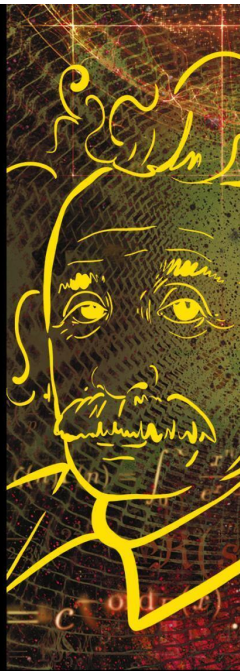


ИДЕИ С ГРАНИЦЫ ПОЗНАНИЯ

ЭЙНШТЕЙН, ГЕДЕЛЬ
И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ

Джим Холт



Джим Холт
Идеи с границы познания.
Эйнштейн, Гёдель
и философия науки
Серия «Удивительная Вселенная»

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=50373031

*Дж. Холт. Идеи с границы познания. Эйнштейн, Гёдель и философия науки: ООО «Издательство АСТ»; Москва; 2020
ISBN 978-5-17-115193-5*

Аннотация

Язык науки, как язык музыки или архитектуры, – особая знаковая система, наделенная философским смыслом. Не каждый способен понять музыкальную гармонию, не всякий разглядит античное изящество и символичность простой формулы. Между тем Платон считал, что у того, кто способен оценить вечную и совершенную красоту математических наук, «возникает желание ее воспроизвести – не биологически, а интеллектуально, “разрешиться от бремени” прекрасными идеями и теориями». И вдохновленные ею ученые стали героями этой книги. Чего стоят только «фракталы Мандельброта с их изысканными узорами»,

абстрактная алгебра Эмми Нётер или Гёделева вселенная без времени.

Содержание

Предисловие	6
Часть первая. Изменчивый образ вечности	12
Глава первая. Когда Эйнштейн прогуливался с Гёделем	12
Глава вторая. Время – великая иллюзия?	33
Часть вторая. Числа в мозге, в обществе и на платоновских небесах	42
Глава третья. С числами в ладу, или Нейрофизиология математики	42
Глава четвертая. Дзета-гипотеза Римана и смех простых чисел	64
Конец ознакомительного фрагмента.	66

Джим Холт
Идеи с границы познания.
Эйнштейн, Гёдель
и философия науки

Jim Holt

When Einstein Walked With Godel: Excursions to the Edge
of Thought

© 2018 by Jim Holt

© Оформление, перевод на русский язык. ООО «Изда-
тельство АСТ», 2020

* * *

Памяти Боба Сильверса

Предисловие

Эти заметки написаны за последние двадцать лет. При отборе я руководствовался следующими принципами. Прежде всего это глубина, мощь и просто красота идей, о которых в них рассказано. Теория относительности Эйнштейна (и специальная, и общая), квантовая механика, теория групп, бесконечность и бесконечно малые величины, теория вычислимости Тьюринга и «проблема разрешимости», теоремы о неполноте Гёделя, простые числа и дзета-гипотеза Римана, теория категорий, топология, пространства высоких размерностей, фракталы, регрессионный анализ и кривая нормального распределения, теория истины – все это входит в число самых восхитительных интеллектуальных достижений, с какими мне приходилось сталкиваться (и к тому же воспитывает смирение). И все они описаны на этих страницах. Мой идеал – светская беседа за коктейлем: лаконично и занятно рассказать любознательному другу о чем-то очень глубоком и сложном, ограничившись самой сутью дела (и, возможно, начирикав что-то наспех на салфетке). Моя цель – просветить неопита, а заодно показать все под новым углом, что порадует и специалиста. И ни в коем случае не даст заскучать.

Во-вторых, меня заботил человеческий фактор. Все эти идеи подарили нам живые люди, прожившие весьма яркую

жизнь. Зачастую в биографиях основоположников великих идей прослеживается нотка абсурда. Создатель современной статистики (и человек, первым задавшийся вопросом о соотношении ролей природы и воспитания в становлении личности) сэр Фрэнсис Гальтон был типичным викторианским ученым-педантом, отправился исследовать африканские буши и пережил там комичные злоключения. А центральной фигурой в истории «проблемы четырех красок» был чудакватый математик и специалист по древним языкам Перси Хивуд, которого друзья прозвали «Котиком» за пышные кошачьи усы.

Однако чаще их биографии окрашены трагически. Эварист Галуа, создатель теории групп, погиб на дуэли, не дожив и до 21 года. Автор самых революционных идей в математике за последние полвека Александр Гротендик окончил свои бурные дни полусумасшедшим отшельником в Пиренеях. Творец теории бесконечности Георг Кантор увлекся кабалистическим мистицизмом и умер в сумасшедшем доме. Ада Лавлейс, икона киберфеминизма, в честь которой назвали язык программирования, используемый Министерством обороны США, страдала нервными кризисами из-за навязчивой идеи, что она должна искупить грехи своего отца лорда Байрона, на чьем счету был инцест – любовная связь со сводной сестрой. Дмитрий Егоров и Павел Флоренский, великие русские ученые, разрабатывавшие теорию бесконечности, были обвинены в антиматериалистическом спиритуа-

лизме и погибли в сталинском Гулаге. Курт Гёдель, величайший логик современности, уморил себя голодом из-за параноидального убеждения, что против него составлен вселенский заговор и его хотят отравить. Дэвид Фостер Уоллес, о чьих попытках подойти к теории бесконечности я еще расскажу, повесился. А Алан Тьюринг, человек, который придумал компьютер, решил главную логическую задачу своего времени и спас бессчетное множество жизней, взломав нацистский код «Энигмы», покончил с собой по не вполне понятным причинам, съев начиненное цианидом яблоко.

Третий принцип составления этого сборника – философский. Все представленные идеи оказывают определяющее воздействие на наши фундаментальные представления о мире (метафизику), на то, как мы приобретаем и проверяем знания (эпистемологию), и даже на то, как мы строим свою жизнь (этику).

Начнем с метафизики. Идея бесконечно малого заставляет задаться вопросом, на что больше похожа реальность – на бочонок патоки (континуум) или на грудку песка (дискретное множество). Теория относительности Эйнштейна либо ставит под сомнение наше представление о времени, либо – если принимать в расчет хитроумные рассуждения Гёделя – вообще исключает его. Квантовая запутанность заставляет усомниться в реальности пространства, поскольку из нее следует, что мы, вероятно, живем в голографической Вселенной. Теория вычислимости Тьюринга подталкивает к пе-

реосмыслению материальной основы разума и сознания.

Теперь возьмем эпистемологию. Большинство великих математиков утверждают, что способны заглянуть в вечное царство абстрактных форм, лежащее вне пределов обыденного мира. Как же они взаимодействуют с этим, по всей видимости, платоновским миром, как черпают в нем знания? Вдруг они фундаментально заблуждаются и математика при всем ее могуществе и полезности, в сущности, сводится к тавтологии, вроде утверждения «Рыжая корова – это корова»? Чтобы наглядно подойти к этому вопросу, я показываю его под другим углом и рассматриваю задачу, которую принято считать величайшей нерешенной проблемой математики, – дзета-гипотезу Римана.

Романтические представления об обретении знаний свойственны и физикам. Если у них нет надежных экспериментальных или наблюдательных данных, на которые можно опереться, они полагаются на чувство прекрасного – именно так без тени смущения называет их эстетическое чутье нобелевский лауреат Стивен Вайнберг. Почти весь прошлый век равенство «красота = истина» физиков не подводило. Но не сбило ли оно их с пути в последние годы – о чем я и спрашиваю в своем эссе «Войны теории струн»?

И, наконец, этика. Эти эссе не раз и не два затрагивают морально-этические вопросы. Евгенические программы в Европе и в США, стимулом для которых послужили теоретические рассуждения сэра Фрэнсиса Гальтона, стали крова-

вым доказательством того, как наука извращает этику. Наша сегодняшняя жизнь стремительно преобразуется под влиянием компьютера, и это должно заставить нас основательно задуматься о природе счастья и творческой самореализации, что и я делаю в эссе «Умнее, счастливее, продуктивнее». А неизбывные страдания, которыми полон наш мир, вынуждают спросить, есть ли пределы требованиям, которые налагает на нас мораль, о чем я и пишу в «Моральной святости». Последнее эссе в этой книге, «Говори что угодно», начинается со знаменитого определения Гарри Франкфурта: чушь – не враждебность истине, а безразличие к ней. Затем мы посмотрим на картину в целом и разберем, почему философы называют истину – может быть, ошибочно? – «соотношением» между языком и миром. Это эссе с его несколько парадоксальной окраской сводит воедино области метафизики, эпистемологии и этики, отчего сборник приобретает завершенность – надеюсь, не только мнимую.

А чтобы меня не обвинили в непоследовательности, позвольте выразить уверенность (уж не самонадеянную ли?), что и «Принцип Коперника», и «Теоремы о неполноте Гёделя», и «Принцип неопределенности Гейзенберга», и «Парадокс Ньюкома», и «Задача Монти Холла» представляют собой исключения из закона Стиглера об эпонимии (см. стр. 371).

Дж. Х.

Нью-Йорк, 2017 г.

Часть первая. Изменчивый образ вечности

Глава первая. Когда Эйнштейн прогуливался с Гёделем

В 1933 году Альберт Эйнштейн переехал в Америку. Все свои величайшие открытия он уже совершил. Последние двадцать два года жизни он провел в Принстоне, в штате Нью-Джерси, в качестве приглашенной звезды среди сотрудников Института передовых исследований. Новое место вполне устраивало Эйнштейна, а все трудности он преодолевал по мере поступления. «Принстон – чудесный уголок и к тому же крайне занятный тихий омут, где крошечные полубоги на тонких ножках вершат свои церемонии», – заметил он как-то раз. Каждое утро начиналось у него с неспешной прогулки из дома на Мерсер-стрит, 112, в свой кабинет в институте. К этому времени он стал одним из самых знаменитых и к тому же самых узнаваемых людей на планете – с его неподражаемой седой гривой и в мешковатых штанах на подтяжках.

Через десять лет после прибытия в Принстон Эйнштейн нашел себе спутника для этих прогулок – человека много

моложе, который рядом с вечно растрепанным Эйнштейном казался особенно элегантным: белый льняной костюм и шляпа в тон. Приятели оживленно болтали по-немецки сначала утром, всю дорогу до института, а затем под вечер, по пути домой. Человека в костюме узнавали далеко не все горожане, однако Эйнштейн разговаривал с ним как с равным – как с ученым, в одиночку совершившим понятийную революцию. Эйнштейн своей теорией относительности перевернул наши привычные представления о физическом мире, а его младший спутник Курт Гёдель столь же радикально переписал картину абстрактного мира математики.

Гёдель, которого часто называли величайшим логиком со времен Аристотеля, был фигурой странной и в конечном итоге трагической. Эйнштейн был веселый жизнелюб и душа компании, а Гёдель всегда отличался серьезностью, замкнутостью и пессимизмом. Эйнштейн обожал играть на скрипке, любил Бетховена и Моцарта, а у Гёделя были совсем иные вкусы: его любимым фильмом была диснеевская «Белоснежка и семь гномов», а когда его жена поставила в саду розового фламинго, он объявил, что это *furchtbar herzig* – «жуть какая прелесть». Эйнштейн был большим ценителем сытной немецкой кухни и никогда не боролся со своим здоровым аппетитом, а рацион ипохондрика Гёделя состоял из сливочного масла, детского питания и слабительных. И хотя в личной жизни Эйнштейна были свои драмы, друзья и коллеги знали его как человека с легким характером, который везде чув-

ствует себя как дома. А у Гёделя, наоборот, была склонность к паранойе. Он верил в призраки, страшно боялся отравления газами из холодильника, отказывался выходить из дома, когда в город приезжали некоторые выдающиеся математики – по всей видимости, из опасения, что они попытаются его убить. «Хаос – это всегда лишь видимость», – повторял он: первая аксиома параноика.

Хотя другие сотрудники института считали мрачного логика тяжелым и неприступным, Эйнштейн твердил, что ходит на работу «только ради чести прогуляться до дома с Куртом Гёделем». Отчасти, вероятно, дело было в том, что Гёделя репутация Эйнштейна ничуть не смущала и он не стеснялся ставить под сомнение его идеи. Физик Фримен Дайсон, который тоже работал тогда в институте, отмечал: «Гёдель был... единственным из наших коллег, кто гулял и разговаривал с Эйнштейном на равных». Да, Эйнштейн и Гёдель словно стояли на ступень выше остального человечества, но верно и другое: по словам Эйнштейна, они оба стали «музейными экспонатами». Эйнштейн так и не принял квантовую теорию Нильса Бора и Вернера Гейзенберга. Гёдель полагал, что математические абстракции столь же реальны, как столы и стулья – а философы считают такие представления смешными и наивными. И Гёдель, и Эйнштейн утверждали, что мир не зависит от нашего сознания, однако рационально устроен и умопостижаем. Объединенные чувством интеллектуальной изоляции, они находили утешение в об-

честве друг друга. «Они больше ни с кем не хотели разговаривать, – говорил еще кто-то из сотрудников института. – Только друг с другом».

Многих интересовало, о чем же они беседуют. Резонно предположить, что одной из тем была политика. (Эйнштейн разделял взгляды Эдлая Стивенсона и в 1952 году был вне себя, когда узнал, что Гёдель решил голосовать за Дуайта Эйзенхауэра). Несомненно, говорили они и о физике. Гёдель был прекрасно подкован в этой области, он разделял недоверие Эйнштейна к квантовой теории, но скептически относился и к более старой идее физиков предложить взамен «единую теорию поля», которая объединила бы все известные взаимодействия в детерминистскую систему. Обоим нравились задачи «неподдельной важности», как называл их Эйнштейн, – задачи, относящиеся к базовым элементам реальности. Гёделя особенно занимала природа времени – вопрос философский, как говорил он другу. Как такая «загадочная и, по всей видимости, противоречивая» сущность, недоумевал он, может «формировать основу мира и нашего существования»? Эйнштейн обладал некоторыми профессиональными знаниями в этой области.

За несколько десятилетий до этого, в 1905 году, Эйнштейн доказал, что время в привычном понимании и ученых, и простых людей – лишь фикция. И это было далеко не единственное его достижение в тот год. В начале 1905 года двадцатипятилетний Эйнштейн работал инспектором в па-

тентном бюро в Берне. Получить докторскую степень по физике ему не удалось, и он временно отказался от мыслей о карьере ученого, признавшись приятелю, что «вся эта комедия ему наскучила». Недавно он прочитал книгу Анри Пуанкаре, величайшего французского математика, где были сформулированы три фундаментальные нерешенные задачи науки. Первой из них был «фотоэлектрический эффект»: как ультрафиолетовое излучение выбивает электроны из поверхности металлической пластинки? На втором месте было «броуновское движение»: почему частички пылцы в воде движутся хаотичными зигзагами? На третьем – «светоносный эфир», который якобы заполнял все пространство и служил средой для распространения световых волн подобно тому, как звуковые волны распространяются в воздухе, а океанские – в воде: почему никакие эксперименты не обнаружили доказательств, что Земля движется сквозь эфир?

Каждая из этих задач в принципе могла бы выявить глубинную простоту природы, в которой Эйнштейн был убежден. Безвестный клерк в одиночку, безо всяких связей с научным сообществом, легко решил все три. Свои решения он изложил в четырех статьях, написанных в марте, апреле, мае и июне 1905 года. В мартовской статье о фотоэлектрическом эффекте Эйнштейн сделал вывод, что свет состоит из отдельных частиц, которые впоследствии называли фотонами. В апрельской и майской статьях он окончательно доказал существование атомов, дал теоретическую оценку их разме-

ров и показал, что их столкновения вызывают броуновское движение. В июньской статье, посвященной задаче об эфире, Эйнштейн рассказал о теории относительности. А затем, словно на бис, опубликовал в сентябре трехстраничную заметку, в которой содержалась самая знаменитая формула за всю историю науки: $E=mc^2$.

В этих статьях было что-то волшебное, к тому же они затронули самые глубокие убеждения научного сообщества. Однако особое место по масштабу и дерзости занимает июньская статья Эйнштейна. На тридцати страницах он сухо и лаконично переписал законы физики. Начал он с двух жестких принципов. Во-первых, законы физики абсолютны, они действуют одинаково для всех наблюдателей. Во-вторых, абсолютна и скорость света, она тоже одинакова для всех наблюдателей. Второй принцип не так очевиден, как первый, однако подсказан той же логикой. Поскольку свет — это электромагнитная волна, о чем было известно еще в XIX веке, его скорость определяется законами электромагнетизма, а эти законы должны быть одинаковы для всех наблюдателей, поэтому все должны видеть, что свет движется с одной и той же скоростью, независимо от системы отсчета. Но все же со стороны Эйнштейна было большой смелостью принять принцип постоянства скорости света, поскольку следствия из него были попросту абсурдны.

Предположим для живости и наглядности, что скорость света — 100 километров в час. Теперь предположим, что я

стою на обочине дороги и вижу, как мимо пролетает с этой самой скоростью луч света. Затем я вижу, как вы едете вслед лучу на автомобиле со скоростью 60 километров в час. С моей точки зрения световой луч летит быстрее вас на сорок километров в час. Но получается, что вы за рулем машины видите, как световой луч улетает от вас со скоростью 100 километров в час, как будто вы стоите: этого требует принцип постоянства скорости света. А если вы надавите на газ и разгонитесь до 99 километров в час? Теперь я вижу, что свет мчится быстрее вас лишь на один километр в час. Но для вас в салоне машины луч по-прежнему улетает вперед со скоростью 100 километров в час, несмотря на то, что ваша скорость возросла. Как же так? Разумеется, скорость равна расстоянию, поделенному на время. Очевидно, что чем быстрее вы мчитесь в автомобиле, тем короче становится ваша линейка и тем медленнее тикают ваши часы относительно моих, иначе нам не достичь согласия по поводу скорости света. (Если бы я достал бинокль и посмотрел на ваш разгоняющийся автомобиль, то увидел бы, что его длина сократилась, а вы внутри движетесь будто в замедленной съемке.) Тогда Эйнштейн принялся соответствующим образом переформулировать законы физики. Чтобы сделать их абсолютными, он сделал время и расстояние относительными.

Особенно поражало, что он пожертвовал абсолютным временем. Исаак Ньютон считал, что время – самое объективное, универсальное и трансцендентное из всех природ-

ных явлений: «Абсолютное, истинное математическое время... безо всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно», – пишет он на первых страницах своих «Начал»¹. Однако Эйнштейн понимал, что с нашей точки зрения время – лишь следствие из опыта взаимодействия с ритмичными явлениями: сердцебиением, вращением планет вокруг своей оси и по орбитам, тиканья часов. «Все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях. Если я, например, говорю: “Этот поезд прибывает сюда в 7 часов”, – то это означает примерно следующее: “Указание маленькой стрелки моих часов на 7 часов и прибытие поезда суть одновременные события”» («К электродинамике движущихся тел»²), – писал Эйнштейн в своей июньской статье. Если события происходят на каком-то расстоянии друг от друга, судить об одновременности можно, только посылая в обе стороны световые сигналы. Опираясь на эти основные принципы, Эйнштейн доказал, что мнение наблюдателя об «одновременности» двух событий зависят от его движения. Иначе говоря, никакого вселенского «сейчас» не существует. Когда разные наблюдатели делят хронологическую ось на прошлое, настоящее и будущее по-разному, из этого следует, что все моменты сосуществуют с равной вероятностью и одинаково реальны.

¹ Здесь и далее пер. А. Крылова.

² Пер. А. Базя, Л. Пузикова и А. Сазыкина.

Выводы Эйнштейна были продуктом чистой мысли, возникшим из самых строгих предположений о природе вещей. Прошло больше ста лет с тех пор, как он их сделал, и теперь мы знаем, что их подтвердил целый ряд экспериментов. Однако когда Эйнштейн подал статью об относительности, изданную в 1905 году, как диссертацию, ее отклонили (и тогда он подал взамен апрельскую статью о размерах атомов, у которой, по его мнению, было меньше шансов отпугнуть экзаменаторов, и ее приняли, но лишь после того, как Эйнштейн добавил одно предложение, чтобы соответствовать требованиям об объеме текста). Когда в 1921 году Эйнштейн получил Нобелевскую премию по физике, ее присудили за работу о фотоэлектрическом эффекте. Шведская Академия запретила ему даже упоминать об относительности в нобелевской речи. Но вышло так, что Эйнштейн не смог попасть на церемонию в Стокгольм. Нобелевскую речь он прочитал в Гетеборге, а в первом ряду сидел король Густав V. Его величество пожелал узнать о теории относительности, и Эйнштейн повиновался.



В 1906 году, через год после *annus mirabilis*, года чудес, Эйнштейна, в городе Брно (на территории нынешней Чешской Республики) родился Курт Гёдель. Ребенком Гёдель был и любознательным – родители и брат прозвали его «герр

Варум» («господин Почему») – и нервным. В пять лет у него, судя по всему, было легкое тревожно-невротическое расстройство. В восемь он пережил тяжелейшую ревматическую атаку, после чего всю жизнь был убежден, что у него непоправимые нарушения работы сердца и это смертельно.

В 1924 году Гёдель поступил в Венский университет. Он собирался изучать физику, но вскоре его пленила своей красотой математика, особенно мысль о том, что абстракции вроде чисел и окружностей существуют вечно и неизменно, независимо от человеческого сознания. Это учение называется платонизм, поскольку происходит от теории идей Платона, и всегда было популярно среди математиков. Однако в венских философских кругах двадцатых годов платонизм считался безнадежно устаревшим. В богатейшей культуре венских кафе процветали всевозможные интеллектуальные направления, но наибольшую известность получил «Венский кружок» – группа мыслителей, объединенных представлением о том, что философию следует очистить от метафизики, переосмыслить и превратить в точную науку. Под влиянием Людвиг Витгенштейна, невольно ставшего их гуру, члены Венского кружка стали считать математику игрой с символами, вроде шахмат, только сложнее. Они полагали, что утверждение наподобие « $2+2=4$ » истинно не потому, что оно точно описывает какой-то абстрактный мир чисел, а потому, что его можно вывести в рамках логической системы в соответствии с определенными правилами.

Гёделя привел в Венский кружок его университетский преподаватель, однако о своих платонических воззрениях молодой человек предпочитал молчать. Он любил строгость во всем и не терпел споров, поэтому не хотел отстаивать свои воззрения, пока не разработает безупречного доказательства своей правоты. Но как доказать, что математику нельзя свести к логическим ухищрениям? Гёдель избрал тактику сверхъестественно хитрую и одновременно, по словам философа Ребекки Голдштейн, «умопомрачительно красивую»: он обратил логику против себя самой. Он начал с логической системы математики – предполагалось, что эта система лишена противоречий – и построил своеобразную схему, благодаря которой смысл формул стал демагогическим. Формула, говорившая что-то о числах, согласно этой схеме могла толковаться как высказывание о других формулах и об их логическом соотношении друг с другом. Более того, как показал Гёдель, численную формулу можно заставить даже сказать что-то о себе самой. Тщательно выстроив этот аппарат математической самоссылаемости, Гёдель придумал поразительный трюк: составил формулу, которая не просто прямо говорила что-то о числах, но и добавляла: «Я недоказуема». Поначалу показалось, будто это парадокс, ведь он напоминает древнюю притчу о критянине, который говорил, что все критяне лжецы. Однако ссылающаяся сама на себя формула Гёделя говорит не о своей истинности, а о своей доказуемости. Может ли она лгать, утверждая «Я недоказуема»? Нет:

если бы она лгала, это означало бы, что она доказуема, а доказуемость сделала бы ее истинной. Потому, утверждая, что ее нельзя доказать, она говорит истину. Но истинность этого утверждения видна только извне логической системы. Внутри системы его нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Таким образом, система неполна, поскольку есть по крайней мере одно истинное утверждение о числах, то самое, которое говорит «я недоказуемо», которое нельзя доказать изнутри системы. Такой вывод – что ни одна логическая система не способна вместить все математические истины – известна как первая теорема о неполноте. Гёдель также доказал, что нет такой логической системы, описывающей математику, которая была бы свободна от непоследовательности, причем это можно было бы доказать ее же средствами – этот результат известен как вторая теорема о неполноте.

Витгенштейн как-то заявил, что «в логике не может быть неожиданностей». Однако теоремы Гёделя о неполноте появились совершенно неожиданно. Более того, когда начинающий логик в 1930 году представил их на конференции в немецком городе Кенигсберге, в них почти никто ничего не понял. Что это значит – говорить, что математическое выражение истинно, если нет никакой возможности его доказать? Нелепица какая-то. В недоумении был даже Бертран Рассел, в прошлом великий логик; похоже, у него сложилось ошибочное впечатление, что Гёдель нашел какое-то противоречие в самой системе математики. «Нам что, теперь счи-

тать, будто $2+2$ – не 4, а 4,001?» – десятилетия спустя спрашивал Рассел в полной растерянности и добавлял: «Как хорошо, что я оставил занятия математической логикой». Но когда до специалистов стало доходить, что следует из теорем Гёделя, многие бросались словами вроде «крах», «катастрофа» и «кошмар». Оказывается, представления, что математики, вооружившись логикой, способны разрешить в принципе любую головоломку, что в математике не может быть *ignorabimus*, о чем так часто говорили, – все это было лишь вопросом веры. Теоремы Гёделя разрушили идеальную картину полноты знания.

Однако самому Гёделю все виделось иначе. Он считал, что показал, что математика обладает плотью и реальностью, выходящими за пределы любой логической системы. Гёдель был твердо убежден, что логика – не единственный путь к познанию этой реальности, у нас еще есть своего рода экстрасенсорное ее восприятие, «математическая интуиция», по его выражению. Именно эта способность позволяет нам, например, увидеть, что формула, говорящая «я недоказуема», должна быть истинной, хотя она и не поддается доказательству в пределах системы, в которой обитает. Некоторые мыслители, например, физик Роджер Пенроуз, развили эту тему и пришли к выводу, что из теорем Гёделя о неполноте можно сделать глубочайшие выводы о природе человеческого разума. Наши ментальные способности изначально превосходят возможности любого компьютера, поскольку ком-

пьютер – это не более чем логическая система, обеспеченная электронным оборудованием, а наш разум может формулировать истины, недоступные логической системе.

Гёдель доказал свои теоремы о неполноте в 24 года (он был тогда немного моложе, чем Эйнштейн, когда создал теорию относительности). В тот период к вящему неудовольствию родителей, придерживавшихся строгой лютеранской морали, Гёдель ухаживал за разведенной католичкой по имени Адель, которая была старше его и в довершение всего работала танцовщицей в венском ночном клубе *Der Nachtfalter* («Ночная бабочка»). Когда к власти в Германии пришел Гитлер, политическая ситуация в Австрии окончательно запуталась, но Гёдель, похоже, ничего не замечал. В 1936 году Венский кружок распался после того, как его основателя убил сумасшедший студент. Через два года произошел аншлюс. Гёдель наконец понял, что времена настали скверные: к нему на улице пристала компания юных нацистов – хулиганы сбили с него очки, но были вынуждены отступить, когда Адель осыпала их ударами зонтика. Тогда Гёдель решил уехать в Принстон, где ему предлагали место в Институте передовых исследований. Но поскольку война уже началась, Гёдель решил, что плыть через Атлантический океан опасно. Поэтому Курт и Адель – к этому времени они уже поженились – двинулись кружным путем через СССР, Тихий океан и США и попали в Принстон в начале 1940 года. В институте Гёделю отвели кабинет почти прямо над кабинетом Эйнштейна.

Остаток жизни Гёдель провел в Принстоне практически безвыездно и считал, что этот город «в десять раз приятнее» некогда обожаемой Вены.

В большом мире Гёделя еще не знали, однако среди понимающих он считался чуть ли не богом. «Просто в голове не укладывалось, что в ярко-оранжевой принстонской телефонной книге значилось и “К. Гёдель” – как будто так и надо, среди всех прочих фамилий, – рассказывает в интеллектуальной биографии Гёделя «Неполнота: доказательство и парадокс Курта Гёделя» (Goldstein, R., *Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel*) Ребекка Голдштейн, приехавшая в Принстон в начале семидесятых, чтобы писать диссертацию по философии. – Все равно что открыть телефонную книгу – а там значатся Б. Спиноза и И. Ньютон». Далее Ребекка Голдштейн вспоминает, как «однажды обнаружила в супермаркете Дэвидсона философа Ричарда Рорти – тот буквально застыл на месте. И приглушенным голосом сообщил мне, что только что видел Гёделя в отделе замороженных продуктов».

Великий логик был так наивен, совсем не от мира сего, что Эйнштейн считал своей обязанностью следить за бытовой стороной его жизни. Часто рассказывают историю о том, как Гёдель после войны решил получить американское гражданство. К этому вопросу Гёдель относился с крайней серьезностью и для подготовки к экзамену досконально протудировал Конституцию США. В назначенный день Эйн-

штейн пошел вместе с ним в здание суда в Трентоне и был вынужден вмешаться и успокоить Гёделя, когда разволнованный логик принялся объяснять судье, что в Конституции содержится лазейка, допускающая возникновение диктатуры³.

Примерно в то же время, когда Гёдель изучал Конституцию, он присмотрелся и к теории относительности Эйнштейна. Главный принцип теории относительности гласит, что законы физики должны быть одинаковы для всех наблюдателей. Когда Эйнштейн впервые сформулировал этот принцип в своей революционной статье 1905 года, то ограничил круг «всех наблюдателей» теми, кто движется равномерно и прямолинейно друг относительно друга. Но вскоре он понял, что это ограничение произвольно. Чтобы законы физики описывали природу с подлинной объективностью, они должны иметь силу для наблюдателей, движущихся друг относительно друга как угодно – хоть по кругу, хоть по спирали, хоть с ускорением. Так Эйнштейн перешел от «специальной» теории относительности, которую выдвинул в 1905 году, к «общей» теории относительности, над уравнениями которой работал следующие десять лет и опубликовал их в 1916 году. Мощь этих уравнений в том, что они описывали гравитацию – силу, которая задает общую форму мироздания.

³ Подробнее об этом случае см. в эссе «Гёдель против американской Конституции» в этом же сборнике.

Прошло несколько десятков лет, и Гёдель во время прогулок с Эйнштейном получил возможность обсудить тонкости теории относительности с самим ее творцом. Эйнштейн показал, что течение времени зависит от движения и гравитации, а разделение событий на прошлое и будущее относительно. Гёдель занял более радикальную позицию: он полагал, что времени в его интуитивном понимании и вовсе не существует. Как всегда, простой словесной аргументации Гёделю было мало. Об этом говорили самые разные философы – и Парменид во времена античности, и Иммануил Кант в XVIII веке, и Джон Эллис Мак-Таггарт уже в начале XX века, – но они никого не убедили. Гёделю требовалось доказательство, обладающее строгостью и определенностью математики. И он обнаружил, что в глубинах теории относительности таится именно то, что ему нужно. Свои рассуждения он подарил Эйнштейну в день его семидесятилетия в 1949 году вместе с гравюрой (жена Гёделя связала Эйнштейну свитер, но в последний момент решила его не дарить).

Гёдель обнаружил, что теория относительности допускает существование вселенной, которую до этого нельзя было даже вообразить. У уравнений общей теории относительности много разных решений. Каждое из этих решений – это, в сущности, модель возможной вселенной. Эйнштейн из философских соображений считал, что Вселенная вечна и неизменна, и поэтому подправил уравнения, чтобы они допускали такую модель, а впоследствии назвал эту поправку

«своей величайшей ошибкой»⁴. Другой физик (кстати, священник-иезуит) нашел решение, соответствующее расширяющейся вселенной, которая родилась в какой-то момент в прошлом. А поскольку это решение, получившее название «модель Большого взрыва», совпадает с наблюдениями астрономов, видимо, именно оно и только оно описывает реальную Вселенную.

Однако Гёдель придумал третью разновидность решения уравнений Эйнштейна, согласно которой Вселенная не расширяется, а вращается. (При этом все не схлопывается под воздействием гравитации благодаря центробежной силе, возникающей при вращении.) Наблюдатель в такой вселенной видел бы, как вокруг него медленно вращаются галактики, но знал бы, что вращается именно вселенная, а не он, поскольку не ощущал бы головокружения. Однако самое диковинное в такой вращающейся вселенной, как показал Гёдель, – то, как ее геометрия смешивает пространство и время. Обитатель вселенной Гёделя, совершив достаточно длительный круговой полет на ракете, мог бы вернуться в любую точку в собственном прошлом. Эйнштейну не очень понравилось, что его формулы допускают какие-то приключения Алисы в Стране чудес – пространственные траектории, замкнутые назад во времени; он даже признавался, что все-

⁴ Это распространенный миф, который сочинил известный выдумщик Георгий Гамов. На самом деле Эйнштейн называл своей величайшей ошибкой письмо президенту Рузвельту от 2 августа 1939 года с настоятельной просьбой запустить в США программу ядерных исследований. – *Прим. перев.*

ленная Гёделя его «беспокоит». Других физиков удивляло, что путешествия во времени, которые до той поры считались уделом научной фантастики, оказывается, не противоречат законам физики. (Потом они дружно задались вопросом, что будет, если вернуться в прошлое до своего рождения и убить своего дедушку.) Сам Гёдель сделал другой вывод. Если возможно путешествие во времени, заключил он, значит, невозможно само время. Если в прошлое можно вернуться, значит, оно не прошло. И тогда неважно, что на самом деле Вселенная не вращается, а расширяется. Время подобно Богу – его либо нет, либо оно не нужно, и если оно исчезает в одной возможной вселенной, его существование сомнительно во всех возможных вселенных, и в нашей в том числе.

Удивительный космологический подарок от Гёделя Эйнштейн получил не в самую счастливую пору своей жизни. Поиски единой теории физики, которым посвятил себя Эйнштейн, плодов не принесли, а неприятие квантовой теории заставило его отдалиться от основных направлений в физике того времени. Семейная жизнь едва ли служила утешением. Эйнштейн был женат дважды, и оба раза неудачно, о судьбе его внебрачной дочери ничего не известно, один из двоих сыновей заболел шизофренией, другой не стремился общаться с отцом. Круг друзей Эйнштейна сузился до нескольких человек, в числе которых был Гёдель, а также бельгийская королева Елизавета, которой он в марте 1955 года признался, что «мои труды пользуются чрезмерным уважением,

и это меня очень смущает. Мне волей-неволей приходится считать себя самозванцем». Через месяц Эйнштейн умер; ему было 76 лет. Когда Гёдель с коллегой пришли в кабинет, чтобы разобрать его бумаги, они обнаружили, что доска исписана уравнениями, заводящими в тупик.

После смерти Эйнштейна Гёдель еще сильнее ушел в себя. Он предпочитал вести разговоры только по телефону, даже если собеседник находился в соседней комнате. Если ему особенно сильно хотелось избежать встречи с кем-то, он назначал точное время и место для randevu и нарочно оказывался оттуда подальше. Когда ему пытались воздать почести, он относился к этому с настороженностью. В 1953 году он приехал в Гарвард, чтобы получить звание почетного доктора, поскольку его теоремы о неполноте назвали важнейшим математическим открытием столетия, но впоследствии жаловался, что ему «незаслуженно навязали компанию отъявленного спорщика» Джона Фостера Даллеса, который получал такую же степень вместе с ним. Когда Гёдель в 1974 году получал Национальную медаль за научные достижения, то отказался ехать в Вашингтон на прием к президенту Джеральду Форду в Белый дом, хотя тот предложил прислать своего шофера за ним и его супругой. У Гёделя случались приступы галлюцинаций, он мрачно намекал, что некие силы «непосредственно стремятся погубить все доброе» в мире. И упорно отказывался от пищи, поскольку боялся заговора с целью его отравить. В конце концов он по-

пал в Принстонскую больницу – по словам друга, он выглядел тогда «как живой труп». И две недели спустя, 14 января 1978 года, скончался там, уморив себя голодом. Согласно свидетельству о смерти, причиной стали «недоедание и истощение», вызванные «расстройствами личности».

Последние годы обоих, и Гёделя, и Эйнштейна, прошли под знаком тщетности усилий. Но самыми тщетными были их сознательные усилия поверить в нереальность времени. Понятно, почему эта мысль казалась им такой соблазнительной. Если время существует только в нашем сознании, можно надеяться сбросить его оковы и очутиться в вечности, где времени нет. И тогда мы сможем вслед за Уильямом Блейком сказать: «Я вижу прошлое, настоящее и будущее – все одновременно / Пред собою». В случае Гёделя мысль о вселенной без времени была такой привлекательной, возможно, из-за страха смертельной болезни сердца, который преследовал ученого с детства. К концу жизни Гёдель как-то признался, что давно ждал откровения, которое позволило бы ему увидеть мир в новом свете, но так и не дождался.

Эйнштейну тоже не удалось окончательно порвать отношения со временем. «Те из нас, кто верит в физику, – писал он вдове недавно умершего друга, – считают разделение между прошлым, настоящим и будущим лишь иллюзией, пусть и очень стойкой». А когда всего недели через две настал его черед, он сказал: «Время уходить».

Глава вторая. Время – великая иллюзия?

У Исаака Ньютона было особое представление о времени. Он считал его чем-то вроде вселенских напольных часов, которые стоят выше всей природы и наслаждаются полной независимостью. И полагал, что время идет плавно и непрерывно и течет из прошлого в будущее («Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, безо всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно»). Тем, кого влечет временной вихрь повседневной жизни, это кажется полной чепухой. Время вовсе не представляется нам трансцендентным и математическим, это что-то глубоко личное и субъективное. И оно вовсе не шествует ровной неменяющейся поступью. Мы знаем, что у времени может быть разный темп. Например, перед Новым годом время прямо-таки летит. А потом, в январе-феврале, еле тащится. Более того, время для одних бежит быстрее, для других медленнее. Стариков тащит в будущее с беспощадной быстротой. Когда ты взрослый, Рождество наступает каждые пять минут, как заметила Фрэн Лебовиц. А с точки зрения маленьких детей время идет довольно медленно. Бесконечная новизна детского жизненного опыта растягивает одно-единственное лето на целую вечность. По оценкам психологов, к восьми годам человек субъективно про-

живает две трети жизни.

Исследователи давно пытались измерить субъективное течение времени и для этого просили людей разных возрастов выждать заданный промежуток времени и сказать, когда он кончится. Молодые люди едва за двадцать, как правило, очень точно отмечали, когда пройдет три минуты, и ошибались не более чем на три секунды. Люди за шестьдесят, напротив, опаздывали секунд на сорок, то есть для них проходило всего три минуты, а на самом деле – три минуты сорок секунд. Внутренние часы у стариков идут медленно, поэтому настоящие часы с их точки зрения спешат. У этого есть свои преимущества: на концертах Джона Кейджа пожилые зрители с облегчением замечают, что композиция «4 минуты 33 секунды» заканчивается раньше обычного.

На реке времени есть и спокойные участки, и быстрыны, но одно несомненно: она влечет за собой всех нас, хотим мы этого или нет. Непреодолимо и необратимо мы движемся к смерти со скоростью одна секунда в секунду. Прошлое скользит в небытие за спиной, будущее, когда-то неведомое и загадочное, обретает банальную реальность впереди, и его подминает под себя вечно спешащее настоящее. Однако ощущение потока – чудовищная иллюзия: так говорит современная физика. И Ньютон стал жертвой этой иллюзии точно так же, как и все мы.

Переворот в нашем понимании времени произвел Альберт Эйнштейн. В 1905 году Эйнштейн показал, что время

в понимании и физиков, и обычных людей – фикция. Эйнштейн доказал, что два события в разных местах кажутся наблюдателю «одновременными» или нет в зависимости от его движения.

Предположим, к примеру, что Джонс идет по Пятой авеню по направлению от центра города, а Смит – к центру. Их относительное движение приводит к разнице в несколько дней в том, что они сочтут «сейчас» в галактике Андромеды в момент, когда они пройдут друг мимо друга по тротуару. С точки зрения Смита космический флот, цель которого – истребить все живое на Земле, уже отправился в путь, а с точки зрения Джонса Андромедианский совет тиранов еще не решил, стоит ли посылать армаду.

Эйнштейн показал, что нет никакого вселенского «сейчас». Об одновременности событий можно судить только относительно наблюдателя. А если мы сбрасываем одновременность за борт, само деление моментов на прошлое, настоящее и будущее теряет смысл. События, которые один наблюдатель считает прошлыми, для другого еще в будущем, поэтому прошлое и настоящее одинаково определены, одинаково «реальны». Вместо быстротекущего настоящего нас окружают бескрайние ледяные просторы времени, четырехмерная «блок-вселенная». Здесь вы только родились, там вы празднуете рубеж тысячелетия, а еще дальше вы мертвы, но это ненадолго. Ничего не «течет» от события к событию. Согласно достопамятному выражению математика Германа

Вейля, «объективный мир не происходит, а просто существует».

Эйнштейн своей теорией относительности обеспечил научное доказательство философских представлений о времени, восходящих еще к Спинозе, Блаженному Августину и даже Пармениду и получивших название «этернализм». Согласно этим представлениям, время относится к царству видимого, а не реального. Объективно взглянуть на Вселенную можно лишь с точки зрения Бога: *sub specie aeternitatis*.

После смерти Эйнштейна физики десятилетиями подвергали наше привычное представление о времени еще более радикальному переосмыслению. Оказалось, что ледяные просторы времени вовсе не ровные, в них есть дыры – черные дыры. Дело в том, что гравитация «искажает» время. Чем сильнее гравитационное поле, тем медленнее ползут стрелки часов. Если вы живете на первом этаже, то стареете чуть-чуть медленнее, чем ваш сосед из пентхауса. Этот эффект будет гораздо заметнее, если вас засосет в черную дыру, где гравитационное искажение времени бесконечно. Черные дыры – это буквально врата к концу времен, в царство вечного Никогда.

В окрестностях черных дыр время ведет себя очень затейливо, а на самых малых масштабах, вероятно, и вовсе исчезает: ткань пространства-времени растворяется там в «квантовую пену», где у событий нет определенного порядка во времени. Картина времени становится еще непостижимее,

если заглянуть в момент Большого взрыва – катаклизма, в результате которого возникла наша Вселенная, причем не просто Вселенная, но еще и ее пространственно-временноеместилище. Всем нам хочется спросить, что же творилось до Большого взрыва? Но этот вопрос не имеет смысла. По крайней мере, так учит нас Стивен Хокинг в «Краткой истории времени». Он прибегает к идее так называемого мнимого времени, которая, как известно, ставила в тупик даже его коллег-физиков, и утверждает, что спрашивать, что было до Большого взрыва, так же глупо, как спрашивать, что находится севернее Северного полюса: естественно, ничего!

Есть ли у времени будущее? Да, но долгим ли оно будет, это будущее, зависит от дальнейшей судьбы космоса. Вероятности сводятся к выбору Роберта Фроста: пламя или лед? С момента появления при Большом взрыве – примерно 13,82 миллиарда лет назад – Вселенная расширяется. Если расширение продлится вечно, Вселенная превратится в лед – по крайней мере, в переносном смысле. Звезды сгорят, черные дыры испарятся, атомы и их субатомные компоненты распадутся. В самом далеком будущем оставшиеся частицы (в основном фотоны и нейтрино) разойдутся в вакууме на такие расстояния, что перестанут взаимодействовать. Пространство опустеет, останется лишь легчайший намек на «энергию вакуума». Однако в этой грядущей пустыне, состоящей почти из ничего, время будет идти по-прежнему, и по-прежнему будут происходить случайные события, какие-то «флук-

туации», при которых благодаря магии квантовой неопределенности что-то будет возникать, но сразу же исчезнет в пустоте. По большей части эти эфемерные сущности будут одинокими частицами – электронами и протонами. Но иногда могут спонтанно возникать и очень большие и гораздо более сложные структуры – ну, например, человеческий мозг. Да, квантовая физика допускает, что на всем протяжении времени может появляться и исчезать бесконечное множество таких мозгов без тел – с запасом воспоминаний (ложных). В научной литературе такую печальную мимолетную сущность принято называть «больцмановский мозг» (в честь Людвиг Больцмана, одного из основателей современной термодинамики). Один такой больцмановский мозг в далеком будущем окажется точно таким же, как ваш в этот самый момент. То есть в какую-то немыслимо далекую эпоху ваше нынешнее состояние сознания воссоздастся из пустоты лишь для того, чтобы миг спустя исчезнуть – должно быть, не на такое воскресение из мертвых вы уповали.

Все это может быть правдой, как говорит современная физика, если Вселенная и правда будет расширяться вечно и становиться все более пустой, темной и холодной – этот сценарий можно назвать большим охлаждением. Но есть и другой сценарий конца света. Мало-помалу в какой-то момент в далеком будущем нынешнее расширение Вселенной, вероятно, затормозится – под воздействием то ли гравитации, то ли какой-то иной силы, о которой мы пока не знаем.

И тогда все сотни миллионов галактик начнут схлопываться и сжиматься и в итоге слипнутся вместе, и произойдет мощный взрыв, в результате которого все исчезнет – Большое сжатие, конец всему. Или не конец? Некоторые оптимисты вселенского масштаба утверждают, что в последний миг перед Большим сжатием высвободится бесконечное количество энергии. Наши далекие потомки, по мнению оптимистов, сумеют обуздать эту энергию, запустить бесконечное количество вычислений и породить бесконечное множество мыслей. Поскольку эти мысли будут разворачиваться все быстрее и быстрее, субъективное время будет идти вечно, даже если объективное остановится. Последний миг перед Большим сжатием будет словно бесконечное лето детства – виртуальная вечность.

Виртуальная вечность, врата в Никогда, нереальность времени... Какое отношение все эти праздные фантазии имеют к нам, к нашей жизни в реальном мире? Вероятно, никакого. Мы, по примеру великого Эйнштейна, упорно держимся за свою иллюзию времени. И ничего не можем поделать с ощущением, что мы рабы одной части временной шкалы (прошлого) и заложники другой (будущего). Как ничего не можем поделать с ощущением, что время у нас буквально истекает. Артур Эддингтон, один из первых физиков, уловивших суть теории относительности Эйнштейна, объявил, что наше интуитивное ощущение хода времени настолько сильно, что у него обязательно должно быть какое-то соответствие в ре-

альном мире. И если наука не может понять, в чем тут дело, тем хуже для науки, вправе заметить читатель.

Однако наука способна многое рассказать о психологии хода времени. Наше сознательное сейчас, которое Уильям Джемс называл ускользающим настоящим, на самом деле представляет собой промежуток примерно в три секунды. Это период, за который наш мозг успевает сплести поступающие чувственные данные в единое впечатление. Кроме того, совершенно очевидно, что природа времени имеет какое-то отношение к ощущению, что мы движемся во времени. Реальность прошлого и будущего может быть совершенно одинаковой, но по причинам, которые, как ни странно, имеют некоторое отношение ко второму закону термодинамики, мы не можем «помнить» события будущего, только прошлое. Воспоминания накапливаются только в одном временном направлении, а в другом – нет. Видимо, это объясняет психологическое направление оси времени. Но, увы, не объясняет, почему нам кажется, что эта ось летит, как стрела.

Если от всего этого вы окончательно перестали понимать, как относиться ко времени, вы в хорошей компании видных ученых. Джон Арчибальд Уилер, один из величайших физиков XX века, даже привел в научной статье цитату: «Время – способ, которым природа не допускает, чтобы случилось все сразу». А в сноске пояснил, что увидел этот афоризм среди граффити на стене мужского туалета в кафе «Олд-Пе-

кан-стрит» в Остине, столице штата Техас. Однако не стоит удивляться, что такому выдающемуся мыслителю пришлось цитировать надпись на стене мужского туалета: ведь среди современных физиков, философов и философов физики встречаются какие угодно мнения о природе времени. Одни считают, что время – фундаментальный ингредиент Вселенной, другие говорят – нет, оно следует из еще более глубоких особенностей физической реальности. Одни утверждают, что у времени есть встроенное направление, другие это отрицают. (Стивен Хокинг как-то заявил, что когда-нибудь время пойдет в обратном направлении, из будущего в прошлое, но впоследствии нашел ошибку в своих расчетах.) Большинство современных физиков и философов согласны с Эйнштейном и считают, что ход времени – иллюзия: это так называемые этерналисты. Но меньшинство, именующие себя презентистами, полагают, что сейчас – это особый момент, который действительно приближается, будто огонек на хронологической оси, и так будет, по их мнению, даже тогда, когда во Вселенной не останется наблюдателей вроде нас.

Если и есть одно предположение о природе времени, с которым согласятся все мыслители научного склада, это, пожалуй, афоризм, приписываемый Гектору Берлиозу – человеку далекому от науки: «Время – великий учитель, но, к несчастью, всех своих учеников оно убивает».

Часть вторая. Числа в мозге, в обществе и на платоновских небесах

Глава третья. С числами в ладу, или Нейрофизиология математики

Как-то сентябрьским утром 1989 года молодой парижский нейрофизиолог Станислас Деан провел в смотровую посетителя – бывшего торгового представителя лет сорока пяти. Три годами раньше у посетителя, которого ученые условились называть господин N, произошло кровоизлияние в мозг, необратимо поразившее огромную область в задней половине левого полушария. У больного было множество различных нарушений – он носил правую руку на перевязи, разучился читать, говорил медленно и с огромным трудом. Когда-то он был женат, у него было две дочери, но теперь он не мог себя обслуживать и жил с престарелыми родителями. Деана пригласили осмотреть господина N, поскольку в число последствий инсульта входила тяжелая акалькулия – этим общим термином называют патологическое нарушение арифметических способностей (на самом деле таких нару-

шений несколько). Когда господина N просили сложить два и два, он отвечал «Три». Он сохранил способность считать и мог воспроизвести последовательность вроде 2, 4, 6, 8, но был не в силах сосчитать в обратном порядке от 9 до 1, не различал четные и нечетные числа, не узнавал вспыхивающую на экране цифру 5.

Однако Деана больше интересовали не эти нарушения, а фрагментарные способности, которые господин N сумел сохранить. Когда испытуемому показывали цифру 5 на несколько секунд, он понимал, что это цифра, а не буква, начинал считать от 1, пока не доходил до нужного числа, и в конце концов соображал, что это 5. Точно так же он поступал, когда его спрашивали, сколько лет его семилетней дочери. В своей книге «Числовое чутье», вышедшей в 1997 году (Dehaene, S., *The Number Sense*), Деан писал: «Похоже, он сразу понимал, какое количество хочет выразить, но не мог вспомнить нужное слово, не повторив всю последовательность чисел».

Кроме того, Деан обнаружил, что хотя господин N больше не мог читать, ему иногда удавалось приблизительно уловить смысл слов, которые ему показывали; например, когда он видел слово «ветчина», то говорил: «Это такое мясо». Деан решил проверить, есть ли у господина N похожее чувство чисел. Он показал ему цифры 7 и 8. Господин N тут же сказал, что число 8 больше – гораздо быстрее, чем если бы ему пришлось считать до нужного числа. Кроме того, он правильно

определял, больше или меньше 55 различные числа, и ошибался только когда они были очень близки к 55.

Господина Н Деан прозвал «Человек-Приблизительность». Человек-Приблизительность жил в мире, где в году было «примерно 350 дней», а в часе – «примерно 50 минут», времен года было пять, а десяток яиц оценивался как «штук шесть-десять». Деан несколько раз просил испытуемого сложить два и два и получал ответы от трех до пяти. Однако, отмечал ученый, «он ни разу не сказал откровенной чуши вроде “девять”».

В когнитивистике случаи повреждения мозга – это природные эксперименты. Если травма или недуг лишает человека какой-то способности, но не затрагивает другие, это доказывает, что они запрограммированы в разных нейронных сетях. В этом случае Деан выдвинул гипотезу, что за способность учиться сложным математическим процедурам и за грубое количественное чутье отвечают совсем разные участки мозга. Сведения о когнитивных расстройствах при поражениях мозга накапливались десятилетиями, и ученые заключили, что у нас есть какое-то числовое чутье, не зависящее от языка, памяти и логики в целом. Изучение когнитивных процессов, связанных с числами, стало крайне популярным направлением нейрофизиологических исследований, а Деан – один из исследователей, которые его возглавляют. Как сказала мне Сьюзен Кэри, профессор психологии из Гарварда, тоже изучающая когнитивные процессы, свя-

занные с числами: «Это новое слово в науке. Если хочешь, чтобы математика, которой учат детей, имела смысл, нужно знать, как мозг воспринимает число – и знать на том уровне, который стремится понять Станислас».

Основную часть своей карьеры Деан посвятил разметке границ нашего числового чутья и ответу на головоломный вопрос, какие аспекты наших математических способностей врожденные, а каким мы учимся, и как эти две системы перекрываются и влияют друг на друга. Он подошел к задаче со всех мыслимых сторон. Совместно с французскими и американскими коллегами он провел эксперименты, выявляющие, как числа закодированы в сознании. Изучал математические способности животных, амазонских индейцев, лучших студентов-математиков Франции. Применял методы сканирования мозга, чтобы точно выяснить, где в бороздах и извилинах мозговой коры прячется умение считать. И еще он рассмотрел, в какой степени на трудность восприятия чисел влияет тот или иной язык.

Работы Деана затрагивают важнейшие темы изучения и преподавания математики. По его представлениям, все мы от рождения наделены математическим инстинктом, древним с эволюционной точки зрения. Чтобы стать арифметически грамотными, дети должны опираться на этот инстинкт, но еще им нужно отучиться от некоторых склонностей, которые были нужны нашим предкам-приматам, однако сегодня мешают усваивать математические навыки. И

некоторые общества, как видно, особенно хорошо умеют заставлять детей это делать. И во Франции, и в США математическое образование то и дело переживает кризис. Математические навыки американских детей смотрятся очень бледно по сравнению с умениями их сверстников из Сингапура, Южной Кореи и Японии. Чтобы исправить положение, нужно ответить на вопрос, которым Деан занимается на протяжении почти всей своей профессиональной жизни: из-за какой особенности мозга считать иногда так просто, а иногда так сложно?

Деан и сам весьма одаренный математик. Он родился в 1965 году и вырос в Рубе – средних размеров промышленном городе близ франко-бельгийской границы (фамилия Деан – фламандская). Его отец был педиатр и одним из первых изучал плодотворный алкогольный синдром. Когда Деан был подростком, у него, по его словам, пробудилась страсть к математике, и он поступил в Высшую нормальную школу в Париже – известную тренировочную площадку для французской научной элиты. Интересы Деана в основном лежали в области компьютерного моделирования и искусственного интеллекта. Науки о мозге увлекли его после того, как он в восемнадцать лет прочитал книгу самого выдающегося французского нейробиолога Жан-Пьера Шанже «Нейронный человек», вышедшую в 1983 году (Changeux, J. P., *L'homme Neuronal*). Подход к изучению мозга, которого придерживался Шанже, намекал на соблазнительную возможность при-

вести психологию в соответствие с нейрофизиологией. Деан познакомился с Шанже и стал вместе с ним разрабатывать абстрактные модели мышления и памяти. Кроме того, он сотрудничал с когнитивистом Жаком Меллером. В лаборатории Меллера он и встретил свою будущую жену Гислен Ламберц, исследовательницу когнитивной психологии детей до года.

Деан вспоминает, что Меллер «по счастливой случайности» занимался изучением восприятия чисел. Так Деан впервые столкнулся с явлением, которое впоследствии назвал «числовым чутьем». Деан ставил себе цель ответить на простой на первый взгляд вопрос: откуда мы знаем, что одни числа меньше или больше других? Если показать вам две арабские цифры, 4 и 7, и попросить назвать, какая из них обозначает, скажем, большее число, вы ответите «7» через долю секунды, и резонно предположить, что любые две цифры можно сравнить за такое же короткое время. Однако эксперименты Деана показали, что испытуемые отвечали на подобные вопросы быстро и точно, когда цифры обозначали числа, стоящие далеко друг от друга, например, 2 и 7, но думали дольше, если числа стояли близко, например, 5 и 6. Показатели становились хуже и при увеличении чисел: сравнить 2 и 3 оказалось гораздо проще, чем 7 и 8. Когда Деан проверил лучших студентов-математиков из Нормальной школы, студенты с изумлением обнаружили, что медлят и ошибаются, когда их спрашивают, что больше, 8 или 9. Деан

предположил, что когда мы видим цифру или слышим числительное, наш мозг автоматически ставит это число на числовую ось, которая после 3—4 становится все более расплывчатой. Он обнаружил, что это не меняется, сколько ни тренируйся. «Это не недостаток ловкости, а базовое структурное свойство того, как мозг отражает число», — рассказывал он мне.

В 1987 году, когда Деан был еще студентом и жил в Париже, американский когнитивист Майкл Познер и его коллеги из Университета имени Вашингтона в Сент-Луисе опубликовали в журнале «Nature» статью, ставшую настоящим прорывом в своей области. Ученые из группы Познера сканировали кровоток в мозге и подробно изучили, как проявляется активность разных зон при обработке языковых данных. Их работа стала для Деана настоящим откровением. «Прекрасно помню, как сидел и читал эту статью, а потом обсуждал ее со своим научным руководителем — Жаком Меллером», — рассказывал он. Меллер, которого интересовала в основном абстрактная организация когнитивных функций, не видел смысла в том, чтобы высматривать, где именно в мозге что-то происходит, но Деан хотел, по его собственному выражению, «найти недостающее звено» между психологией и нейробиологией, разобраться, как мозговые функции — мышление, восприятие, чувства, воля — реализуются в полутора килограммах слизистой ткани, заключенной у человека в черепной коробке. Теперь благодаря достижениям науки и

техники наконец-то стало возможным создать изображения мозга в процессе мышления, пусть и грубые. Поэтому Деан, получив докторскую степень, провел два года за изучением сканов мозга у Познера, который тогда работал в Университете штата Орегон в Юджине. «Я просто диву давался, что самые поразительные результаты в ультрасовременной области когнитивной нейрофизиологии получены в таком захолустье – больше я нигде не видел шестидесятилетних хиппи в разноцветных футболках с разводами!» – вспоминал Деан.

Станислас Деан – ладно скроенный невысокий красавец, веселый и приветливый; одевается он непринужденно, носит модные очки, а крупную лысую голову прячет от стихии под *chapeau de cowboy*. В 2008 году, когда мы с ним познакомились, он только что перебрался в новую лабораторию под названием *NeuroSpin* в кампусе Национального центра исследований ядерной энергии в полутора сотнях километров от Парижа. Здание лаборатории – модернистская композиция из стекла и металла, а внутри жужжит, урчит и пыхает всевозможное оборудование для сканирования мозга, которое в то время по большей части еще только монтировали. Вдоль одной из стен бежит череда арок, похожая на гигантскую синусоиду, и за каждой из них располагается бетонная камера, вместителище суперпроводящего электромагнита, охлаждаемого жидким гелием (чем мощнее магнитное поле при сканировании мозга, тем четче изображение). Новейшие сканеры должны были показывать анатомию человеческого моз-

га с невиданной доселе подробностью и, возможно, даже выявили бы едва уловимые аномалии у страдающих дизлексией и дискалькулией – патологической неспособностью обращаться с числами, которая, как подозревают ученые, вероятно, распространена не меньше дизлексии.

Один сканер уже был настроен и работал. «У вас ведь нет кардиостимулятора?» – уточнил Деан, когда мы вошли в комнату, где двое исследователей колдовали над кнопками. Сканер был предназначен для людей, но внутри, как я увидел на мониторе, была серая крыса. Исследователи изучали, как мозг крысы реагирует на различные запахи, которые время от времени подпускали в сканер. Потом Деан повел меня наверх, в просторную галерею, где нейрофизиологи, работающие в *NeuroSpin*, собираются для обмена идеями. Но тогда там было пусто. «Кофемашину бы сюда поставить», – заметил Деан.

У Деана сложилась международная репутация виртуоза сканирования. Когда он вернулся во Францию после стажировки у Познера, то продолжил применять сканирование для изучения мозговых механизмов переработки чисел. Гипотеза о том, что математические способности возникли в ходе эволюции, была выдвинута уже давно на основании исследований животных и маленьких детей, а данные больных с повреждениями мозга подсказали, где в мозге следует искать эти способности. Деан решил уточнить их локализацию и описать архитектуру. «Мне особенно понравился один экс-

перимент, – вспоминал он. – Мы пытались составить карту целой теменной доли мозга за полчаса, а для этого просили испытуемого совершать разные действия – например, двигать глазами и руками, показывать пальцем, брать предметы, решать разные языковые задачи и, конечно, простенькие арифметические примеры, ну, скажем, 13–4. И оказалось, что активируемые при этом области образуют прелестную геометрическую фигуру. Движения глаз были сзади, движения рук – посередине, хватание – впереди и так далее. А справа посередине была область, занимавшаяся числами, и мы сумели это установить».

Область обработки чисел лежит глубоко в складке теменной доли, которая называется «внутритеменная борозда большого мозга» (за самой макушкой). Но чем на самом деле заняты нейроны, сказать непросто. Сканирование мозга при всей своей технической утонченности дает довольно грубую картину происходящего внутри мозга, к тому же иногда при выполнении двух задач на скане высвечивается один и тот же участок мозга, даже если задействуются разные нейроны. «Некоторые считают, что сканирование мозга вытесняет психологию, но мне так совсем не кажется, – сказал Деан. – Психология нужна нам, чтобы хорошо понять, о чем говорят нам сканы. Потому-то мы и проделываем бихевиористские эксперименты и осматриваем больных. Знания порождаются там, где сталкиваются все эти методы».

Деан сумел свести воедино экспериментальные и теоре-

тические стороны своей задачи, а по меньшей мере в одном случае предсказал существование неврологической особенности, которую затем обнаружили другие ученые. В начале девяностых, когда Деан работал с Жан-Пьером Шанже, он решил при помощи компьютера смоделировать, как люди и некоторые животные оценивают с первого взгляда количество предметов в окружении. Если количество очень мало, оценки бывают практически идеальными, и эта способность получила название «субитизация» (от латинского слова *subitus* – «внезапный»). Некоторые психологи считают, что субитизация – это просто быстрый бессознательный подсчет, но есть и такие, в том числе Деан, кто думает, что наше создание воспринимает по три-четыре объекта за раз, и нам не нужно нацеливаться на каждый по очереди.

Деан обнаружил, что создать компьютерную модель, которая субитизировала бы так же, как люди и животные, можно только при условии, что в нее будут встроены «числовые нейроны», настроенные так, чтобы выстреливать с предельной интенсивностью в ответ на конкретное количество объектов. Например, в его модели был особый нейрон-четыре, который особенно возбуждался, когда компьютеру представляли четыре предмета. Числовые нейроны в модели были чисто теоретические, однако почти десять лет спустя две группы исследователей обнаружили самые настоящие числовые нейроны в мозге макака, которых научили решать простейшие арифметические задачи. Числовые нейроны выстреливали в

точности как предсказывала модель Деана – потрясающий триумф теоретической психологии. «В сущности, мы можем вывести поведенческие свойства этих нейронов из первооснов, – сказал мне Деан. – Психология стала немного ближе к физике».

Однако мозг – это продукт эволюции, а эволюция – процесс случайный и неаккуратный, и даже если числовому чутью отведено свое место в коре головного мозга, его нейронная схема перепутана с оборудованием для других ментальных функций. Несколько лет назад при анализе эксперимента по изучению сравнения чисел Деан заметил, что испытуемые точнее сравнивали большие числа, если нажимали кнопку ответа правой рукой, а маленькие – если левой. Как ни странно, если испытуемых просили поменять руки, наблюдался обратный эффект. Причем какой именно рукой испытуемый нажимал на кнопку, неважно – испытуемые подсознательно ассоциировали с бо́льшими и меньшими числами само пространство.

Гипотеза Деана состоит в том, что нейронная схема для обработки чисел отчасти перекрывается с механизмом определения места в пространстве. Он даже подозревает, что именно поэтому путешественники так часто теряются при входе на Второй терминал парижского аэропорта имени Шарля де Голля, поскольку там входы с большими номерами расположены слева, а с маленькими справа. «В наши дни изучать, как мы связываем число с пространством, а про-

странство с числом – целая индустрия, – заметил Деан. – И мы обнаруживаем, что эта связь заложена в мозге очень, очень глубоко».

Через некоторое время я сопровождал Деана в роскошные залы Института Франции – напротив Лувра на другом берегу Сены. Ему предстояло получить премию в четверть миллиона евро из рук Лилиан Бетанкур, дочери основателя косметической компании «Л'Ореаль». В салоне, задрапированном узорчатыми барочными тканями, Деан рассказал о своих исследованиях небольшой группе слушателей, в число которых входил и бывший премьер-министр Франции. Новые приемы сканирования мозга, говорил он, вероятно, помогут выявить, как идет в мозгу мыслительный процесс, например, вычисления. Но это не просто чистое знание, уточнил он. Поскольку архитектура мозга определяет самые разные способности, которые мы получили от рождения, детальное представление об этой архитектуре поможет лучше учить детей математике и, вероятно, сузить пропасть, отделяющую детей Запада от их сверстников из некоторых азиатских стран.

Фундаментальная проблема изучения математики состоит в том, что даже если числовое чутье у нас генетическое, точные вычисления требуют культурных инструментов, символов и алгоритмов, которыми человечество располагает всего несколько тысяч лет, поэтому их усваивают участки мозга, предназначенные эволюцией для другого.

Процесс облегчается, если то, что мы изучаем, гармонирует со встроенными механизмами. Архитектуру мозга мы изменить не в силах, зато можем адаптировать методы обучения к ограничениям, которые она накладывает.

Американские педагоги вот уже почти тридцать лет продвигают «реформу математики» и советуют подталкивать детей к поиску собственных способов решать задачи. А до реформы математики была «новая математика», которую теперь принято считать педагогическим фиаско (во Франции ее называют *les maths modernes* и презирают не меньше). Новая математика была основана на теориях авторитетного швейцарского психолога Жана Пиаже, который считал, что дети рождаются безо всякого численного чувства и лишь постепенно овладевают понятием числа на нескольких этапах развития. Пиаже считал, что до четырех-пяти лет дети не в состоянии усвоить простой принцип, что от перемещения предметов их количество не меняется, а значит, нет никакого смысла учить их арифметике до шести-семи лет.

Представления Пиаже стали стандартом к началу пятидесятых, однако с тех пор психологи убедились, что он недооценивал арифметические способности маленьких детей. Если полугодовалому младенцу одновременно показывать изображения привычных предметов и давать послушать определенные ритмы на барабане, он дольше смотрит на картинки, где количество предметов соответствует количеству ударов. Сейчас общепринято, что человек от рождения об-

ладает рудиментарной способностью воспринимать и выражать количество (как и многие животные, в том числе саламандры, голуби, еноты, дельфины, попугаи и обезьяны). И если эволюция снабдила нас одним способом выражать число – примитивным числовым чутьем, то культура подарила еще два: цифры и числительные. Деан полагает, что эти три способа думать о числе соответствуют определенным участкам мозга. Числовое чутье обитает в теменной доле – части мозга, отвечающей за положение в пространстве, с цифрами работают зрительные зоны, а числительные обрабатываются в зонах восприятия языка.

Увы, во всей этой сложной мозговой механике так и не нашлось эквивалента микросхемы из пятидолларового калькулятора. Из-за этого дефекта изучение страшной четверки – «Скольжения, Причитания, Умиления и Изнеможения», как пошутил Льюис Кэрролл (пер. Н. Демуровой) – превращается в сущее наказание. Поначалу еще ничего. Числовое чутье позволяет примерно понимать, что такое сложение, поэтому еще до школы дети находят простые способы складывать числа. Например, если попросить ребенка сосчитать, сколько будет $2+4$, он начнет с первого слагаемого, а потом досчитает до второго: «Два, два и один – три, два и два – четыре, два и три – пять, два и четыре – шесть, шесть!» Но с умножением все иначе. Умножение – занятие противоестественное, как часто приговаривает Деан, а все потому, что наш мозг для такого не оборудован. Тут не помогут ни чутье, ни при-

бавление по одному, поэтому таблицу умножения приходится хранить в мозге в вербальном виде, как последовательность слов. Список таких арифметических фактов не так уж длинен, но страшно коварен: одни и те же числа повторяются по много раз в разном порядке, а фразы частично перекрываются, и в них возникают ненужные обманчивые рифмы (доказано, что билингвы, когда умножают, переходят на язык, на котором учились в школе). Человеческая память, в отличие от компьютерной, в ходе эволюции приучилась строить ассоциации, вот почему она так плохо подходит для арифметики, где нельзя, чтобы разные фрагменты знаний интерферировали друг с другом: если хочешь вспомнить, сколько будет 7×6 , рефлекторно активируются знания о $7+6$ и 7×5 , а это может привести к катастрофе. Так что умножение – это двойной кошмар: мало того что оно не поддается числовому чутью, его еще приходится усваивать в форме, которая противоречит организации нашей памяти, развившейся в ходе эволюции. В результате взрослые при умножении однозначных чисел ошибаются в 10–15 % случаев. А если речь идет о самых трудных примерах, скажем, 7×8 , доля ошибок превышает 25 %.

Природная неприспособленность к более сложным математическим процессам натолкнула Деана на вопрос, стоит ли заставлять детей учиться процедурам вроде деления в столбик. Ведь есть выход из положения – электронный калькулятор. «Дайте пятилетнему ребенку калькулятор, и вы на-

учите его дружить с числами, а не ненавидеть их», — писал Деан. Избавив ребенка от необходимости тратить сотни часов на заучивание скучных процедур, считает он, калькуляторы дадут ему свободу сосредоточиться на смысле этих процедур, чему при нынешнем образовательном статус-кво не учат.

Казалось бы, такое отношение рисует Деана как самого настоящего сторонника «реформаторов математики» среди педагогов и самого настоящего врага родителей, которые хотят, чтобы учителя математики их детей «вернулись к основам». Но когда я спросил Деана, как он относится к реформе математики, он не проявил особой симпатии к этому направлению. «Мысль, что все дети разные и что каждый должен открывать все по-своему — нет, я с этим не согласен, — сказал он. — Я уверен, что организация мозга у всех одинаковая. Мы видим это у младенцев, видим и у взрослых. В целом все мы идем по одной дороге с небольшими отклонениями». Деан искренне восхищается математическими программами азиатских стран, в том числе китайской и японской, которые обеспечивают детям досконально структурированный опыт, предвосхищают диапазон их реакции на каждом этапе и обеспечивают задачами, составленными так, чтобы минимизировать количество ошибок. «К этому мы пытаемся вернуться и во Франции», — сказал он. Совместно с коллегой Анной Уилсон Деан разработал компьютерную игру *The Number Race*, чтобы помочь детям при дискалькулии. Про-

грамма эта самообучающаяся, она выявляет задачи, где ребенок чувствует себя неуверенно, и подстраивает уровень сложности, чтобы доля верных решений оставалась на уровне 75 % – это не дает ребенку опустить руки.

Организация мозга у нас и в самом деле общая, однако сохраняются и культурные различия, диктующие нам, как обращаться с числами, и они не ограничиваются стенами класса. Эволюция снабдила нас приблизительной числовой осью, но чтобы числа обрели точность, кристаллизовались, по выражению Деана, нужна система символов. В языке амазонского племени мундуруку, которое изучали в последнее время Деан и его коллеги, особенно лингвист Пьер Пика, числительные есть только для чисел от одного до пяти (причем слово, которым мундуруку обозначают «пять», буквально значит «одна ладонь»). И даже эти слова для них, судя по всему, лишь примерные указания: если показать индейцу мундуруку три предмета, он может сказать, что их три, а может – что четыре. Тем не менее у мундуруку неплохая численная интуиция. «Например, они понимают, что пятьдесят плюс тридцать – это больше шестидесяти, – говорит Деан. – Естественно, они не знают этого на вербальном уровне и не располагают языковыми средствами, чтобы об этом поговорить. Но когда мы показываем им соответствующие множества и преобразования, они сразу понимают, о чем речь».

Судя по всему, у мундуруку мало культурных инструментов, дополняющих врожденное числовое чувство. Интерес-

но, что следы таких же стадий несут в себе символы, которыми мы записываем числа. Первые три римские цифры – I, II и III – образованы повторением одного и того же символа нужное количество раз. Символ четырех – IV – уже не такой прозрачный. По тому же принципу строятся китайские цифры: первые три состоят из одной, двух и трех горизонтальных черточек, а четвертая имеет уже другую форму. Этой логике следуют даже арабские цифры: 1 – просто вертикальная палочка, 2 и 3 изначально были двумя и тремя горизонтальными черточками, соединенными для простоты письма («Прелестный маленький фактик, но едва ли он до сих пор закодирован у нас в мозге», – заметил Деан).

Сегодня арабскими цифрами пользуются практически во всем мире, а слова, которыми мы обозначаем числа, естественно, в разных языках разные. И эти различия далеко не тривиальны, как отмечали и Деан, и другие исследователи. Английский – очень громоздкий язык. В нем есть особые слова для чисел с 11 до 19 и для десятков с 20 до 90. Поэтому считать для англоговорящих детей – трудная задача, и они склонны к ошибкам вроде «двадцать восемь, двадцать девять, двадцать десять, двадцать одиннадцать». Французский ничем не лучше – в нем сохранились рудиментарные двадцатеричные чудовища вроде *quatre-vingt-dix-neuf* – «четыре-двадцать-десять-девять» (99). А китайский, напротив, сама простота, синтаксис его числительных точно совпадает с десятичной записью арабскими числами с минимумом

терминов. Вот почему средний китайский четырехлетка считает до сорока, а американские дети того же возраста едва добираются до пятнадцати. Преимущества распространяются и на взрослых. Поскольку китайские числительные очень короткие – в среднем на их произнесение уходит меньше четверти секунды, а на английские – треть секунды, – говорящий по-китайски в среднем может удержать в памяти девять знаков, а англоговорящий – только семь (те, кто говорит на восхитительно экономичном кантонском диалекте, распространенном в Гонконге, способны жонглировать в активной памяти десятью знаками).

В 2005 году Деан был избран профессором экспериментальной когнитивной психологии в Колледж де Франс – очень престижном институте, который основал в 1530 году Франциск I. В его штате всего 52 ученых, и Деан – самый молодой. В инаугурационной лекции Деан говорил об удивительном свойстве математики – она одновременно и продукт человеческого разума, и мощный инструмент, позволяющий открывать законы, по которым действует человеческий разум. Он говорил о противоречиях между данными новых методов исследования, в том числе сканирования мозга, и древними философскими представлениями о числе, пространстве и времени. И сказал, что считает, что ему повезло, что он живет в эру, когда достижения психологии и сканирования мозга совокупно «сделали видимым» невидимое доселе царство мысли.

По мнению Деана, числовое мышление – лишь начало пути к решению задачи. В последнее время он размышляет о том, как подойти методами эмпирической науки к философской проблеме сознания. Эксперименты с подсознательной «числовой настройкой» показывают, что основная часть операций, которые наша психика проделывает с числами, происходит бессознательно – и это открытие заставило Деана задаться вопросом, почему одни виды ментальной деятельности переходят порог осознанности, а другие нет. В сотрудничестве с двумя коллегами Деан исследовал нейронные основы так называемого «глобального рабочего пространства» – теории сознания, которая вызвала большой интерес в философских кругах. Согласно его версии этой теории, информация становится осознанной, когда определенные нейроны «рабочего пространства» передают ее на много участков мозга сразу и тем самым делают доступной одновременно, скажем, и для языка, и для памяти, и для перцепционной категоризации, и для планирования действий, и т. д., и т. п. Иначе говоря, сознание – «мозговая знаменитость», как говорил философ Дэниел Деннетт, или «слава мозга».

В своем кабинете в *NeuroSpin* Деан объяснил, как некоторые особенно длинные нейроны рабочего пространства соединяют далекие зоны человеческого мозга в единую пульсирующую сеть сознания. Чтобы показать мне, где находятся эти зоны, он достал из шкафа голубой гипсовый слепок неправильной формы, размером примерно с грейпфрут.

«Это мой мозг!» — с явным удовольствием объявил Деан. И рассказал, что эту модель изготовила машина для быстрого создания опытных образцов, разновидность трехмерного принтера, на основании компьютерных данных одной из множества МРТ, которые он проходил. Слегка нахмурясь, Деан показал мне, где, по мнению ученых, помещается числовое чутье, и отметил, что у него этот участок имеет несколько необычную форму. Любопытно, что компьютерная программа сочла мозг Деана «исключением» — настолько его паттерны активности отличаются от нормы для человека. Деан ненадолго замолк, покачивая в ладонях нежно-голубой ком — модель собственного сознания, созданную на основе его же размышлений, — а потом с улыбкой заметил: «Знаете, мне нравится мой мозг».

Глава четвертая. Дзета-гипотеза Римана и смех простых чисел

Какой будет цивилизация через миллион лет? Почти все, к чему мы привыкли, к тому времени исчезнет. Но кое-что останется. И в том числе числа и смех, тут можно не сомневаться. Это хорошо, поскольку числа и смех придают смысл жизни – конечно, по-разному, но все же. Поэтому интересно поразмышлять, каков будет их статус в миллионном году. Но вначале позвольте пояснить, почему я так уверен, что они никуда не денутся, если почти все, что нам сегодня известно, либо исчезнет, либо изменится до неузнаваемости.

В целом все, что существует уже давно, скорее всего, просуществует еще гораздо дольше. А вот всякого рода новинки – вряд ли. И то, и другое следует из принципа Коперника, который, в сущности, говорит, что в нас нет ничего особенного. А поскольку и в нашей точке зрения нет ничего особенного, нам едва ли удастся застать тот или иной феномен в самом начале или в самом конце существования. Вот, скажем, вы идете на бродвейский мюзикл. Сколько он продержится на сцене, не знает никто: все может обернуться как угодно, от нескольких дней до десятков лет. Однако вы точно знаете, что из всех, кто его посмотрит, 95 % не попадут ни в число первых 2,5 %, ни в число последних 2,5 %. Следовательно, если в вас нет ничего особенного, то есть вы просто случай-

ный зритель из числа всех зрителей представления, можете быть на 95 % уверены, что не попадете в эти «хвосты». Это значит, что если спектакль шел уже n

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.