любого эксперимента, имеющего отношение к проблемам гравитации в самом широком понимании, плюс еще теория должна быть согласована с законами всех остальных областей физики.

Третье условие кажется простым и естественным даже на первый взгляд: теория должна «соглашаться» со всеми уже проведенными ранее экспериментами, должна объяснять все, что мы успели узнать у природы прямым опытом. Бывает, что уже при рождении теория оказывается неспособна полностью соответствовать фактам; чаще это выясняется позже. Теория гравитации блестящего английского физика Уайтхеда некоторое время процветала и заслужила было общее уважение физиков. Но ее же самой дальнейшая разработка вдруг выясни-

ла, что если бы природа следовала Уайтхеду, то в земных океанах каждые двенадцать часов происходили приливы и отливы, вызванные притяжением Галактики. Поскольку этого на самом деле нет, теория Уайтхеда не удержалась.

*Физическая теория подобна костюму, сшитому для природы. Хорошая теория подобна хорошо сшитому костюму, а плохая — Тришкину кафтану.*

*Яков Френкель*

Соревнование теорий, если сравнивать его со спортивными состязаниями, надо уподоблять не футбольному турниру или матчу боксеров; нет, спор за первенство между научными идеями походит скорее на встречу штангистов. Побеждает учение, способное поднять больший груз, груз-то все время растет, каждый цовый опыт, каждая новая порция вырванных у природы сведений о мире ложится добавочным чугунным кружком на нашу придуманную штангу. Зато теория, объясняющая все новые и новые опыты, от добавочного груза каждый раз становится и все сильнее. Иногда же последняя соломинка ломает спину верблюда, и теория сходит со сцены, как надорвавшийся штангист.

Именно это и произошло в последние годы с так называемой обобщенной теорией гравитации Бренса — Дике, рухнувшей под ударами экспериментов, а ведь ее считали наиболее серьезной соперницей геометродинамики Эйнштейна... Обобщенная теория гравитации предсказывала, в частности, что Солнце должно быть несколько сплюсненным, теперь же выяснилось, что оно с этим «не согласно». Стоит оговориться, что и теория Уайтхеда и теории Бренса — Дике и практически все теории гравитации, еще остающиеся жизнеспособными, взяли у теории относительности ее идейную основу и признают теснейшую связь материи с пространством, физики с геометрией. В определенном смысле слова все такие построения — дети общей теории относительности.

И все же, как бы она ни казалась жизнеспособной, ее ждет общий для всех хороших научных теорий конец. Она непременно станет частью другой теории, более точной, более глубокой, более широкой.

Снизив тон, можно сказать, что у каждой физиче-

ской теории есть своя ахиллесова пята, свое слабое место.

О многих научных построениях можно сказать то же, что говорил герой О'Генри благородный жулик Джефф Питерс о тресте: «Трест и похож и не похож на яйцо. Когда хочешь расколоть яйцо, бьешь его снаружи. А трест можно разбить лишь изнутри. Сиди на нем и жди, когда птенчик разнесет всю скорлупу. Да, сэр, каждый трест носит в своей груди семена своей гибели, как петух, который в штате Джорджия вздумает запеть слишком близко от сборища негров-методистов, или тот член республиканской партии, который выставляет свою кандидатуру в губернаторы Техаса».

Достаточно самого беглого взгляда на историю физики, чтобы увидеть: каждую серьезную и признанную теорию ниспровергали или делали частным случаем другой теории, как правило, самые верные — и самые лучшие — ученики ее создателей. Не было гениев-невежд, приходивших со стороны с совершенно новыми идеями. Люди, воспитанные на Аристотеле и Птолемеи, разрушили Вселенную, придуманную Аристотелем и Птолемеи. Классической физике конца XIX века нанесли удар ученые, воспитанные корифеями этой самой классической физики.

И точно так же не противники, а последователи Эйнштейна заставят общую теорию относительности уступить место еще более прекрасной и могучей системе.

Какой именно?

Советский физик-теоретик А. Л. Зельманов сказал по этому поводу: «Изо всех прогнозов самый верный состоит в том, что ни один прогноз не окажется верным».

И все же можно без особого риска ошибиться сделать несколько достаточно общих предсказаний на сей счет.

Вероятно, в рамках этой новой системы нам станет яснее то, что Ньютон в своих мучительных размышлениях называл «причиной тяготения». Но можно не сомневаться, что не появится наглядной механической модели тяготения, о которой так мечтали ученые в прошлые века, а некоторые любители науки — и сегодня.

Новая теория долго будет более сложной для понимания нефизиками, чем общая теория относительности. Но очень возможно, сами физики будут находить ее более простой, чем геометродинамика Эйнштейна, кото-

рую сегодня они считают более простой, чем теория Ньютона. И новое учение будет сначала раем для теоретиков и адом для экспериментаторов. Потом — раем для всех. Пока, наконец... Надо ли договаривать?

И это будет рассматриваться, как часть очередной революции в физике.

А по пути, в промежутке между двумя научными революциями, теория гравитации немало прибавит к пониманию природы тяготения и власти над ним. Победить силу — еще не значит разгадать ее. Зато обратное положение справедливо. Разгадать, достаточно глубоко понять явление природы — значит победить его.

Мы — физики, трудяги и Эйнштейны.  
Вселенная, в которой мы живем,  
Нам кажется не слишком совершенной.  
Мы скоро перделаем ее!

(Один из вариантов гимна студентов физическо-  
го факультета МГУ)



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Самая слабая, самая могучая . . . . .	5
<b>Вчера</b> . . . . .	14
Догадки. Аристотель и многие другие . . . . .	14
Подступы. Галилей и Кеплер . . . . .	21
Закон открыт! . . . . .	32
Время признания . . . . .	38
Эпоха триумфа и трагедия дальнего действия . . . . .	42
<b>Сегодня</b> . . . . .	57
Законы должны быть одинаковы всюду . . . . .	57
Институт приключенческой математики . . . . .	74
Сколько сантиметров в секунде? . . . . .	78
Всякий великий человек . . . . .	80
Проверка в бою . . . . .	82
Во вселенной . . . . .	95
Встреча у черной дыры . . . . .	101
Единство физики, единство материи . . . . .	117
Гравитационная постоянная . . . . .	122
На старой Земле и рядом . . . . .	126
Фигура леди Земли . . . . .	127
Слава маятнику . . . . .	133
На весах жизни . . . . .	138
Без тяжести . . . . .	144
Загадка тяготения — загадка? . . . . .	151
<b>Завтра или никогда</b> . . . . .	154
Волны кривизны, или В небо, за звездами . . . . .	154
Тяготение, работай! . . . . .	164
Масса со знаком минус . . . . .	172
Быстрее времени? . . . . .	176
Старые законы, новые законы . . . . .	184

**Роман Григорьевич Подольный**

### ЧЕМ МИР ДЕРЖИТСЯ?

Зав. редакцией научно-художественной литературы  
*М. Новиков.* Редактор *Н. Яснопольский.* Мл. редактор  
*В. Саморига.* Оформление художников *Г. Басырова,*  
*А. Дрюгина, В. Данилова.* Худож. редактор *В. Савела.*  
 Техн. редактор *Т. Пичугина,* Корректор *Н. Мелешкина.*

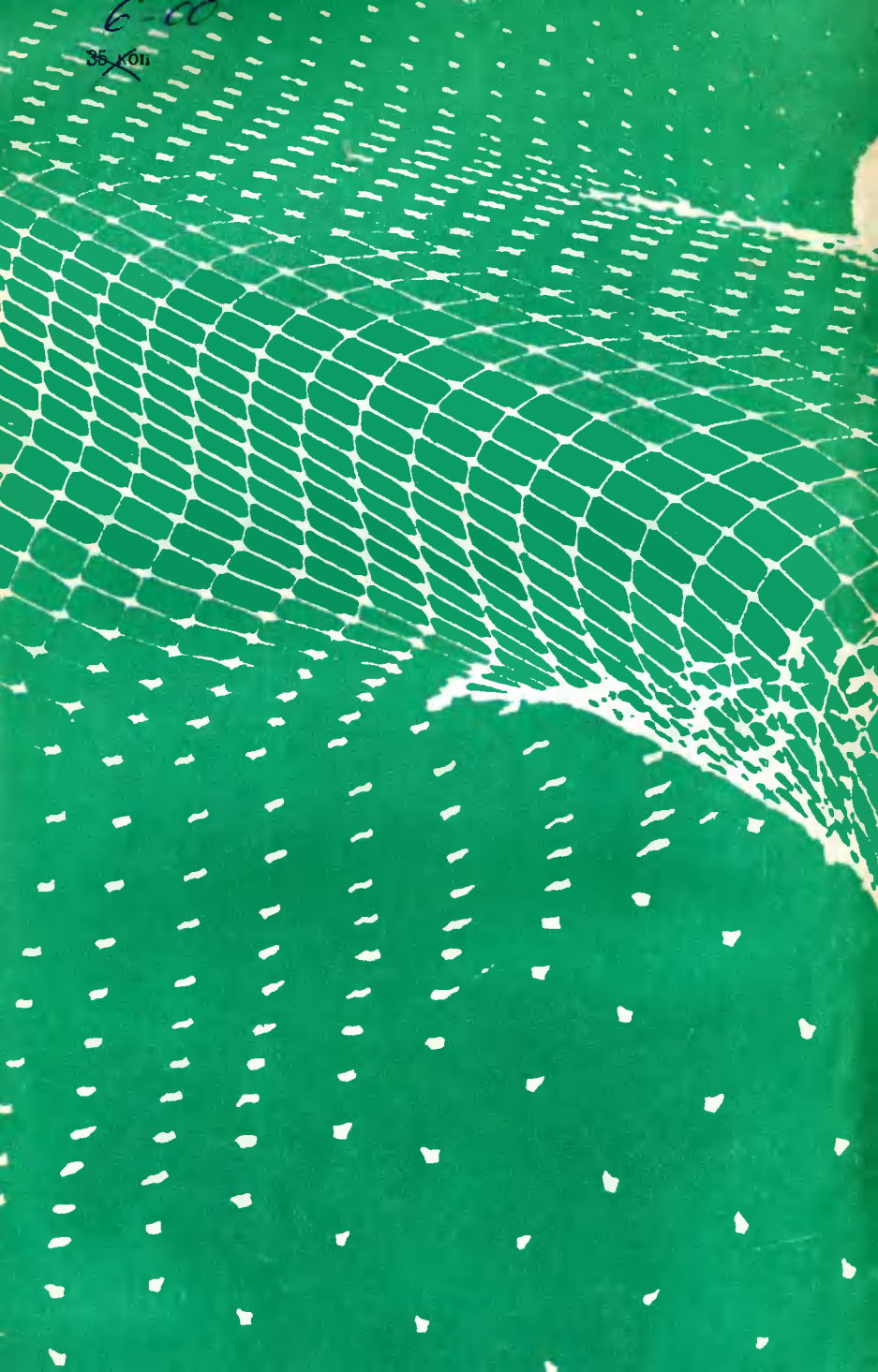
ИБ № 1302.

А 00065. Индекс заявки 87721. Сдано в набор 4.01.78 г. Подписано к печати 17.05.78 г. Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 1. Бум. л. 3,0. Печ. л. 6,0. Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 10,43. Тираж 100 000 экз. Издательство «Знание», 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 8—294. Цена 35 коп. Головное предприятие республиканского производственного объединения «Полиграфкинг» Госкомиздата УССР, 252057, г. Киев-57, Довженко, 3.



6-00

35 kon



# ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ИДЕЙ

ПО КРАЙНЕЙ МЕРЕ  
ДВЕ С ПОЛОВИНОЙ  
ТЫСЯЧИ ЛЕТ СТРЕ-  
МИТСЯ ЧЕЛОВЕК ПО-  
НЯТЬ СИЛУ ТЯГОТЕ-  
НИЯ, ОСМЫСЛИТЬ ЕЕ  
И ИСПОЛЬЗОВАТЬ.  
ПОУЧИТЕЛЬНА ИСТО-  
РИЯ ПОЗНАНИЯ ЭТОЙ  
СИЛЫ. ПРОБЛЕМА ТЯ-  
ГОТЕНИЯ СТАЛА КЛЮ-  
ЧОМ К ТАЙНАМ СТРО-  
ЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ, К  
СВОЙСТВАМ ДВИЖЕ-  
НИЯ, ПРОСТРАН-  
СТВА, ВРЕМЕНИ.

Р. ПОДОЛЬНЫЙ

## ЧЕМ МИР ДЕРЖИТ- СЯ?