



# Оглавление

|   |     |
|---|-----|
| Брать интервью у важной персоны — дело<br>непростое ..... | 7   |
| Глава 1. Энергия в порциях .....                          | 9   |
| Глава 2. Кванты, Эйнштейн? .....                          | 29  |
| Глава 3. Исчезновения и появления .....                   | 46  |
| Глава 4. Место? Занято! .....                             | 64  |
| Глава 5. Странные матрицы .....                           | 83  |
| Глава 6. Уравнения, волны, вероятности .....              | 99  |
| Глава 7. Пожалуйста, по одному! .....                     | 120 |
| Глава 8. Быстрее скорости света? .....                    | 136 |
| Глава 9. Кванты, туннель и философия .....                | 158 |

*Кикко Императору Горошинке,  
моему пушистому вдохновителю*

# Брать интервью у важной персоны — дело непростое

Перед каждой такой встречей я неизменно задумываюсь о том, будет ли собеседник вежлив и открыт, ответит ли недовольным ворчанием или разразится бесконечным словесным потоком, в котором я утону без возможности ухватиться хоть за какую-нибудь нить разговора. И главное: будут ли ему интересны мои вопросы, или он сочтет их совершенно дурацкими?

Ну что ж, скоро узнаем, потому что я почти добралась до дома, где обитает объект интервью.

Мой сегодняшний главный герой приобрел известность благодаря австрийскому ученому Эрвину Шрёдингеру, который сделал его предка центром известнейшего мысленного эксперимента в истории науки. Я говорю о коте Шрёдингера — том самом, что стал символом напряженной интеллектуальной деятельности, в свое время столкнувшейся лицом к лицу

с невероятными последствиями новой квантовой физики. После встречи с ее ошеломляющим безумием (электронами, разбросанными по всей Вселенной, способностью «проходить сквозь стены», получая энергию из ничего, и прочими странностями) даже философам пришлось пересмотреть концепцию реальности (иными словами, вернуться к истокам — к тем временам, когда физика и философия были единым целым). Я действительно волнуюсь и поэтому подготовила список вопросов, которые помогут мне выяснить, что же собой представляет эта физика квантов.

Но есть одна проблема. Очень личная.

Мне придется максимально держать себя в руках.

Понимаете, дело в том, что я совершенно отчаянная, безумная, страстная кошатница. А это значит, что при встрече с потомком кота господина Шрёдингера соблазн погладить его, почесать животик и даже чмокнуть в макушку между ушами, где самая короткая и мягкая шерстка, достигнет пика.

Понимаете, в чем драма? Это все равно что заставить человека, сидящего на строгой диете, прогуляться в блинную в последний день Масленицы перед Великим постом... Я, конечно, не знаю, любите ли вы блины, но, в общем, вы меня поняли.

# Глава 1

## Энергия в порциях

Итак, я готова. Никаких нежностей, никакого умиления и сюсюканий. Несмотря на то что Кот — чудесное животное, я должна оставаться серьезной и профессиональной. Потому что задача этого интервью — показать, насколько странен мир. Нет, я говорю не об окружающем видимом мире, а о том, который скрыт от наших органов чувств. Это микровселенная электронов, нейтронов и протонов — частиц, образующих вещество макромира, который мы можем и увидеть, и потрогать. Эти частицы — самые настоящие анархисты! Из-за них физику пришлось разделить на *классическую* и *квантовую*. Потому что правила, которые веками работали как надо, внезапно оказались полностью непригодными! Звучит абсурдно, правда же? Так и есть, если в нашем скромном представлении микромир — это очень маленький макромир, а не огромная отдельная вселенная...

Но давайте по порядку. Я уверена, что Кот расскажет вам о положении вещей гораздо лучше меня. Вам

действительно кажется нелепым интервью с котом? Дальше вы прочтете о еще более странных вещах.

Я на месте.

Сегодня в Оксфорде прекрасный день. Я стою у дома номер 24 по Нортмур-роуд, где Шрёдингер со своей женой жил с ноября 1934 по 1936 год. В 1935-м ученый обнарудовал свой знаменитый мысленный эксперимент с запертым в ящике *живым и одновременно мертвым* котом. Именно из-за этой необычной истории — возможно, одной из самых известных в физике за все время ее существования — я и попала сюда: мне хочется во всем разобраться.

Звоню в дверь. Мне открывает женщина и, улыбаясь, приглашает войти и расположиться в кабинете: Кот появится с минуты на минуту.

Я сажусь в зеленое кресло. Передо мной большое окно, через которое в комнату проникают лучи послеполуденного солнца и виден роскошный сад. Я немного напряжена. Кабинет великолепно обставлен в стиле 1930-х годов, и кажется, будто время здесь остановилось. Я начинаю выводить на первой странице блокнота сегодняшнюю дату. Внезапно тоненький голосок возвращает меня в реальность:

— Добрый день, куколка, чем могу помочь?

Я поднимаю голову. Вот он — тот самый кот, которого я ждала. Он сидит на письменном столе передо мной. И он назвал меня куколкой! Да что он себе позволяет?

— Что-то не так, куколка? Могу я тебе что-нибудь предложить?

— О, я... Нет, спасибо, все в порядке... Как поживаете, уважаемый Кот? Вам удобно начать интервью сейчас? Я знаю, что вы очень заняты, постоянно отвечая на вопросы журналистов. Надеюсь, я не украду у вас слишком много времени.

— Куколка, можешь красть у меня все, что захочешь, для меня честь принимать тебя в гостях, мур-р...

Вы ведь знаете, как выглядит взгляд с хитрецей? Так вот, если бы мой собеседник не был котом, я могла бы утверждать, что на мгновение заметила его ухмылочку — такую, какая появилась бы у мужской особи моего вида... Но надо признать, что кот роскошный. Кто знает, возможно, мне удастся погладить его в конце интервью. Эта мягкая шубка так и просит, чтобы ее потрогали.

— Очень мило с вашей стороны, уважаемый Кот, но...

— Зови меня просто Кот, мур-р.

— Хорошо... Итак, Кот, мы можем начать?

— Конечно, куколка, начнем, как только захочешь, мяу.

Тут он изгибается и, подняв правую заднюю лапу, чешет за ухом. Против света видно, как клочок шерсти парит в воздухе и медленно опускается на письменный стол, а затем на пол.



Кот снова принимает элегантную позу: теперь он выглядит как египетская статуэтка. Узнаю этот «типаж»: великолепный кот в светло-каштановую и темно-коричневую полосу с розово-бурым носиком и абсолютно розовыми губами. Хвост, элегантно обвивающий передние лапки, украшен черными кольцами на коричневом фоне, а кончик совершенно черный. Маленькая белая «манишка» на груди освещает фигурку из самого центра. Я только сейчас замечаю, что кончик правого уха... отсутствует. Наверняка это последствия мужской драки за территорию. Или за девушку. Кот действительно шикарный. Так, нужно себя контролировать. Он всего лишь объект интервью.

— Скажите, Кот, зачем именно физик Эрвин Шрёдингер решил заточить вашего прапрадеда в воображаемый ящик?

Прежде чем ответить, он прищуривает глаза и пристально на меня смотрит. Меня это смущает, я отвожу взгляд и внимательно рассматриваю чистый лист бумаги, ждущий моих заметок. Тогда Кот начинает:

— Физика — это изящество. Теории, наблюдения, уравнения и объяснения похожи на облачение, которое идеально покрывает тело Природы. Нет ничего неуместного. Или почти. Всегда есть исключения. Возможно, я как раз и представляю собой такое исключение — я та деталь, которую не ожидаешь увидеть под платьем. Возможно, именно поэтому дорогой Шрёдди

выбрал самое изящное животное во Вселенной, чтобы рассказать об исключениях.

— А под Шрёдди вы имеете в виду профессора Шрёдингера?

— Да, Эрвина. Кот, мой дальний родственник, жил именно в этом саду и слушал, как профессор разговаривает с коллегами. Благодаря моему прапрадеду в нашей семье из поколения в поколение передаются знания обо всех идеях этого многоуважаемого двуногого. И только представь себе: тот самый мысленный эксперимент, главным героем которого стал мой прапрадед, был поставлен ученым, чтобы... высмеять новую физику! Не все согласились с новыми идеями об электронах и атомах.

— И тогда он мысленно закрыл кота в ящике, а потом...

— А потом сказал: представьте себе, что внутри ящика находится устройство, способное убить кота. Умрет он или нет, зависит от пузырька с ядом, а точнее, от того, будет ли пузырек разбит молоточком вследствие определенного поведения группы атомов или нет. Если хоть один атом распадется, то есть его ядро разделится, образуя новый элемент, то кот обречен, поскольку пузырек окажется разбит и выпустит яд наружу. Если деления не произойдет, кот спасен. Это значит, что, пока ящик закрыт и никто не заглядывает внутрь, мой прапрадед и жив и мертв одновременно.

— Это очень сложно представить!

— Куколка, таково научное безумие квантовой физики! Увлекательно, не правда ли?

— Пока что всего лишь непонятно.

— Понимаю, дорогуша, человеческое воображение не создано для столь эксцентричного мира. Внезапно то, что казалось очевидным, становится в корне неверным. Но необходимо начать рассказ с начала.

— Наверное, так будет лучше. Особенно потому, что я не понимаю, при чем здесь ядра, ящик и гипотетическая смерть или жизнь кота!

Пока я говорю, Кот потягивается: передние лапы вытянуты, тело выгнуто дугой, нижняя часть спины поднята. Затем он начинает умываться.

— Прошу прощения, Кот, возможно, вы хотели бы прерваться?

— Вовсе нет, детка.

— Тогда я бы хотела задать вам очень простой первый вопрос, если позволите. Было ли какое-нибудь событие, подтолкнувшее ученых к квантовой физике?

— Катастрофа!

Произнося это, Кот вытягивает мордочку в мою сторону и немного щурит глаза. Ой, кажется, я ляпнула что-то не то.

— Какая катастрофа? — робко спрашиваю я.

— Мур-р! Знаменитая *ультрафиолетовая катастрофа*! Она и послужила отправной точкой.

— Знаменитая для вас — я же о ней никогда не слышала.

Кот пристально смотрит на меня, легонько склоняет голову, и у меня снова возникает отчетливое впечатление, что он улыбается. Что он скрывает?

— Ладно, дамочка, садись поудобнее и навести свои забавные круглые уши. Сегодня мы считаем верной модель, согласно которой материя состоит из атомов с ядром из протонов и нейтронов, заключенным в облако из электронов. Правильно?

— Правильно!

— Тем не менее на момент, когда начинается наша история, представления о строении материи были куда более запутанными. Мы с тобой перенесемся в самое начало прошлого века, когда современную модель атома еще только предстояло «изобрести». Со всеми сложностями, вытекающими из отсутствия идей. Например, существовал феномен, который физики той эпохи никак не могли объяснить. Вот с этой загадки и началась революция.

— Да что вы говорите?

— Именно так! Слушай внимательно. Ученые не могли точно объяснить явление, известное еще с пещерных времен, когда ваши хрюкающие прародители наблюдали за пышущими жаром остатками костра — иными словами, за видимым светом, излучаемым *накаленным телом*. Это может быть уголек от барбекю,

кусок полена из камина или вольфрамовая нить в старых лампочках и так далее.

— Я поняла: это как если бы кузнец стучал по куску железа?

— Совершенно верно. Свечение может менять цвет от красного к желтому, доходя до почти ослепительного бело-голубого. В конце концов, свет кажется белым, поскольку к красному и белому присоединяется синий. А теперь подумай: какой знакомый тебе объект дает свет преимущественно желтого цвета?

— Ну...

— Просишь помощь зала, то есть мою, мур-р?

— Боюсь, что так! — улыбаюсь я.

— Объект, который излучает в основном желтый свет, — это Солнце! Наша звезда представляет собой огромный шар из раскаленного газа. Она излучает смесь электромагнитных волн, цветных и бесцветных, и большая их часть обладает длиной, которую мы можем улавливать глазами и которая кажется нам желтой. Говоря научными терминами, это означает, что, поскольку температура поверхности Солнца равна примерно  $5727\text{ }^{\circ}\text{C}$ , преобладающее количество электромагнитных волн достигает длины 600 нанометров, что в нашем восприятии примерно соответствует желтому цвету. В то же время звезда Бетельгейзе куда холоднее. Ее температура — всего  $2727\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и невооруженному глазу излучение этого светила кажется

красноватым. А Сириус сияет в небе ярко-белым светом благодаря температуре 29 727 °С.

— Так, значит, существует взаимосвязь между цветом и температурой поверхности?

— Именно так, двуногая! Не случайно, покупая люминесцентные лампы (которые отправили на пенсию старые добрые вольфрамовые), на упаковке ты можешь найти техническую информацию о *цветовой температуре* и, таким образом, выбрать нужный тебе тип освещения — от холодного белого до более теплого.

— Так вот что это означает! Но тогда получается, что на упаковке от лампочки указано... само начало квантовой физики.

— В каком-то смысле да. Вся материя при любой температуре излучает свет, а точнее, электромагнитные волны. Будет ли этот свет видимым, как у горящего угля, или невидимым, как у обогревателя, зависит только от его энергии, то есть от частоты излучения. Так или иначе, физики часто употребляют слово «свет» как синоним электромагнитного излучения.

— Я запуталась! Я была уверена, что свет может исходить только от Солнца, от ламп... то есть свет — это то, что можно увидеть.

— Знаю, двуногая, к этому надо привыкнуть.

— Но, уважаемый Кот, подождите минутку. Вот я, объект с температурой 36 °С, излучаю свет? Или вы, Кот, ведь ваша температура немного выше моей?

— Конечно, моя дорогая. Мы излучаем в основном инфракрасные лучи. Однако сейчас мне бы хотелось привлечь твое внимание непосредственно к рождению квантовой физики, мур-р!

— Вы уже привлекли, Кот, прошу, продолжайте.

— Мы увидели, что в зависимости от количества поглощенного тепла (а значит, и достигнутого температурного значения) излучаемые телом волны обладают определенной энергией. Вот тебе два простых примера: при поглощении малого количества тепла тело становится красным, а большого — излучает белый свет. Но будь внимательна: излучаемая энергия зависит только от температуры, а не от состава материи!

— Очень интересно.

— Итак, в начале нашей истории у этого феномена не было физического объяснения. Почему именно тот или иной свет? Существует ли взаимосвязь между цветом и температурой? Над этим ломали голову не только ученые в лаборатории. Разгадка представляла вполне конкретный практический интерес для немецких компаний, которые с 1880 года выпускали лампочки, фонари и другие светящиеся предметы: немцы мечтали победить американских и британских конкурентов. Какой материал оптимален для лампочки? Как «измерить» ее яркость? Для ответов не хватало теоретического обоснования — формулы, которая позволила бы произвести хоть какие-нибудь расчеты.

Зная, например, что температура поверхности Солнца составляет  $5727\text{ }^{\circ}\text{C}$ , можно ли вывести формулу, которая на основе этих данных предсказывала бы, что свет, излучаемый нашей звездой, будет главным образом желтого цвета? В 1893 году немецкий физик Вильгельм Вин попытался найти такую формулу, и ему это удалось. Если не считать маленького недостатка.

— Какого?

— Его формула хорошо работала для цветов, которые смещались к ультрафиолетовому концу спектра, но спотыкалась на более холодных телах, то есть излучающих красный свет.

— И что с того?

— А то, что английские физики лорд Рэлей и Джеймс Джинс получили другое уравнение, но... все еще оставалось место для «но».

— Только не говорите, что и эта формула была неудачной!

— К сожалению, так и было: она не работала для противоположного конца спектра — в ультрафиолетовой области. На практике формула давала абсурдные результаты, откуда и возникло название «ультрафиолетовая катастрофа». Катастрофа потому, что согласно формуле с повышением температуры для излучения мощного ультрафиолета тело должно излучать электромагнитные волны бесконечной длины. Иными словами, излучаемая энергия будет больше поглощенной!



Этот вывод шел вразрез со вторым принципом термодинамики: невозможно поглотить какое-то количество энергии и выделить намного больше. Представь, что ты покупаешь платье, а тебе дают сдачи больше, чем ты заплатила за платье: либо кассир ошибся, либо это... невозможно!



— Значит, были выведены два уравнения и оба оказались верны только наполовину?

— Совершенно верно! Еще раньше считались рабочими теории, основанные на уравнениях Джеймса Клерка Максвелла. Они великолепно описывали взаимодействие между электромагнитным излучением и материей. И вот после стольких успешных применений уравнения оказались неверны. Так что же такого