



Современные учёные
не требуют чудес: они
требуют экспериментов.
Лев Карсавин

Для того, чтобы
добиться идеальной
чистоты эксперимента,
его лучше проводить
чисто теоретически.
Юрий Татаркин

«Представьте, что...»

10 САМЫХ ЗНАМЕНИТЫХ МЫСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Понятие мысленного эксперимента ввёл в начале XX века австрийский физик Эрнст Мах. Он имел в виду прежде всего предварительное проигрывание в воображении реального эксперимента. Мах считал, что с помощью фантазии можно вводить любые условия опыта, вплоть до совершенно абсурдных, и это даёт возможность рассмотреть все варианты результата.

В истории науки хватает экзотических мысленных экспериментов, которые не только изменили общепринятые взгляды на мир, но и породили дискуссии, продолжавшиеся десятилетиями. Мы расскажем о десяти самых известных. Будьте осторожны — некоторые из них способны свести с ума!

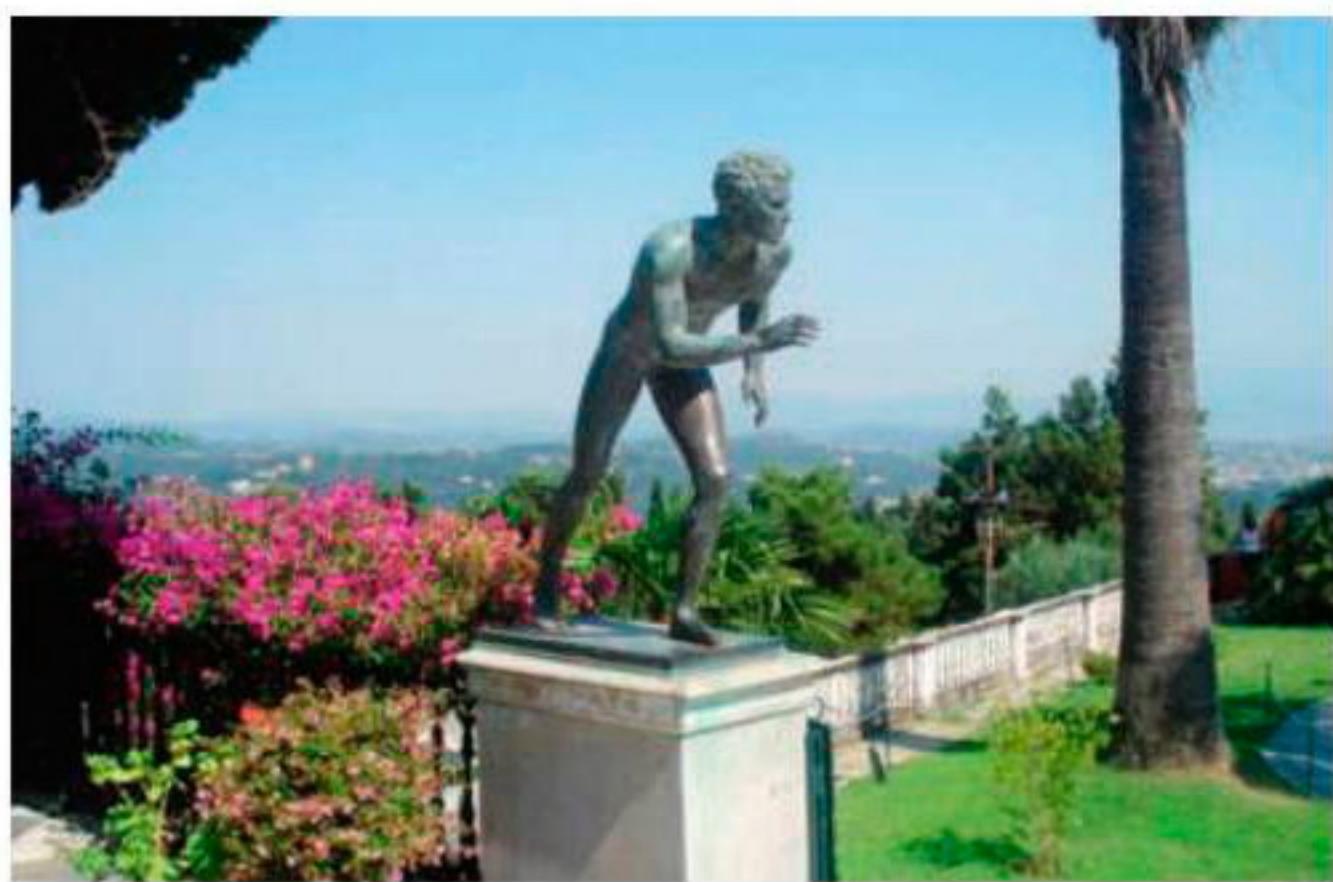
АХИЛЛЕС И ЧЕРЕПАХА

Античные философы любили придумывать парадоксальные суждения, но мало кто мог в этом сравниться с греком Зеноном Элейским, жившим в V веке до н. э. Его апории (то есть «трудности») не сохранились в оригинальном виде и известны в пересказах Платона и Аристотеля. Зенон сформулировал как минимум сорок апорий, а до толкователей дошли только девять.

Самая известная апория Зенона — парадокс Ахиллеса и черепахи. Своим происхождением она обязана басне древнегреческого поэта Эзопа. Там рассказывается, как черепаха поспорила с зайцем, что сумеет обогнать его в честных бегах, и смогла это сделать. Она воспользовалась

безалаберностью соперника, который решил передохнуть, уверенный, что успеет прибежать первым. Зенон заменил зайца на быстроногого героя Ахиллеса, воспетого в «Илиаде».

Представьте, что черепаха и Ахиллес решили соревноваться в беге. Ахиллес в десять раз быстрее, чем черепаха, и даёт ей фору в тысячу шагов. За то время, за которое Ахиллес пробежит это расстояние, черепаха проползёт сто шагов в ту же сторону. Когда Ахиллес пробежит сто шагов, черепаха проползёт ещё десять, и так далее. Погоня будет бесконечной, Ахиллес никогда не догонит черепаху. Следовательно, любое движение есть иллюзия.



■ Памятник быстроногому Ахиллесу на Корфу

Апория озадачивает, ведь с позиций формальной логики она выглядит безупречной, но на практике, как подсказывает опыт, любой бегун легко обгонит черепаху. Греческие философы всерьёз ломали головы над этим парадоксом. Он нашёл отражение и в литературе: о фиаско Ахиллеса писали Льюис Кэрролл, Лев Толстой и Хорхе Луис Борхес.

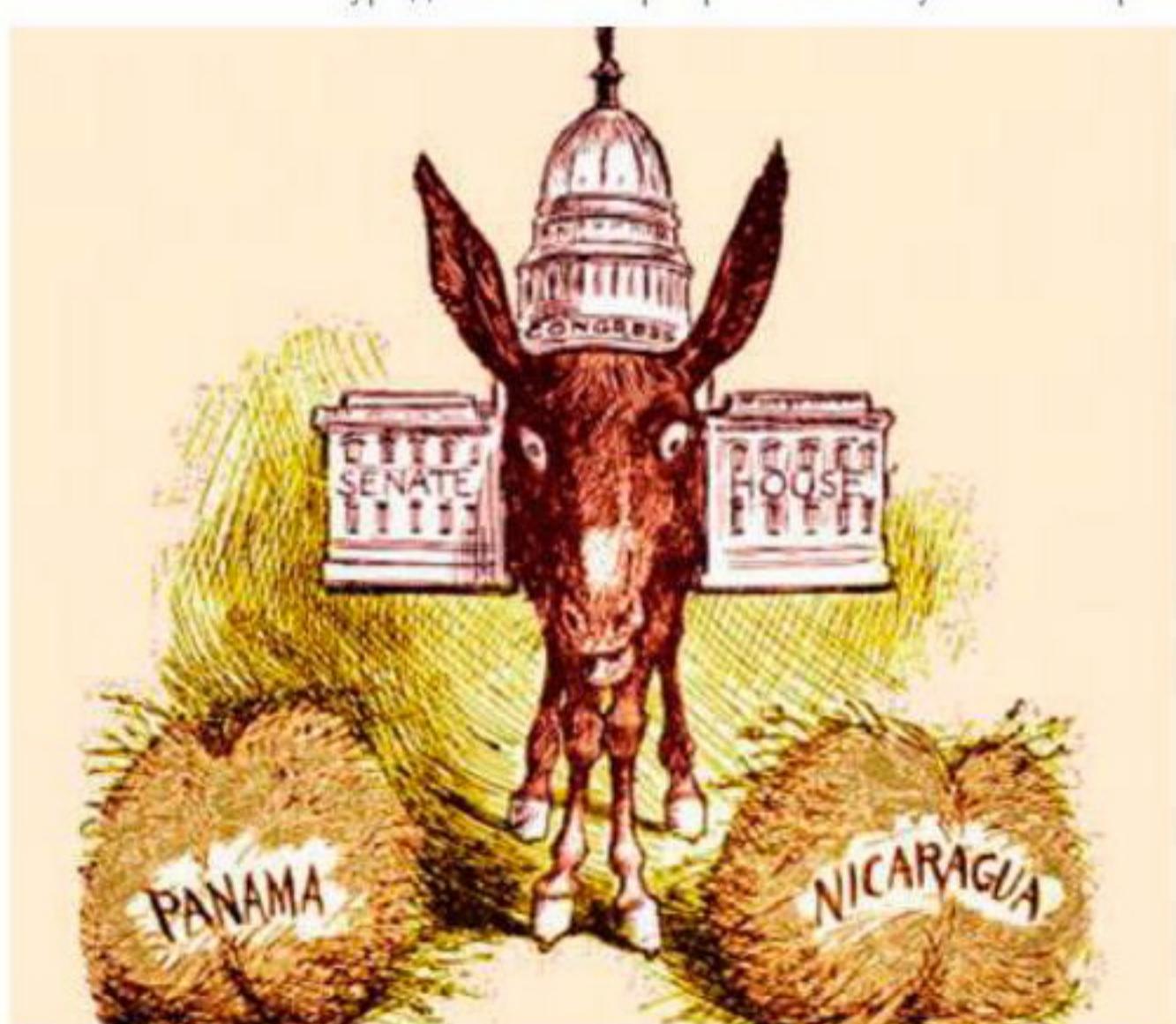
Конечно, утверждение Зенона, что Ахиллес никогда не догонит черепаху, ложно. Каждый следующий «отрыв» черепахи короче предыдущего, и Ахиллесу понадобится всего-то тысяча сто двенадцать шагов, чтобы вырваться вперёд. Парадокс возник потому, что Зенон и его последователи не понимали физико-математического смысла задачи.

БУРИДАНОВ ОСЁЛ

Воображаемый Буриданов осёл, как известно, оказался между двумя одинаковыми охапками сена и умер от голода, не в силах выбрать между ними. Как ни странно, этого осла придумал вовсе не французский философ XIV века Жан Буридан. Самое давнее упоминание этой проблемы мы находим у Аристотеля. Он в шутку описывал вымышленную ситуацию, в которой умирающий от жажды и голода человек не может выбрать между водой и едой.

Идея оказалась плодотворной, и позже философы использовали тот же образ для иллюстрации равнодействующих сил. В 1100 году персидский учёный Абу Хамид аль-Газали всерьёз рассмотрел дилемму Аристотеля и заявил, что человек сделает выбор между одинаковыми вещами в пользу той, что лучше подходит ему в данный момент. Буридан же добавил, что в ситуации, когда рациональный выбор невозможен, человек обратится к моральным принципам и пойдёт по пути большего добра.

■ Буриданов осёл превратился в шутливый образ



■ «Буриданова осла» первым упомянул философ Бенедикт Спиноза

Осёл же появился благодаря нидерландскому философу Бенедикту Спинозе. Тот утверждал, что если человек, оказавшийся в ситуации выбора между одинаковыми возможностями, как «буриданов осёл», не сумеет совершить выбор, то он вряд ли может считаться человеком.

Математик Готфрид Лейбниц усложнил задачу выбора, описав осла, находящегося между одинаковыми охапками сена. Он полагал, что такой эксперимент не может быть реализован на практике, поскольку во Вселенной нет идеальной симметрии — одна копна всегда окажется предпочтительнее другой, даже если мы не замечаем этого преимущества.

Современные философы полагают, что проблема буриданова осла легко решается, если принять, что отказ от выбора между двумя охапками сена — тоже выбор. Осёл выбирает не между сеном и сеном, а между жизнью и смертью, посему выбор предопределён на уровне инстинкта: ишак выберет жизнь.

ОПЫТ ГАЛИЛЕЯ

Мысленный эксперимент с падающими предметами понадобился итальянскому физику и астроному Галилео Галилею, чтобы показать ошибочность заблуждения, что чем тяжелее тело, тем быстрее оно упадёт на землю. По легенде, в 1589 году Галилей залез на знаменитую «падающую» башню в Пизе и сбросил с неё два шара разной массы, которые достигли земли одновременно, подтвердив революционную гипотезу учёного. На самом деле он никуда не залезал, а опирался на чисто умозрительные соображения, которые изложил в трактате «О движении» (1590).

Представьте два предмета, один из которых тяжелее другого. Пусть их связывают верёвкой друг с другом и сбросят эту связку с башни. Если тяжёлые предметы падают быстрее, чем лёгкие, то лёгкий предмет должен замедлять падение тяжёлого. Но поскольку рассматриваемая система в целом тяжелее, чем один тяжёлый предмет, она должна падать быстрее него. Мы приходим к противоречию, а значит, изначальное предположение (тяжёлые предметы падают быстрее лёгких) неверно.



■ Знаменитая Пизанская башня, с которой, по легенде, Галилей сбрасывал шары разной массы

Наше сознание противится идеи, что молоток и перо, если сбросить их с одной высоты, упадут одновременно. В привычном нам мире атмосфера замедлит перо, и молоток упадёт быстрее. Но что, если поместить их в безвоздушную среду? Такой опыт проделали в 1971 году астронавты миссии «Аполлон-15»: на глазах миллионов телезрителей Дейв Скотт бросил на Луну геологический молоток и соколиное перо. Все смогли убедиться, что Галилей прав.

■ Перо и молоток на поверхности Луны



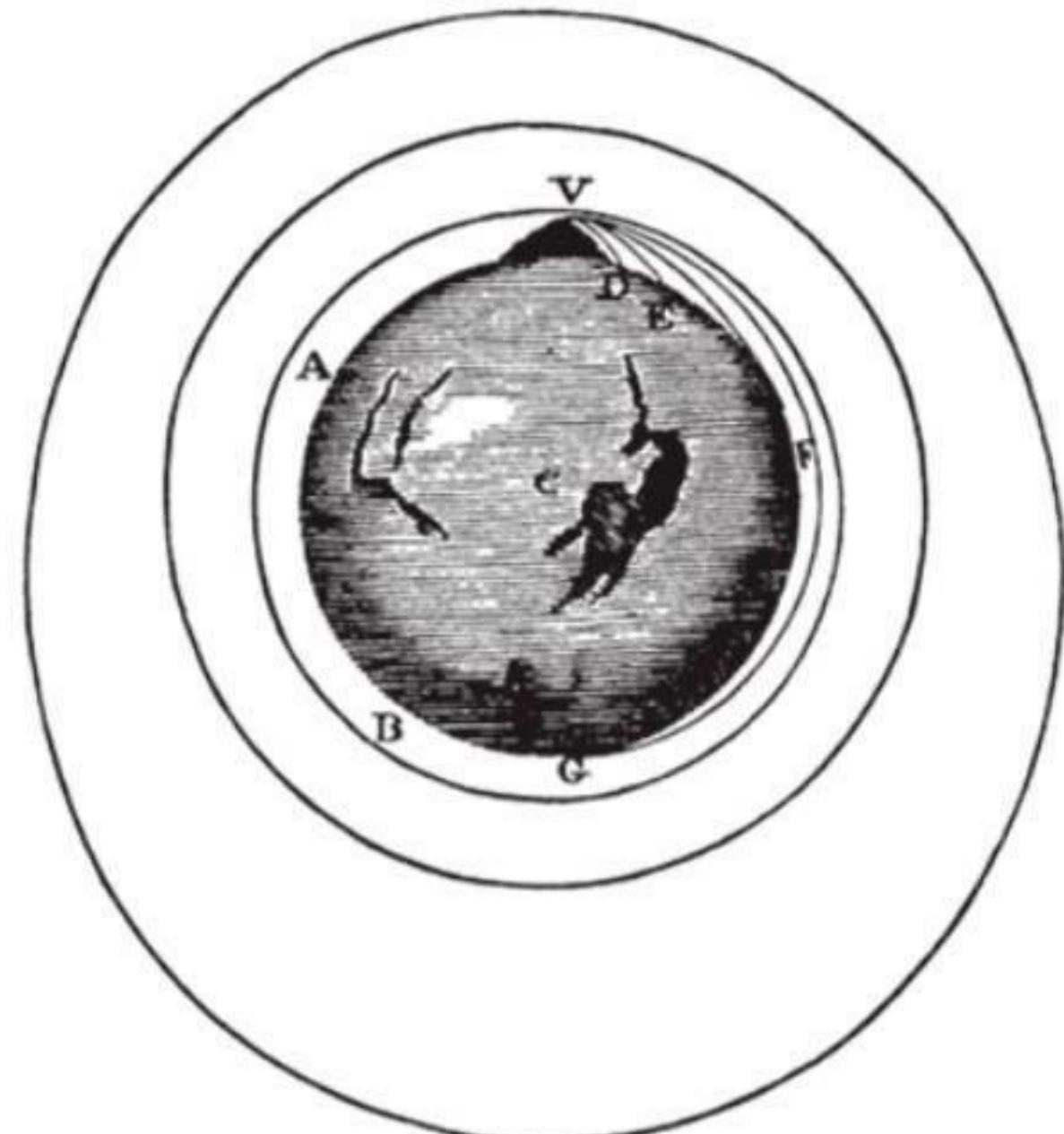
■ Астронавт Дейв Скотт провёл эксперимент с падением молотка и пера на Луне



ПУШКА НЬЮТОНА

Мысленный эксперимент с космической пушкой придумал великий английский физик Исаак Ньютон.

Представьте высочайшую гору, пик которой выходит за пределы атмосферы. На самой её вершине установлена пушка, стреляющая горизонтально. Чем более мощный заряд используется при выстреле, тем дальше от горы будет улетать ядро. При достижении определённой мощности заряда ядро разовьёт такую скорость, что выйдет на орбиту. Сила притяжения для него уравновесится центробежной силой.



В той же работе Ньютона высчитал значение первой космической скорости, необходимой для выхода на орбиту, которая для нашей планеты равна 7,91 км/с.

Идея Ньютона оказалась востребована в XIX веке, когда закладывались основы теории космонавтики. Именно пушку используют для космического полёта персонажи романа Жюля Верна «С Земли на Луну», повлиявшего на пионеров ракетостроения, в том числе на Циолковского. В дальнейшем идею обыгрывали такие писатели, как Жорж Ле Фор и Анри де Графины, Ежи Жулавский и Андрей Платонов. А у Грегори Киза есть альтернативно-исторический роман «Пушка Ньютона» (1998).

ПАРАДОКС ДУБЛИКАТОВ

Мысленный эксперимент, названный позднее «парадоксом дубликаторов» или «парадоксом телепортации», был впервые «проведён» в 1775 году, когда шотландский философ Томас Рид писал лорду Кейму:

«Я был бы рад узнать мнение вашего сиятельства относительно следующего: когда мой





■ В фантастике «парадокс дубликатов» особенно популярен. Из недавних примеров стоит вспомнить фильмы «Шестой день» (2000), «Остров» (2005) и «Пrestиж» (2006)

мозг утратит свою первоначальную структуру и когда, сотни лет спустя, из подобного же материала удивительным способом будет создано разумное существо, смогу ли я считать его собой? Или если два или три подобных существа будут созданы из моего мозга, то могу ли я полагать, что они – это я и, следовательно, одно и то же разумное существо?»

Вопрос, сформулированный Ридом, подводит к серьёзной проблеме тождественности личности, к которой неоднократно обращались философы. Например, Станислав Лем в «Диалогах» (1957) всесторонне рассматривает «парадокс дубликатов» и приходит к выводу, что его нельзя будет разрешить до тех пор, пока мы не узнаем, что такое душа и к каким физическим процессам она сводится.

В 1984 году английский философ Дерек Парфит модифицировал «парадокс дубликатов», описав телепорт, который разбивает человека на атомы и передаёт информацию об этих атомах на Марс, где воссоздаёт из местных ресурсов копию. Парфит задавался вопросом: можно ли считать такой телепорт средством транспортировки и будет ли человек на Марсе тем же, кто расщепился на атомы на Земле?

Задачу можно усложнить. Допустим, телепорт усовершенствовали и он перестал уничтожать оригинал, зато научился создавать бесконечное количество копий человека. Могут ли они считаться полноценными людьми? Парфит пришёл к выводу, что философия не предлагает ни одного удовлетворительного критерия, позволяющего отличить копию от оригинала, а значит, дубликаты должны считаться столь же полноценными. Из этого следует, что закон должен учитывать права «будущих личностей» граждан.

ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ

Представьте двух близнецов, один из которых отправился в межзвёздное путешествие на корабле, летящем с околосветовой скоростью. Другой остался на Земле и состарился быстрее своего брата. Этот мысленный эксперимент замечательно иллюстрирует эффекты, описанные в специальной теории относительности Эйнштейна. Но из него следует парадокс близнецов, который сформулировал французский физик Поль Ланжевен в 1911 году.

Согласно специальной теории относительности, процессы у двигающихся объектов



■ Близнецы-астронавты Скотт и Марк Келли

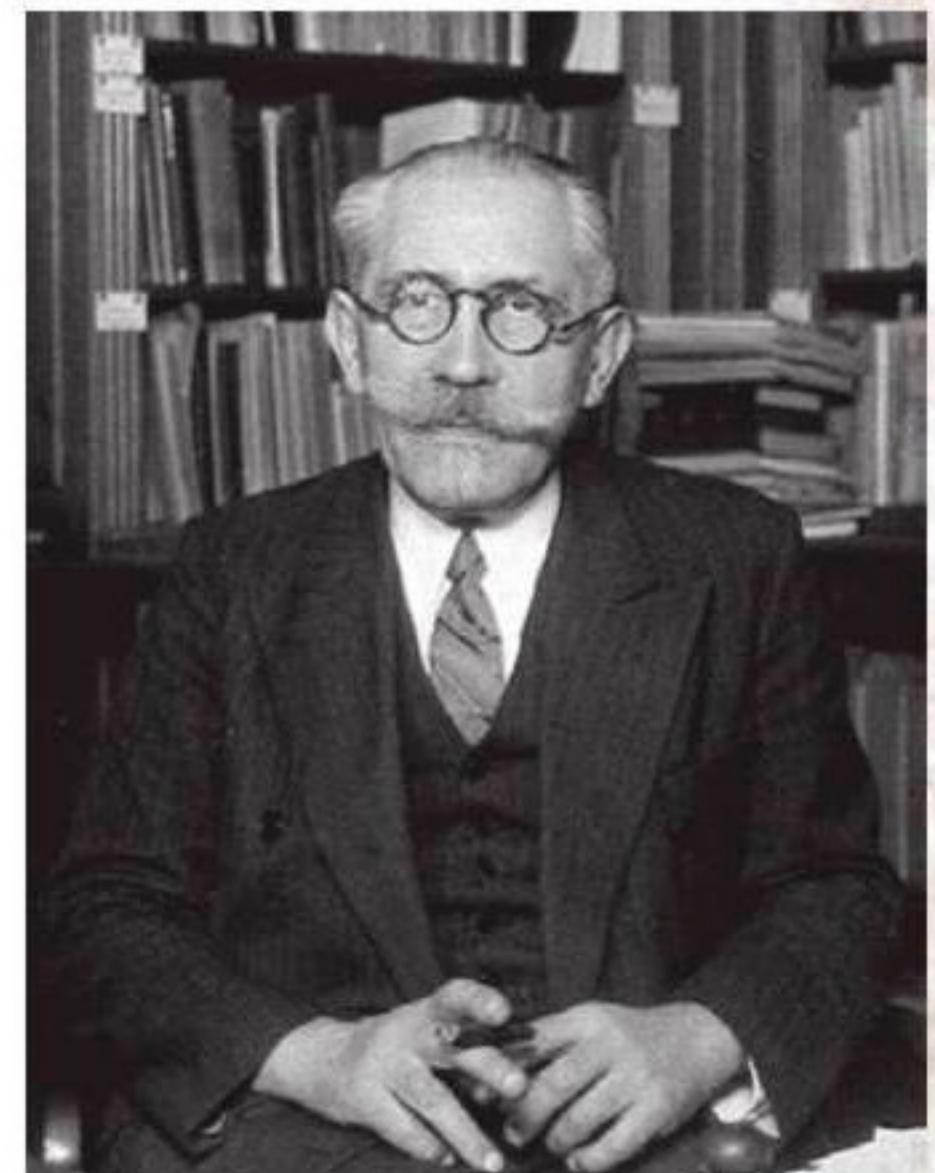
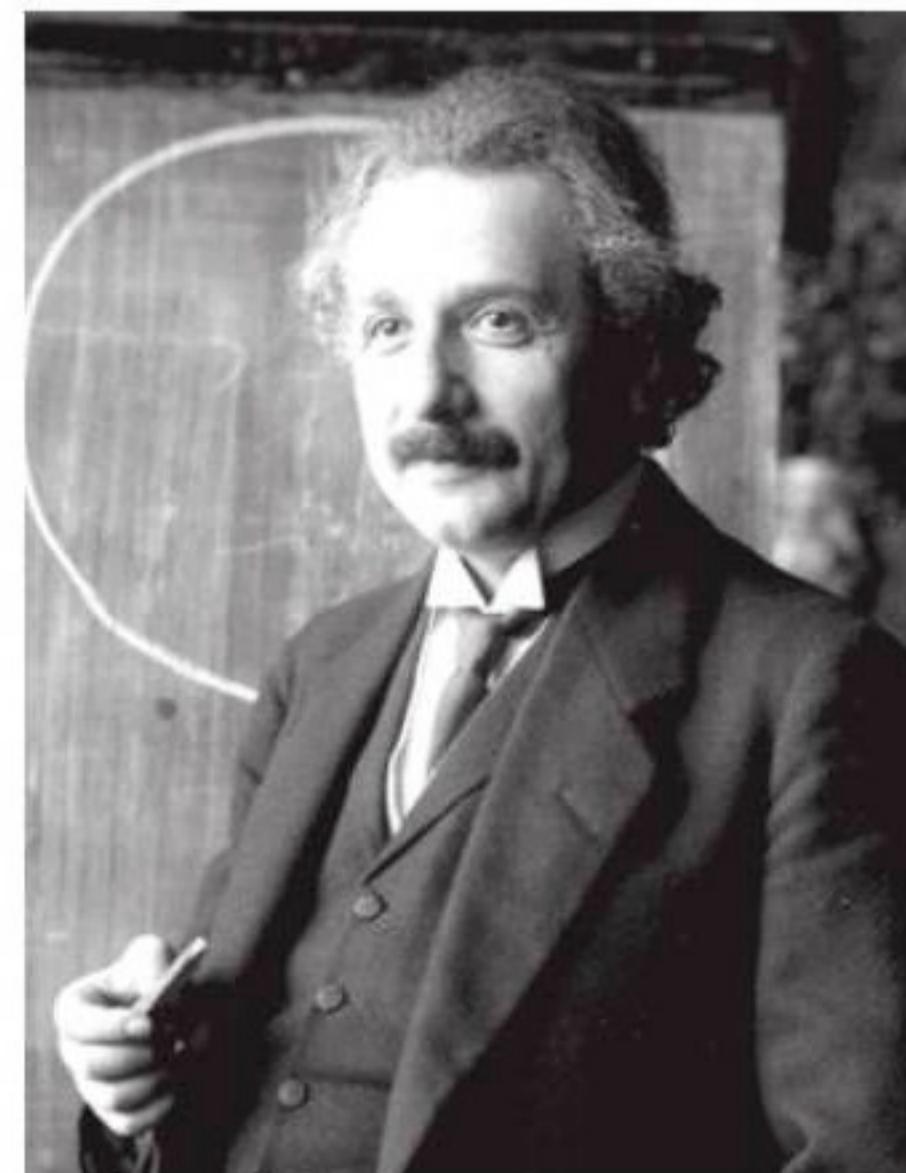
замедляются, то есть близнец, вернувшись из путешествия, будет моложе брата. Например, полёт к альфе Центавра и обратно с ускорением в 1 г в земной системе отсчёта составит 12 лет, а по часам корабля пройдёт 7,3 года. С другой стороны, теория декларирует равноправие инерциальных систем отсчёта. То есть Земля относительно звездолёта тоже движется с увеличивающейся скоростью. Следовательно, и на ней время должно замедляться. Отсюда и возникает противоречие, которое требуется объяснить.

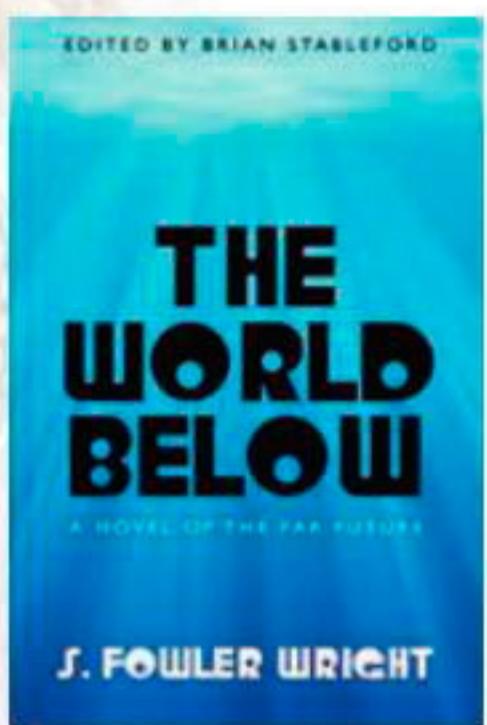
В конце концов объяснения были найдены. Правда, чтобы их вкратце изложить, нужна отдельная статья. Но куда более важно, что эффект замедления времени у быстро движущегося объекта экспериментально зафиксирован у частиц в ускорителях и в атомных часах на спутниках GPS, в показания которых необходимо вносить поправки. Если бы эффект замедления времени не учитывался при использовании этих спутников, то координаты,

■ Альберт Эйнштейн показал, что в быстро движущихся системах время течёт медленнее

■ Поль Ланжевен показал, что

в специальной теории относительности Эйнштейна есть внутреннее противоречие





■ Фантаст Фаулер Райт в романе «Мир внизу» сформулировал парадокс, запрещающий путешествия в прошлое



■ Российский космолог Игорь Новиков ввёл принцип самосогласованности, примиряющий прошлое с будущим

■ Фильм и сериал «12 обезьян» иллюстрируют принцип самосогласованности Новикова

вычисленные на основе GPS, были бы неверными уже через две минуты, и ошибка накапливалась бы со скоростью 10 км в день!

Эффект и его последствия часто описывались в фантастике – от «Туманности Андромеды» (1957) Ивана Ефремова до недавнего «Интерstellара» (2014).

УБИЙСТВО ДЕДУШКИ

Этот мысленный эксперимент с путешествиями в прошлое изначально назывался «парадоксом профессора». Впервые его сформулировал британский фантаст Фаулер Райт в романе «Мир внизу» (1929) устами своего персонажа, профессора:

Какие-либо изменения в прошлом, очевидно, невозможны, всё происходит безвозвратно. В противном случае не было бы никакой окончательности и была бы невыносимая путаница... Например, зная о произошедшем убийстве, я могу отправиться туда и вмешаться, чтобы спасти жертву. В таком случае убийство как бы произошло, но и было предотвращено, что абсурдно.

Двумя годами позже появился рассказ «Полёт во времени» американца Роберта Х. Уилсона, в котором убийство в прошлом не абстрактно, а связано с дедушкой и бабушкой путешественника во времени. В 1933 году стереотип закрепил Нат Шахнер в рассказе «Голоса предков».

«Парадокс убитого дедушки» в современной философии имеет аналог под названием «автоинфантицид»: полёт в прошлое с целью убить себя. Его часто используют как доказательство того, что путешествия во времени невозможны, поскольку нарушают причинно-следственную связь. Например, американский философ Брэдли Доудэн в книге «Логические рассуждения» (1993) заявил:

Никто никогда не создаст машину, которая может отправить человека в прошлое. Никто не должен всерьёз пытаться построить её, ведь существует надёжный аргумент, почему машина не может быть построена. [...] Предположим, у вас есть машина времени, вы вошли в неё и перенеслись в прошлое. Ваши действия могут помешать встрече ваших бабушки и дедушки. Это привело бы к тому, что вы не родились бы и не смогли бы отправиться в прошлое на машине времени. Таким образом, утверждение, что машина времени может быть построена, внутренне противоречиво.



Но, возможно, события прошлого уже включают вторжение пришельца из будущего. Обстоятельства просто помешали ему убить или рассорить предков. Такой точки зрения придерживается космолог Игорь Новиков, который в 1983 году ввёл «принцип самосогласованности». Согласно ему при перемещении в прошлое вероятность действия, изменяющего событие, которое уже случилось, стремится к нулю. Принцип хорошо показан в фильме «12 обезьян» (1995), в рассказах Теда Чана и даже в одном из фильмов о Гарри Поттере.

КОТ ШРЁДИНГЕРА

Мысленный эксперимент с котом (точнее – кошкой) придумал австрийский физик Эрвин Шрёдингер, чтобы продемонстрировать неполноту квантовой механики при переходе от субатомных систем к макроскопическим. Он описал эксперимент в статье «Текущая ситуация в квантовой механике» (1935):

Некая кошка заперта в стальной камере вместе с адской машиной: внутри счётчика Гейгера находится крохотное количество радиоактивного вещества, столь небольшое, что в течение часа может распасться только один атом, но с такой же вероятностью может и не распасться; если же это случится, считывающая трубка разряжается и срабатывает реле, спускающее молот, который разбивает колбочку с синильной кислотой. Если на час предоставить всю систему самой себе, то можно сказать, что кошка будет жива по истечении этого времени, коль скоро распада атома не произойдёт. Первый же распад атома отравил бы кошку. Пси-функция системы в целом будет выражать это, смешивая в себе или размазывая живую и мёртвую кошку (простите за выражение) в равных долях. Типичным в подобных случаях является то, что неопределённость, первоначально ограниченная атомным миром, преобразуется в макроскопическую неопределённость, которая может быть устранена путём прямого наблюдения.

Согласно квантовой механике, если за ядром не наблюдают, его состояние описывается суперпозицией (смешением) двух состояний – распавшегося и нераспавшегося ядра. Значит, кошка в ящике мертва и жива одновременно. Если же ящик открыть, экспериментатор увидит конкретное состояние: «ядро распалось, кошка мертва» или «ядро не распалось, кошка жива».

В 1957 году американец Хью Эверетт выдвинул теорию, что в момент открытия ящи-

■ Кот (или кошка) Шрёдингера давно стал поводом для шуток



ка Вселенная расщепится на две: с мёртвой и с живой кошкой. Поскольку мы сами в обычной жизни ежесекундно делаем выбор (вплоть до того, с какой ноги сегодня встать), каждый миг Вселенная ветвится на бесконечное количество параллельных. Поначалу научное сообщество отвергло теорию Эверетта, но позднее у него появились последователи, и возникла «эвереттика» — мировоззрение, согласно которому Вселенная представляет собой множество реализаций всех мыслимых миров. Идея оказалась востребована фантастами: чтобы перечислить все книги и фильмы, где она обыгрывается, не хватит и статьи.

ОБЕЗЬЯНЫ И «ГАМЛЕТ»

Теорема о бесконечных обезьянах гласит, что миллиард обезьян, беспорядочно стуча по клавишам печатных машинок, рано или поздно напечатает любой текст — даже «Гамлета» или «Войну и мир».

Происхождение теоремы следует искать в трудах Аристотеля, который полагал, что весь мир — случайная комбинация атомов. А поскольку их число и размеры ограничены, высока вероятность повторения комбинаций. Через три века древнеримский оратор Марк Туллий Цицерон возразил Аристотелю, указав, что, если бросить на землю отлитые буквы, вряд ли они составят хоть одну осмысленную строку.

В известном нам виде теорему о бесконечных обезьянах сформулировал французский математик Эмиль Борель. Мысленный эксперимент с обезьянами и пишущими машинками потребовался ему, чтобы проиллюстрировать маловероятность нарушения законов механики с позиций статистики. Борель говорил о том, что теоретически предмет, вручную подброшенный вверх, может не вернуться на Землю, но событие это столь маловероятно, что скорее обезьяны напечатают «Гамлета». А в популярную культуру эксперимент с обезьянами вошёл благодаря юмористическому рассказу Рассела Мэлони «Несокрушимая логика» (1940), где у обезьян, вопреки теории вероятности, всё получилось.

Учёные подсчитали, что если отбросить знаки препинания и пробелы, то вероятность случайного набора «Гамлета», состоящего примерно из 130 тысяч букв, равна $1/3,4 \times 10^{183946}$. Если бы вся обозримая часть Вселенной была заполнена обезьянами, печатающими всё время её существования, вероятность набора ими пьесы повысилась бы до $1/10^{183800}$.

Описанный эксперимент в принципе возможно провести, и в 2003 году это сделали студенты из Плимутского университета (Британия). Шесть хохлатых павианов из местного зоопарка целый месяц работали на компьютере, пытаясь



создать хоть какую-нибудь литературную зарисовку, но только разломали его. В результате получилось пять страниц бессмысленного текста с преобладанием буквы S. Что хотели сказать этим павианы — загадка. Их великий труд был издан ограниченным тиражом под названием «Записки к полному собранию сочинений Шекспира».

МОЗГ В ЧАНЕ



■ Рене Декарт прослыл богохульником за идею, что окружающий мир иллюзорен

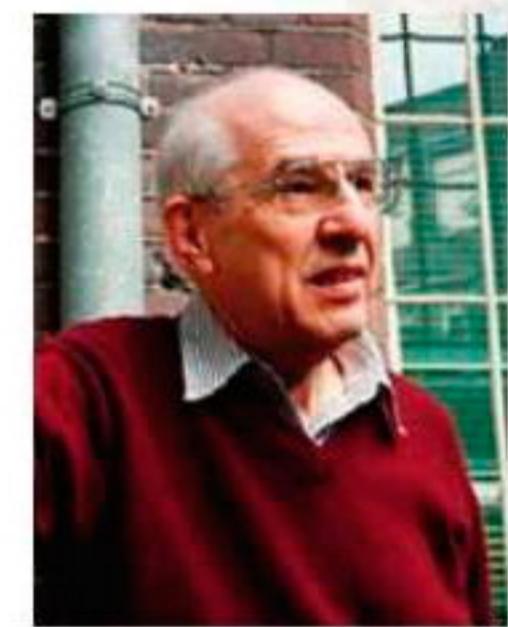
Мысленный эксперимент «мозг в чане» (как вариант — в бочке или колбе) придумал в 1973 году американский философ Гилберт Харман, развивая идею Рене Декарта, изложенную в 1641-м. Тот полагал, что лучший путь к познанию истины лежит через крайний скептицизм. Он проиллюстрировал эту идею гипотезой о существовании «злого демона», который создаёт для философа иллюзию внешнего мира, включая имитацию телесных ощущений. Из гипотезы вытекал ряд вопросов. Например, как можно быть уверенным в том, что прямо сейчас вы не спите?

Гипотеза с демоном, за которую Декарта обвинили в богохульстве, к XX веку устарела, поэтому Харман модернизировал её в духе фантастики. Представьте, что безумный учёный подключил мозг человека к компьютеру, способному генерировать электрические импульсы, идентичные тем, которые мозг получал бы, находясь в теле. Компьютер может симулировать виртуальную реальность, и подопытный, несмотря на отсутствие тела, будет осознавать себя существующим. Никто не может точно узнать, находится его мозг в чане или в теле, а значит, нельзя быть уверенными, что окружающий нас мир реален.

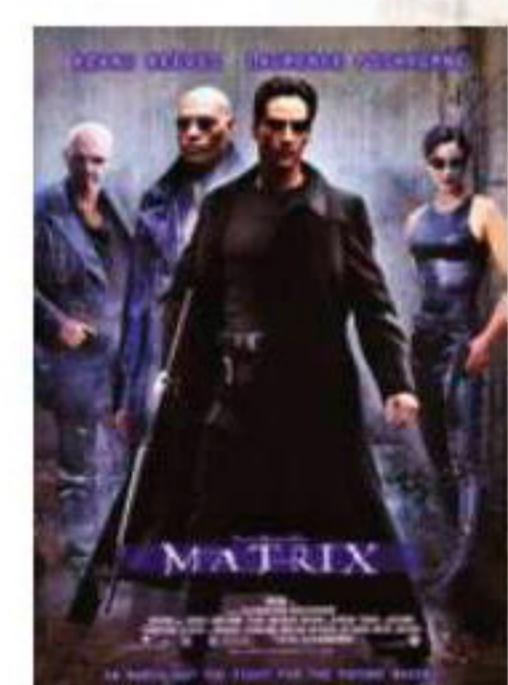
В 1981 году философ Хилари Патнэм расширил идею до целого человечества и породил фантастическое допущение, которое позднее легло в основу кинотрилогии «Матрица». При этом Патнэм показал, что в основе мысленного эксперимента, предложенного Харманом, лежит «самоотрицающее предположение» — утверждение, истинность которого предполагает его же ложность, — и это доказывает существование реальности с позиций логики. Можно вздохнуть с облегчением: «Матрица» — всего лишь голливудская выдумка.

* * *

Конечно, в десяти примерах невозможно описать всё богатство мысленных экспериментов, придуманных учёными. Но и этого достаточно, чтобы увидеть: воображение в науке имеет ничуть не меньшее значение, чем чистота расчёта и точность измерений. И зачастую полёт этого воображения превосходит самые экзотические идеи фантастов. ☀



■ Философ-логик Хилари Патнэм доказал существование объективной реальности



■ Кинотрилогия «Матрица» прекрасно иллюстрирует мысленный эксперимент «мозг в чане»