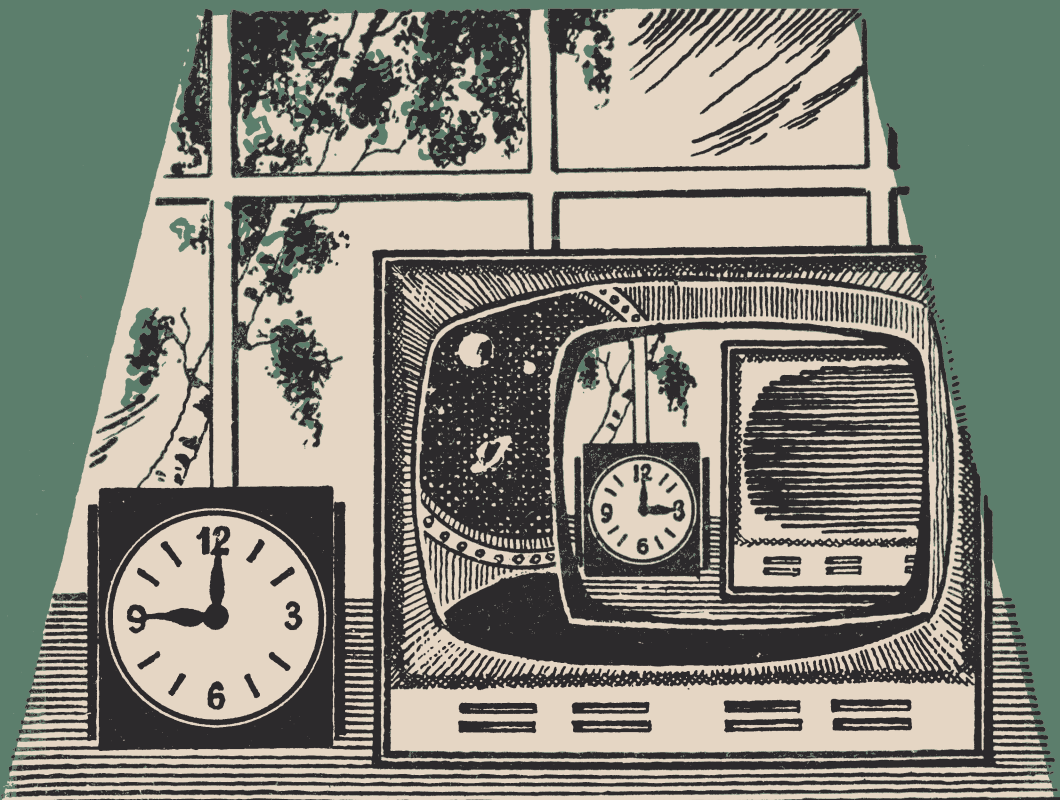




Ю.И. СОКОЛОВСКИЙ
Сюрпризы
околосветовых
скоростей



Кандидат педагогических наук,
доцент
Ю. И. СОКОЛОВСКИЙ

СЮРПРИЗЫ ОКОЛОСВЕТОВЫХ СКОРОСТЕЙ

Диалог о теории относительности

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЗНАНИЕ»
Всесоюзного
общества
по распространению
политических
и научных
знаний
Москва 1963

530.1
C 59

— Теперь так часто ссылаются на теорию относительности Эйнштейна, а я даже совсем не представляю себе, что это такое.

— В немногих словах это и не объяснишь. Физические рассуждения и доказательства, лежащие в ее основе, весьма сложны.

— Да я готов верить физикам и на слово, лишь бы понять, о чем в этой таинственной теории идет речь и что именно она утверждает.

— Собственно говоря, есть две теории относительности: специальная и общая...

— Ну мне — не специалисту — довольно и общих сведений!

— Названия эти обманчивы: «специальная» теория относительности куда понятнее, ее следовало бы уже теперь преподавать в школах, а вот «общая» доступна пока еще только специалистам. В специальной теории говорится о физических явлениях при очень больших скоростях, а в общей — о связи между геометрией и тяготением. Специальная теория относительности называется еще «частной».

— Что значит «большие скорости», с какими летят реактивные самолеты?

— Самолет, с точки зрения Эйнштейна, все равно что черепаха. Речь идет об «околосветовых» скоростях, которые очень близки к скорости света в вакууме, т. е. к 300 000 километров в секунду. Ну, скажем, 90 или 99 процентов световой скорости, а то и больше.

— Но теперь ведь еще такая скорость не достигнута даже космическими кораблями?

— Конечно, нет! Так мчатся пока только элементарные частицы (электроны, протоны), разогнанные в ускорителях.

Полет же человека или хотя бы пули с такой скоростью еще очень надолго останется мечтой фантастов.

— Так что же именно должно происходить, если мчаться с такой головокружительной быстротой? И выдержит ли вообще организм человека и его психика такую скорость?

— Вот здесь мы и подошли к исходному положению специальной теории относительности, которое, к сожалению, часто упускают из виду писатели-фантасты. С какой бы скоростью ни мчался космический корабль, его пассажиры даже в принципе не могут почувствовать этого движения, если только корабль летит равномерно, прямолинейно и без вращения (что мы будем всегда в дальнейшем предполагать). Это так называемый принцип относительности, открытый еще Галилеем и окончательно утвердившийся в физике благодаря Эйнштейну.

— Но ведь космонавты могут увидеть в иллюминатор или с помощью телевизора, что они движутся?

— Они только заметят, что расстояние до такой-то звезды сокращается, но приближаются ли они к ней или она к ним — этого решить нельзя.

— Но ведь на борту корабля должен быть указатель скорости!

— Его нельзя сделать. На самолете измеряют скорость полета относительно окружающего воздуха, но показания прибора будут такими же и при обдувании неподвижного самолета в аэродинамической трубе. Скорость можно измерять только по отношению к чему-нибудь, а указатель абсолютной скорости — так сказать, скорости «вообще» — в принципе невозможен. Ни один прибор не может обнаружить равномерно-прямолинейного движения кабины, в которой он установлен, потому что все явления в кабине — физические, химические, биологические, психические и другие, если рассматривать их с точки зрения находящегося там пассажира, происходят по одним и тем же законам независимо от того, движется ли кабина инерциально или находится в покое.

— Что значит инерциально?

— Равномерно и прямолинейно, как всякое тело, которое движется по инерции. Ведь не замечаем же мы почти инерциального движения Земли по орбите со скоростью 30 километров в секунду.

— А опыт Фуко с маятником?

— Он обнаруживает вращение Земли вокруг оси, т. е. криволинейное движение. Неравномерное движение — с ускорением — также дает о себе знать (человек и приборы испытывают «перегрузку», или «искусственную тяжесть»). Вот почему возможен указатель ускорений, но не может быть указателя абсолютной скорости.

— Но все же очень трудно представить себе, чтобы движение почти с быстротой света не действовало на психику.

— Потому что вы, вероятно, невольно воображаете мелькание встречаемых тел. Но если корабль покоится, а мимо него столь же стремительно мчатся различные тела — разве это не произведет точно такого же эффекта?

— Пожалуй, да. Но ведь даже такой известный фантаст, как Станислав Лем, так красочно описывает в «Магеллановом облаке» то чувство тревоги, которое охватило космонавтов, когда скорость корабля приблизилась к световой...

— К сожалению, писатель на этот раз погрешил против физики. Ошибку такого рода допускают довольно часто по следующей причине. Та же самая теория относительности, которая говорит, что пассажир корабля не может даже заметить его движения, утверждает еще и нечто другое. А именно: если бы наблюдатель с Земли мог рассматривать внутренность корабля (например, с помощью телевизора), то он обнаружил бы в ходе явлений в кабине весьма любопытные особенности. Например, с точки зрения земного наблюдателя все процессы на корабле (по сравнению с такими же на Земле) происходят в замедленном темпе. Пока стрелка часов на корабле сделает один оборот, стрелка таких же точно часов на Земле сделает несколько оборотов; пока на корабле сгорит часть свечи, на Земле свеча равной величины успеет уже догореть совсем.

— Но как же могут пассажиры ракеты этого не замечать? (Такое замедление подсказало бы им, что они движутся!)

— Потому что все — подчеркиваю: решительно все — процессы замедляются совершенно одинаково. Как заметишь, что свеча на корабле горит в десять раз дольше обычного, если и часы на корабле идут в десять раз медленнее! Допустим, что на Земле свеча сгорает за один час, а на корабле — за десять часов по «земному» времени. Но «корабельный» час равняется десяти земным. Выходит, что как на Земле по земным часам, так и на корабле по корабельным продолжительность горения один час. То же самое относится и ко всяким другим явлениям: разряду аккумулятора, электромагнитному колебанию, радиоактивному распаду, химическим и биохимическим реакциям. Если какие-нибудь два явления имели одинаковую продолжительность на Земле, они будут одинаково длиться и на ракете. Каким же измерительным прибором можно обнаружить на корабле, что длительность всех процессов иная, чем на Земле?

— Но ведь это можно заметить и без приборов. Пока корабельные часы отсчитают один час, позавтракавший только что пассажир успеет уже основательно проголодаться!

— Не надо упускать из виду, что замедление испытывают и все физиологические процессы, очень тесно связанные с биохимическими. А раз пища переваривается в желудке в десять раз медленнее обычного, то и чувство голода придет к человеку с соответствующим опозданием. В десять раз реже сок-

рашается сердце и бьется пульс, в десять раз медленнее протекают биохимические и биоэлектрические процессы в нервных клетках, в десять раз медленнее мыслит и чувствует человек... Именно благодаря полной универсальности, всеобщности этого замедления оно не может быть обнаружено на корабле никакими средствами. Зато с Земли оно хорошо заметно, разумеется, если есть специально для этого приспособленный телевизор.

— Я понимаю, конечно, как трудно создать телевизор, который позволил бы перекрыть такие колоссальные расстояния, но ведь в принципе...

— Дело не столько в расстоянии, сколько в том, что наблюдаемый корабль быстро движется. Расстояние его от Земли, а значит и время распространения радиоволн с течением времени возрастает. Поэтому каждый последующий кадр изображения получается на Земле с все большим и большим опозданием. Вследствие этого, даже если бы процессы на корабле протекали в земном темпе, они все равно казались бы на экране земного телевизора замедленными благодаря эффекту Допплера. Эффект Допплера — это изменение частоты света или звука при восприятии их движущимся наблюдателем. Чтобы лучше уяснить себе сущность этого явления, вообразите, что вы едете в поезде, а вслед за вами каждый час вылетает по самолету. Легко понять, что самолеты будут догонять вас реже, чем через час. То же самое справедливо и для световых или звуковых волн. Чтобы получить правильное представление о темпе событий на корабле, нужно оборудовать телевизор каким-нибудь корректирующим приспособлением, которое автоматически исключало бы ошибку из-за непрерывного возрастания времени прохождения телевизионного сигнала от удаляющегося корабля до Земли.

— Можно было бы, например, заснять с экрана телевизора кинофильм, а затем демонстрировать его в надлежащем темпе.

— Хотя бы так. Нам важно лишь подчеркнуть, что замедление всех процессов на космическом корабле обнаруживается с Земли, но совершенно не ощущается в его кабине. Обычно говорят, что, с точки зрения земного наблюдателя, само время на быстро движущейся ракете течет медленнее, чем на покоящейся Земле. Хотите, я вам сейчас наглядно продемонстрирую, что будет ощущать человек, когда во всем доступном ему мире изменится темп времени?

— А разве вы это можете?

— Взмахну только волшебной палочкой. Раз, два, три... Темп времени замедлился уже в сто раз!

— Вы шутите — я ничего подобного не замечаю.

— Разумеется, я шучу. Но ведь вы этого мне никак не докажете.

— Тотчас же докажу. Секундная стрелка моих часов вращается с прежней скоростью.

— Но это вам только кажется, потому что процессы в вашем мозгу, с которыми вы сравниваете бег стрелки, тоже замедлены в сто раз.

— Я мыслю ничуть не медленнее. Мне по-прежнему достаточно пяти секунд, чтобы помножить 48 на 25, а если бы я думал в сто раз медленнее...

— Каких это пяти секунд вам достаточно? Измеренных по вашим часам? Но ведь часы идут в сто раз медленнее, чем прежде...

— Достаточно, я все понял. Действительно, если замедлятся все процессы и в одинаковое число раз, этого не заметишь.

— А если изменятся все геометрические размеры, например, сократятся и тоже в одинаковое число раз?

— То этого также не обнаружить. Ведь укоротившееся в сто раз расстояние придется измерять укоротившимся в сто раз метром, так что число отсчитанных метров, выражающее длину, останется без перемен.

— Вот именно. Нечто подобное имеет место и на быстро движущемся корабле. С точки зрения земного наблюдателя, все продольные (в направлении движения) размеры предметов на корабле уменьшены в одинаковое число раз.

— А поперечные?

— Они остаются прежними.

— Тогда пассажиры могут такие изменения обнаружить.

— Каким образом?

— Измерив какой-либо продольный предмет тем метром, который лежал до этого поперек корабля.

— Как только они его повернут, чтобы приложить к предмету, метр делается уже продольным и, следовательно, сократится.

— Но ведь при одном только продольном сокращении квадрат превратится в прямоугольник.

— А как вы это заметите?

— Сравню стороны.

— Все будут по одному метру.

— Тогда измерю угол между одной из сторон и диагональю.

— Получите 45° , потому что и ваш транспортир, как и всякий другой предмет, искажился таким же образом. Не стоит перебирать другие способы — они столь же несостоятельны. Сокращение продольных размеров, как и замедление времени, может быть обнаружено только тем наблюдателем, по отношению к которому корабль движется. Этот же наблюдатель заметит еще одно любопытное обстоятельство: все тела в движущемся корабле стали как бы инерционнее. Допустим, ша-

рик укреплен на двух пружинках, натянутых поперек корабля. В связи с замедлением времени период колебания шарика на корабле (с точки зрения наблюдателя) будет больше, чем на Земле. Это можно истолковать, приписав шарiku на корабле большую инерционность, чем такому же шарiku на Земле (опять-таки с точки зрения земного наблюдателя). Растянутая пружина сообщает шарiku на корабле значительно меньшее ускорение, чем такая же и столь же растянутая пружина такому же шарiku на Земле. Медлительный темп других процессов на корабле тоже можно связать с увеличением инерционности соответствующих тел: молекул горящей свечи и кислорода, электронов в проводниках, через которые разряжается конденсатор, и т. д.

Но количественной мерой инерционности любого тела является его масса. Следовательно, с точки зрения земного наблюдателя, масса каждого тела на быстро движущемся корабле больше, чем такого же тела, покоящегося (или медленно движущегося) на Земле. Иными словами, масса каждого тела возрастает с его скоростью. Чем быстрее движется тело, тем оно инерционнее, тем труднее сообщать ему ускорения, т. е. изменять его скорость по величине или направлению.

— Но ведь масса по природе своей должна обязательно быть постоянной величиной. Как может она меняться в зависимости от скорости?

— Чтобы нагреть воду от 97 до 98°, требуется несколько больше тепла, чем от 7 до 8° (теплоемкость воды увеличивается с температурой). Это вас, вероятно, не поражает. Так что же удивительного в том, что увеличить скорость движения тела от 297 тысяч километров в секунду до 298 тысяч труднее, чем от 7 тысяч километров в секунду до 8 тысяч. А это и означает, что инерционность любого тела растет со скоростью.

— Но я привык связывать с массой представление о количестве содержащегося в теле вещества, а ведь увеличение скорости никаких атомов или других частиц к телу не добавляет.

— К сожалению, в учебниках физики для 6—7 классов ради простоты говорится о массе, как о мере количества вещества. Но это совершенно не соответствует научным взглядам. Если вдуматься как следует, то станет ясно, что такое «определение» в сущности ничего не разъясняет. Когда говорят, что в медной статуе содержится больше вещества, чем в медном винтике, подразумевается больше атомов. А как сравнить количества вещества в электроны и протоне? Они-то ведь не составлены из одинаковых частиц, которые можно было бы пересчитать.

— Мы можем их сравнить по их массам.

— Это будет порочный круг. Сперва мы определяем массу, как меру количества вещества, а потом предлагаем измерять

количество вещества массой! Как же можно тогда понять, что такое масса и что такое количество вещества?

— Мы знаем, что масса пропорциональна весу.

— Это уже другое понимание массы. Ее можно, конечно, определить через вес (т. е. силу, с которой тело под действием силы тяжести давит на опору), но не через количество вещества. Это привело бы нас к понятию гравитационной массы, характеризующей способность тела вступать в гравитационное взаимодействие с другими телами, т. е. притягивать их к себе и притягиваться к ним (гравитация означает тяготение). Однако согласитесь, что определить массу, как меру гравитационности, это совсем не одно и то же, что определить ее как меру количества вещества.

— Пожалуй.

— К тому же такое «гравитационное» определение не проще «инерционного». Поэтому-то, уже начиная с девятого класса школы, масса всегда понимается только как характеристика инерционных свойств тела.

— А как же тогда все-таки мерить количество вещества?

— В классической физике (т. е. до Эйнштейна), определив массу, как меру инерционности, ее можно было бы по совместительству использовать также и как меру количества вещества. Ведь в механике Ньютона молчаливо предполагалось, что инерционность тела, а значит и его массу, нельзя изменить иначе, как путем отделения от тела какой-нибудь части или присоединения к нему другого тела.

— А разве это не вполне очевидно?

— Нет, это только опытный факт, открытый Ньютоном, но, к сожалению, не сформулированный им в виде отдельного закона. Впрочем, оно и к лучшему: при очень больших скоростях закон этот несправедлив. Не только теоретически, но и экспериментально установлено, что масса меняется со скоростью, но это означает всего лишь увеличение инерционности (и «гравитационности»), а вовсе не количества вещества. Когда катящийся бильярдный шар (или, лучше, летящий нейтрон), наткнувшись на неподвижный, сообщает ему движение, а сам останавливается, то масса первого шара уменьшается, второго же возрастает. Мы можем при этом говорить о передаче некоторого количества массы от первого шара ко второму, хотя бы ни один атом и даже ни одна элементарная частица первого шара на второй не перескакивала. Просто, инерционность одного шара возросла за счет инерционности другого. Как видим, теория относительности допускает переход массы от одного тела к другому и без передачи вещества. Закон сохранения массы при этом неукоснительно соблюдается.

— Если так, то увеличение массы со скоростью не вызывает уже во мне того внутреннего протеста, как прежде, когда я думал, что речь идет именно о количестве вещества.

— Вот в этом-то и дело. Все парадоксы теории относительности поражают наше воображение только до тех пор, пока мы в них как следует не разберемся. Подведем же теперь итог всему сказанному. Если вести рассуждение с земной точки зрения, то на борту космического корабля, при очень больших скоростях полета, замедляется течение времени, укорачиваются продольные размеры и увеличиваются массы тел. Однако для пассажиров корабля все эти поразительные эффекты принципиально не наблюдаемы. Пассажиры вправе считать себя покоящимися и пользоваться обычными «школьными» законами физики неподвижных тел.

— А возможно ли практически наблюдать эффекты теории относительности, хотя бы и в скромных масштабах при таких скоростях движения, которые уже сейчас технически достижимы? Я имею в виду, конечно, наблюдение их человеком, относительно которого корабль движется.

— К сожалению, величина всех этих эффектов при доступных нам пока скоростях транспорта чересчур мала. Как показывает теория, темп времени, продольные размеры и массы тел изменяются в одинаковое число раз, которое обозначается буквой K и выражается формулой:

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2}},$$

где v — скорость корабля, выраженная в долях световой скорости. Например, $v=0,5$ означает половину световой скорости, т. е. 150 тысяч километров в секунду. В таких «световых» единицах скорость звука, а значит и реактивного самолета, составляет около одной миллионной. Соответствующее значение коэффициента K выражается числом 1,00000000000005.

Во столько именно раз замедляется темп процессов, сокращаются размеры и увеличивается масса. Этого, разумеется, даже самыми точными приборами не обнаружить. Зато для протона, который вылетает из крупнейшего в мире советского синхрофазотрона со скоростью 99,5 процента от световой, коэффициент $K=10$.

— Значит, масса его увеличилась вдесятеро и во столько же раз сжались продольные размеры? Очень жаль, что нельзя сесть на протон верхом — тогда продолжительность жизни всадника увеличилась бы для земного наблюдателя в десять раз!

— С человеком такой опыт, естественно, неосуществим, а вот с мю-мезонами нечто подобное не раз уже наблюдалось. Дело в том, что мю-мезон, подобно живому существу, имеет определенный «срок жизни»: он живет только в течение двух микросекунд, а затем распадается. Так вот оказывается, что при достаточно быстром движении продолжительность его жизни для земного наблюдателя увеличивается в несколько

раз. Но самая большая скорость, которую удастся сейчас сообщить электронам, соответствует коэффициенту $K=2000$, т. е. масса такого стремительного электрона превосходит уже массу покоящегося протона!

— Теперь я начинаю понимать, почему астронавты из научно-фантастического романа Мартынова «Каллистяне» так сильно страдали от увеличения своей массы, когда скорость их полета приблизилась к световой.

— Опять та же ошибка, против которой я уже предупреждал! Пассажиры корабля никакого изменения массы вообще не замечают. Ведь по отношению к своему кораблю они не обладают почти никакой скоростью.

— Пусть так, но тогда они вправе считать, что Земля удаляется от них с громадной скоростью.

— Несомненно.

— А не дает им это основания утверждать, что земной шар и все предметы на нем увеличили свою массу?

— Разумеется.

— И что темп времени на Земле замедлился в K раз?

— И это тоже.

— Но вот тут-то мы и пришли к абсурду: жители Земли утверждают, что уменьшился темп времени на ракете, а астронавты с таким же основанием настаивают, что на Земле. Так кто же прав?

— И те, и те. Согласно принципу относительности одни и те же законы справедливы как на Земле, так и на инерциально движущемся корабле. Ни одна из этих двух точек зрения никаким преимуществом перед другой не обладает.

— Но не может же быть, чтобы события на корабле развивались медленнее, чем на Земле, а на Земле медленнее, чем на корабле. Немыслимо ведь, чтобы A было меньше B , а B меньше A .

— Земному наблюдателю кажется, что медленнее совершаются события в ракете, а астронавту — что медленнее разворачиваются события на Земле.

— Почему вы говорите «кажется»? Разве нельзя вести наблюдения объективно, например, с помощью автоматических приборов?

— Недостаточно просто наблюдать с помощью телевизора, нужно еще и вносить поправки на эффект Допплера, о чем уже шла речь, а величина вносимой поправки существенно зависит от того, считается ли неподвижной Земля или космический корабль.

— Попробуйте объяснить такой опыт: в момент взлета включаются одинаковые будильники: один — на Земле, другой — на корабле. Каждый будильник должен звонить ровно через час по своему времени. Если они зазвонят одновременно, то нет никакого замедления. Если же один из них зазвонит

раньше другого, когда тот не отсчитал еще полный час своего времени, то как можно говорить о равноправии будильников? Что же будет все-таки происходить на самом деле?

— Вот тут мы и подошли к одному из «краеугольных камней» теории относительности. Как это ни странно, одна из величайших заслуг Эйнштейна состоит в том, что он задал себе исключительный по наивности вопрос: что значит «одновременно»? В каком случае мы можем с уверенностью сказать, что два события произошли в один и тот же момент времени?

— Ну, это понятно каждому, хотя найти безупречную формулировку совсем не просто.

— Эйнштейн отнюдь не был педантом и к словам особенно не придирался. Он очень охотно признавал, что если два события произошли в одном месте, то вопрос об их одновременности никаких споров не вызывает. Но если они случились на большом удалении друг от друга, сомнения вполне естественны. Ведь как узнать, произошли ли они в один и тот же момент времени, или одно из них — и какое именно — случилось раньше? Не правда ли, тут без обмена какими-либо сигналами не обойтись, а всякий сигнал требует для своего распространения какого-то определенного времени.

— А разве нельзя, хотя бы в теории, предположить, что сигналы распространяются мгновенно или по крайней мере столь быстро, что временем их распространения можно пренебречь?

— Чтобы вывести физику из того тупика, в котором она оказалась в конце XIX столетия (о чем я, конечно, подробно рассказывать не буду), Эйнштейну пришлось принять гипотезу, что никаких сигналов быстрее света в природе не существует. Такое предположение нисколько не противоречило экспериментальным данным (сигналов быстрее света, действительно, никто не знает), а в настоящее время справедливость его подтверждена успехами теории относительности. Таким образом, одно из важнейших ее положений гласит: никакое действие одного тела на другое не может передаваться в пространстве быстрее света.

— А пуля? Нельзя разве ее, хотя бы в принципе, разогнать путем длительного действия ускоряющих сил до какой угодно скорости?

— Теория относительности этого не допускает и сама объясняет почему: по мере приближения к световой скорости масса стремится к бесконечности и дальнейшее ускорение затрудняется. Звезда Сириус находится от нас на расстоянии десяти световых лет. О том, что произошло на этой звезде восемь лет назад, мы в данный момент времени в принципе знать не можем, так как никакие сигналы об этом до нас еще не могли дойти. Состояние ее восемь лет назад мы вынуждены еще только предсказывать, как будущие события на Земле.

А на те события, которые произойдут на Сириусе через восемь лет, мы сейчас не можем уже никак повлиять: посылать туда с этой целью какие-либо сигналы уже поздно. Как видим, минувшее и наступающее десятилетия в истории звезды Сириус с земной точки зрения не могут быть, в сущности, отнесены ни к прошлому, ни к будущему: ведь прошлое мы можем в принципе уже знать, а на будущее не поздно еще влиять. События, которые произошли или произойдут на Сириусе в течение указанных двадцати лет, не могут быть ни причинами, ни следствиями того, что сейчас совершается на Земле.

— Но какое все это имеет отношение к загадочной совместимости утверждения «в ракете медленней, чем на Земле» и «на Земле медленней, чем в ракете»?

— Сейчас станет ясно. Исследование проблемы одновременности привело Альберта Эйнштейна к выводу, что это — понятие относительное. Два события, одновременные с точки зрения земного наблюдателя, разновременны для быстро движущегося космонавта или наоборот. Оказывается, бессмысленно говорить просто «в один и тот же момент времени», а надо еще обязательно добавить — с чьей точки зрения (или, как говорят физики, в какой системе отсчета).

— По-моему, такое фундаментальное понятие, как «в один и тот же момент времени», принципиально не может и не должно зависеть от точек зрения.

— А не находите ли вы, что и понятие «в том же месте» не менее фундаментально?

— Бесспорно.

— Но уж оно, во всяком случае, зависит от точки зрения! Одно дело «в том же месте» с точки зрения железнодорожного пассажира (на той же вагонной полке), другое — с точки зрения путевых рабочих (на том же километре пути). Эйнштейн только устранил существовавшую до него противоположность между относительностью пространственных отношений и абсолютностью временных. Одновременность стала таким же относительным понятием, как и «одновременность».

— Нельзя ли представить себе это хоть чуть нагляднее?

— Вообразите межзвездный корабль в далеких просторах космоса — на расстоянии нескольких световых часов от Земли. С кораблем установлена двухсторонняя связь по телевидению, так что с корабля можно наблюдать стартовую площадку, а со стартовой площадки видна внутренность корабля со всеми его приборами. С Земли виден даже установленный в кабине телевизор, на экране которого различимо даже изображение, полученное с Земли (см. рисунок на обложке). Стоящие рядом с земным телевизором часы показывают девять часов вечера. Я думаю, вы понимаете, почему эти же самые часы на маленьком экране показывают только три часа дня?

— Потребовалось шесть часов на прохождение телевизи-

онных сигналов туда и обратно: три часа, чтобы изображение земных часов достигло космического корабля, и столько же, чтобы изображение кабины вместе с установленным в ней телевизором дошло до Земли.

— К какому же моменту времени относится событие *A* в кабине, наблюдаемое сейчас с Земли?

— К моменту «шесть часов вечера по земному времени» — на три часа раньше девяти часов вечера (т. е. того момента, когда ведется наблюдение с Земли) и на три часа позже трех часов дня (т. е. того момента, который виден на экране бортового телевизора).

— Ответ ваш, конечно, правилен, но только с точки зрения земных наблюдателей. Космонавты же будут иного мнения.

— Но почему же? Они ведь видят и знают все то же самое!

— Но они вправе считать корабль покоящимся, а Землю движущейся. А в три часа дня по земным часам Земля была ближе к кораблю, чем в девять часов вечера. Поэтому телевизионный сигнал от Земли к кораблю шел меньше времени, чем от корабля к Земле. Значит, шестичасовую разность показаний обоих часов нужно делить не пополам, а на две неодинаковые части — скажем, сигнал от Земли к кораблю шел два часа, а от корабля к Земле — четыре.

— Пожалуй, так.

— Но тогда с точки зрения космонавтов событие *A* на корабле относится не к шести, а к пяти часам вечера по земному времени. Как видим, понимание одновременности зависит от «точки зрения» или, говоря более строго, от выбора системы отсчета. Но это еще не все. Относительность одновременности естественно влечет за собой также и возможность изменения последовательности двух событий во времени на противоположную в зависимости от точки зрения. Допустим, что на Земле произошло какое-нибудь событие *B* в половине шестого вечера. Случилось ли оно раньше или позже события *A* в ракете?

— С точки зрения наблюдателей на Земле — раньше, а с точки зрения космонавтов — позже (ведь в половине шестого — значит раньше шести часов и позже пяти).

— Вот видите: которое из двух событий произошло раньше, а которое позже другого, зависит от точки зрения. Поэтому-то и нет противоречия между мнением космонавта, что звон корабельного будильника предшествует звону земного, и прямо противоположным утверждением наблюдателя на Земле.

— Я охотно поверил бы физикам, но меня очень смущает такая мысль. Допустим, что одно событие — выстрел охотника, другое — ранение птицы. Так что же это такое получается: с точки зрения одного физика, охотник сперва выстрелил, а потом пуля попала в птицу, а с точки зрения другого — сперва пуля попала в птицу, а затем уже последовал выстрел

охотника? И я должен еще при этом считать рассуждения обоих физиков равноправными!

— Подобное возражение предвидел еще сам Эйнштейн и опроверг его. Как может быть строго доказано, обменяться местами во времени могут только такие события, которые не являются друг для друга ни следствием, ни причиной. Например, с чьей-нибудь точки зрения событие *A*, которое произойдет через год на Сириусе, может предшествовать событию *B*, которое сейчас совершается на Земле. Но как мы уже отмечали, события эти принципиально не могут находиться между собой в причинной связи: ведь за год никакой сигнал и никакое воздействие от Земли до Сириуса не дойдет.

— Пусть так. Но в связи с этим у меня вновь возникло еще одно возражение, которое я было упустил. Допустим, одна ракета удаляется от Земли со скоростью, составляющей 80 процентов световой, а другая летит с такой же быстротой в другую сторону. С какой же скоростью удаляются они друг от друга?

— С точки зрения земного наблюдателя — 160 процентов световой скорости, т. е. 480 тысяч километров в секунду.

— Значит, для пассажиров одной ракеты другая мчится быстрее света?

— Неправильно: я лишь сказал, что для земного наблюдателя расстояние между ракетами за каждую земную секунду увеличивается на 480 тысяч земных километров. Но у пассажиров первой ракеты — другие секунды, другие километры, иное понимание одновременности. Поэтому они оценят быстроту удаления от них второй ракеты приблизительно в 292 тысячи километров в секунду, что меньше световой скорости.

— Последнее недоумение. Если все различие в течение времени зависит от точки зрения, то правы ли писатели-фантасты, когда они описывают возвращение на Землю почти не постаревших в пути космонавтов и встречу их со своими далекими потомками? Возможно ли, проведя в космическом путешествии с околосветовыми скоростями десятков лет, увидеть по возвращении нашу Землю такой, какой она станет через тысячелетие?

— Если не придирайтесь к цифрам и не касаться технических возможностей достижения столь грандиозных скоростей, то в принципе такой эффект возможен.

— Но ведь все это понятно только с точки зрения остающихся на Земле. Они считают себя неподвижными, а космонавтов — мчащимися, поэтому-то, мол, космонавты остаются сравнительно молодыми, а их соотечественники стареют. Но разве мы не вправе стать и на точку зрения самих космонавтов? Они-то могут считать покоящимся свой корабль, а движущейся — Землю, и тогда долгую молодость должны как буд-

то бы сохранить остающиеся на Земле, а космонавты стареть быстрее.

— Я с самого начала подчеркивал, что принцип относительности применим только к инерциальному движению — равномерному, прямолинейному и без вращения. Такое, и только такое движение не обнаруживается никакими средствами. Однако, летя инерциально, космический корабль не смог бы никогда вернуться, и противоречия бы не возникло. Для возвращения на Землю потребуется разворот, нарушающий равномерность или прямолинейность движения. При таких условиях нельзя уже говорить о равноправии двух точек зрения: Земля не подвергалась ускорениям, корабль же их обязательно испытывал. Детальные расчеты показывают, что быстрее стареет всегда тот, кто движется инерциально. Кроме того, на ход времени влияет еще и пребывание в гравитационных полях, но это уже относится не к специальной, а к общей теории относительности, а мы условились сегодня о ней не говорить.

— В заключение хотелось бы только еще узнать о знаменитой формуле Эйнштейна $E=mc^2$.

— Если перевести тело из состояния покоя в состояние быстрого движения, то масса его увеличится на какую-то величину Δm . Оказывается, этот прирост массы Δm пропорционален кинетической энергии движущегося тела $E_{кин}$:

$$\Delta m = \frac{E_{кин}}{c^2},$$

где c — скорость света (чем быстрее движется тело, тем больше его кинетическая энергия и тем значительнее прирост массы). Но масса тела может увеличиваться также и в том случае, когда оно, оставаясь в покое, нагревается до очень высокой температуры, в этом случае вследствие быстрого хаотического движения составляющих его молекул. При этом прирост общей массы всего тела пропорционален увеличению его внутренней энергии при нагревании. Эйнштейн установил, что полная масса m любого тела в определенном состоянии пропорциональна его полной энергии E :

$$m = \frac{\dot{E}}{c^2},$$

или

$$E = mc^2,$$

причем величина E включает все виды энергии, как уже известные нам, так и те, которые будут когда-либо открыты в будущем. В этом громадное практическое значение этой формулы как компаса научных исследований.

— Какое же количество энергии соответствует килограмму массы?

— 25 миллиардов киловатт-часов — гораздо больше, чем дают все электростанции СССР за месяц.

— Значит, каждый килограмм массы может быть превращен в такое колоссальное количество энергии?

— Нельзя говорить о превращении массы в энергию или обратно. Если бы это действительно имело место, то увеличение энергии обязательно сопровождалось бы соответствующим уменьшением массы, тогда как формула $E=mc^2$ неукоснительно требует, чтобы обе величины уменьшались или увеличивались одновременно.

— Так как же следует тогда понимать формулу Эйнштейна?

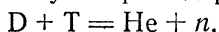
— Каким бы способом мы ни повысили энергию, т. е. работоспособность тела, мы этим самым неизбежно увеличим и его массу, т. е. инерционность. Например, горячая гиря инерционнее холодной, заряженный аккумулятор инерционнее разряженного (практически различие это очень мало, потому что мы обычно имеем дело с недостаточно большими количествами энергии).

Фактически масса и энергия оказываются не двумя независимыми характеристиками одного и того же тела, как это считалось раньше, а единой физической величиной, которая характеризует тело как со стороны его инерционности, так и с точки зрения его способности совершать работу.

Различие в числовых значениях энергии и массы одного тела объясняется только тем, что энергию измеряют в джоулях, массу же — в килограммах. Но стоит изменить систему единиц, приняв световую скорость за единицу скорости ($c=1$), как даже и численные значения E и m полностью совпадут. Поэтому не приходится удивляться, что физики выражают иногда энергию в килограммах, а массу в джоулях.

— А остается ли в силе закон сохранения массы и закон сохранения энергии?

— Они сливаются теперь в одном законе, так как речь идет, в сущности, об одной и той же величине. Рассмотрим с этой точки зрения известную термоядерную реакцию:



Здесь D означает дейтерий (т. е. тяжелый водород с атомным весом 2,015), T — тритий (т. е. еще более тяжелый изотоп водорода с атомным весом 3,016), He — гелий с атомным весом 4,003, а n — нейтрон (его атомный вес равняется 1,009). Подсчитайте, пожалуйста, массу исходных веществ до реакции.

— Это просто: $2,015 + 3,016 = 5,031$. Пять граммов и 31 миллиграмм, если в реакцию вступает по одному грамм-атому каждого вещества.

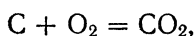
— А теперь определите массу продуктов реакции.

— Столь же просто: $4,003 + 1,009 = 5,012$. Пять граммов с 12 миллиграммами — на 19 миллиграммов меньше, чем было вначале. Куда же они девались?

— В результате реакции образуются не покоящиеся, а стремительно движущиеся частицы. Поэтому и массы их несколько больше, чем массы покоя, значения которых я выписал из таблиц, — скажем, масса летящих нейтронов 1,025, а движущихся атомов гелия 4,006. Тогда общая масса продуктов реакции $4,006 + 1,025 = 5,031$ в полном согласии с законом сохранения массы — энергии ничуть не отличается от массы исходных веществ. Но когда, в результате соударений, продукты реакции раздадут свою кинетическую энергию молекулам окружающей среды, их массы уменьшатся до масс покоя, т. е. до вычисленного нами значения 5,012 грамма. Потерянные 19 миллиграммов массы распределяются между молекулами окружающих тел, массы которых вследствие теплового движения соответственно возрастут.

— Это напоминает мне передачу массы без передачи вещества при столкновении шаров.

— Совершенно верно. Но раз к окружающим телам перешло 19 миллиграммов массы, то по закону Эйнштейна к ним перешло также и 19 миллиграммов энергии, что соответствует примерно полмиллиону киловатт-часов. Таким образом, «потерянные» 19 миллиграммов — «дефект массы» — вполне определяют энергетический эффект реакции. При самых обычных химических реакциях, например сгорания угля по формуле



имеет место, в сущности, то же самое. Масса образующегося при этом горячего углекислого газа совпадает с массой исходных веществ в точности. Но когда газ остынет и молекулы его, потеряв скорость, уменьшат и свою массу, общая масса окажется чуть меньше, чем сумма масс сгоревшего угля и кислорода. Только различие это практически незаметно, так как энергетический эффект любой химической реакции для этого слишком мал. Чтобы увеличить его, надо перейти от химических превращений к ядерным.

— А есть ли теоретический предел энергетическому эффекту каких бы то ни было реакций?

— Конечно, есть, и теория относительности его нам точно указывает. Ведь общий запас энергии исходных веществ определяется их массой, так что из одного килограмма какого бы то ни было «энергетического сырья» больше одного килограмма, т. е. 25 миллиардов киловатт-часов, энергии не получить.

— А насколько мы можем приблизиться к этому теоретическому пределу?

— Как мы только что видели, даже термоядерная реакция дает только 19 миллиграммов энергии на каждые 5 граммов

«горючего» — менее полпроцента. Но физики уже экспериментально наблюдают реакции, в которых освобождаются полностью все 100 процентов энергии вступающих в реакцию частиц. Это так называемые реакции аннигиляции частиц и античастиц. Например, при столкновении электрона и позитрона (т. е. положительного электрона), эта пара частиц превращается в два кванта гамма-лучей, т. е. в два фотона:

$$\text{электрон} + \text{позитрон} = \text{фотон} + \text{фотон}.$$

При этом, конечно, неукоснительно выполняются законы сохранения: масса (а следовательно, и энергия) возникающих фотонов равняется общей массе (или, соответственно, энергии) исчезнувших электрона и позитрона. Но энергия гамма-лучей легко может быть по желанию превращена в любой другой вид энергии и использована по назначению, тогда как, например, у электрона всегда сохраняется остаточная энергия, соответствующая его массе покоя.

— А разве для фотонов гамма-лучей это не справедливо?

— Фотоны обладают той замечательной способностью, что они всегда движутся со скоростью света (фотоны ведь и есть свет, видимый или невидимый). А скорости света соответствует бесконечно большое значение коэффициента K . Следовательно, в случае остановки фотона масса его уменьшилась бы в бесконечное число раз, т. е. до нуля. Но это, конечно, попросту означает, что фотон, пока он существует, не может двигаться иначе, как с быстротой света. Это — характерная особенность частиц с нулевой массой покоя, к которым, кроме фотонов, относятся еще нейтрино.

— Возможно ли практическое использование реакции аннигиляции для получения энергии?

— Пока что нет, так как в доступной нам сейчас части Вселенной естественных «месторождений» позитронов нигде не обнаружено. Искусственное же их получение требует затрат не меньшего, а практически гораздо большего количества энергии, чем может быть потом получено в результате реакции аннигиляции. Тем не менее фантастам отнюдь не возбраняется строить смелые планы практического использования этого принципиально самого эффективного источника энергии. Возможность точно оценивать наперед различные источники энергии — одно из практически самых полезных применений специальной теории относительности.

— Правильно ли я понял, что по своему основному содержанию эта теория могла бы с полным правом быть названа «физикой околосветовых скоростей»?

— С «потребительской» точки зрения — да. Но если заглянуть глубже, в логическую ткань самой теории, и познакомиться не только с ее конечными результатами, но также и с руководящими идеями, то содержание ее окажется богаче. Это —

Физическое учение о времени и пространстве, потому что изменение массы с изменением скорости, замедление процессов и сокращение размеров — все это лишь проявления открытых Эйнштейном удивительных свойств времени и пространства. Но разговор об этом выходит за рамки нашей беседы, и я просто сошлюсь на популярную литературу, расположив ее список в порядке нарастания трудности (причем даже самая сложная из этих книг доступна для любознательного читателя, не имеющего специальной подготовки).

Л. Д. Ландау, Ю. Б. Румер. Что такое теория относительности. М., 1959.
Ю. И. Соколовский. Теория относительности в элементарном изложении. Харьков, 1960.
А. И. Жуков. Введение в теорию относительности. М., 1961.

ОТ РЕДАКТОРА

Из приведенных автором трех работ наиболее популярна небольшая книжка, написанная лауреатом Ленинской и Нобелевской премий академиком Л. Д. Ландау и профессором Ю. Б. Румером «Что такое теория относительности». В блестящей и остроумной форме авторы этой книжки, не пользуясь ни одной формулой, знакомят читателей с теорией относительности, по их словам «раскрывающей удивительные свойства окружающего мира — свойства, которые ускользают от нас при первоначальном, точнее — при поверхностном изучении».

О задаче, поставленной авторами при написании этой книжки, дает представление составленная ими аннотация, которая приводится ниже:

«С момента создания теории относительности Альбертом Эйнштейном минуло свыше 50 лет. За прошедшее время эта теория, казавшаяся когда-то многим парадоксальной игрой ума, превратилась в один из краеугольных камней физики. Современная физика без теории относительности почти так же невозможна, как без представления об атомах и молекулах. Трудно даже перечислить все те разнообразные физические явления, которые нельзя было бы объяснить без теории относительности. На ее основании создаются такие сложные приборы, как усилители «элементарных» частиц, рассчитываются ядерные реакции и т. д.

К сожалению, однако, теория относительности очень мало известна вне узкого круга специалистов. Конечно, эта теория принадлежит к числу «трудных». И нельзя требовать от не-

физика свободного обращения с ее довольно сложным математическим аппаратом.

Тем не менее мы полагаем, что основные представления и идеи теории относительности могут быть изложены в форме, доступной для понимания достаточно широкого круга читателей.

Мы надеемся, что читателю, который прочтет нашу книгу, уже не сможет прийти в голову мысль, что теория относительности сводится к утверждению, якобы «все в мире относительно». Наоборот, он увидит, что теория относительности, как и всякая правильная физическая теория, есть учение об объективной истине, не зависящей от желаний и вкусов кого бы то ни было. Отказавшись от старых представлений о пространстве, времени и массе, мы только глубже проникли в то, как мир устроен на самом деле.

Книжка Л. Д. Ландау и Ю. Б. Румера читается с захватывающим интересом и, несмотря на свой малый объем (всего 61 страница), дает полное представление об основных вопросах, рассматриваемых теорией относительности.

Авторы предпослали изложению в качестве эпиграфа известные высказывания В. И. Ленина:

«...остается несомненным, что механика была снимком с медленных движений, а новая физика есть снимок с гигантски быстрых реальных движений»...

«Изменчивость человеческих представлений о пространстве и времени так же мало опровергает объективную реальность того и другого, как изменчивость научных знаний о строении и формах движения материи не опровергает объективной реальности внешнего мира».

Книга Ю. И. Соколовского «Теория относительности в элементарном изложении» вышла под редакцией члена-корреспондента АН СССР И. Н. Лифшица в Харькове (издательство Харьковского государственного университета имени А. М. Горького). Это обширный труд, излагающий в популярной форме так называемую частную, или специальную, теорию относительности.

В первой главе автор знакомит читателей с истоками теории относительности. Он рассказывает о системах отсчета, принципе относительности Галилея, эффекте Допплера, электродинамических силах и непостоянстве массы.

В последующих главах рассматриваются вопросы релятивистского понимания одновременности, преобразования Лоренца, релятивистский эффект Допплера.

Подробно изложены вопросы взаимосвязи массы и энергии, релятивистской динамики, скоростей, превышающих световую, и т. д.

Одна из глав посвящена парадоксам теории относительности, в том числе знаменитому «парадоксу времени»,

Книга завершается главой «Пространственно-временное многообразие», состоящей из нескольких параграфов, рассматривающих пространство и время в теории относительности, интервал между двумя событиями и, наконец, значение теории Эйнштейна.

В качестве дополнения к основному тексту приводятся главы, посвященные опыту Майкельсона, хронологии межзвездных путешествий, кинематике и динамике фотонной ракеты и др.

Основной текст книги Ю. И. Соколовского требует от читателя определенной подготовки по математике и физике, хотя в тексте отсутствует высшая математика.

По ходу изложения автор разъясняет многие вопросы, которые получили широкую известность и даже стали банальными в связи с развитием и распространением теории относительности, например: «Можно ли слетать в будущее», «Бывает ли прямая короче кривой», «Возможно ли следствие без причин», «Мыслимо ли движение быстрее света» и т. д.

Дополнительные главы книги написаны с привлечением высшей математики, и поэтому знакомство с ними возможно для лиц, имеющих специальную подготовку.

Автор отмечает, что его книга рассчитана «на студентов, учителей, инженеров, а также читателей без специального образования. Она представляет интерес для тех, кто интересуется теорией относительности в связи с проблемами звездной астронавтики, ядерной физики и современной радиотехники».

Книга А. И. Жукова «Введение в теорию относительности» также рассчитана на широкий круг читателей, и для знакомства с ней достаточно среднего образования. Она доступна по форме и богата по своему научному содержанию.

Книга содержит изложение основных результатов специальной и общей теории относительности.

В отношении общей теории относительности книга А. И. Жукова существенно дополняет работу Ю. И. Соколовского, который не излагает этих вопросов.

Как известно, общая теория относительности была создана Эйнштейном в связи с попытками построить релятивистскую теорию тяготения. Эта попытка вызывалась тем, что закон всемирного тяготения Ньютона с его дальностью действия и мгновенной передачей силы несовместим с выводами частной (специальной) теории относительности.

Автор рассматривает важнейшие вопросы общей теории относительности: принцип эквивалентности, отклонение световых лучей в поле тяготения, собственное время в поле тяготения, закон тяготения Эйнштейна, тяготение в геометрии и вопросы космологии.

В предисловии автор пишет, что «книга, будучи в общем

популярной, в то же время не является очень простой. Возможно, что некоторые параграфы потребуют сравнительно серьезной подготовки. В ряде случаев может оказаться необходимым обратиться к какому-нибудь доступному учебнику физики или математики; читатель должен быть к этому готов».

Кроме литературы, рекомендуемой автором этой брошюры, большой интерес для читателей представляют две книги профессора Б. Г. Кузнецова, выпущенные издательством Академии наук СССР в 1963 году.

Первая из них «Эйнштейн» посвящена жизненному пути, мировоззрению великого ученого. В ней рассказано о перевороте в представлениях о пространстве, времени, движении и веществе, вызванном учением Эйнштейна.

Автор пишет: «...научное творчество Эйнштейна связано с духовной и материальной эмансипацией человечества. В этом бессмертие творческого подвига. Бессмертным будет и облик Эйнштейна, демонстрирующий отречение человека от всего личного и повседневного во имя познания мира, как упорядоченного, объединенного причинной связью целого».

Вторая книга Б. Г. Кузнецова «Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки» излагает эволюцию физических идей с начала XVII века вплоть до новейших квантово-релятивистских представлений. Она подробно знакомит с теорией относительности Эйнштейна, играющей исключительную роль во всей современной физике.

И. Ф.

Автор *Юрий Иосифович Соколовский*
Редактор *И. Б. Файнбойм*
Техн. редактор *Л. Е. Атрощенко*
Корректор *В. Н. Никитина*
Обложка *А. П. Кузнецова*

Сдано в набор 4/III 1963 г.
Подписано к печати 21/V 1963 г.
Изд. № 19. Формат бум. 60×90¹/₁₆.
Бум. л. 0,75. Печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,33.
А 04202. Тираж 45.000 экз. Цена 5 коп.
Заказ № 690.
Изд-во «Знание». Москва, Центр,
Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание».
Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

5 коп.

**Индекс
70072**