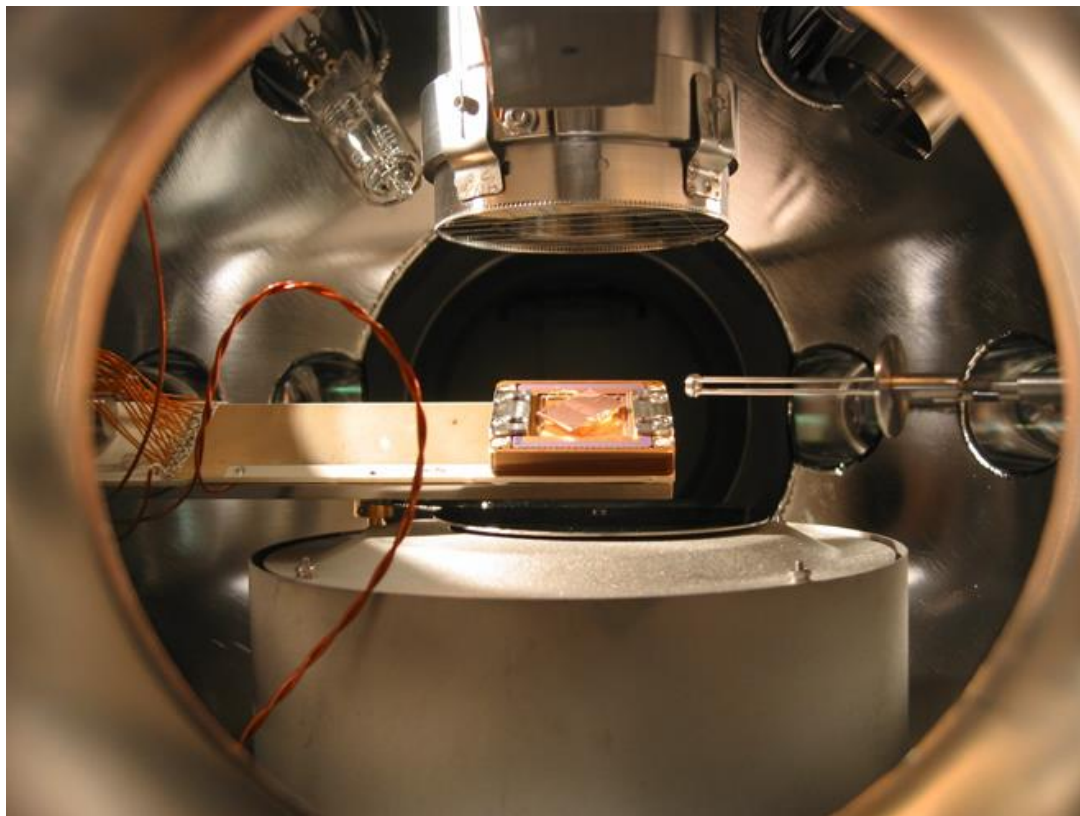


# «КРИСТАЛЛЫ ВРЕМЕНИ» МОГУТ ПЕРЕВЕРНУТЬ ТЕОРЕТИЧЕСКУЮ ФИЗИКУ



В феврале 2012 года нобелевский лауреат, физик Франк Вилчек, решил выйти на публику со странным и, как ему показалось, слегка неуклюжим предположением. Невозможным в его идее было то, что Вилчек разработал и развил доказательство существования **«кристаллов времени»** — физических структур, которые движутся по одной и той же схеме, как минута в часах, не затрачивая энергию и не останавливаясь никогда. В отличие от часов и любых других известных нам объектов, кристаллы времени получают энергию для движения не из хранилища, а из разлома в симметрии времени, который представляет собой особую форму вечного движения.

*«Большинство исследований в физике являются продолжением вещей, которые были сделаны ранее», — говорит Вилчек, профессор Массачусетского технологического института. По его словам, нужно «выглянуть из коробки».*

Идею Вилчека физики встретили настороженно. С одной стороны, у нас есть блестящий профессор, известный разработкой экзотических теорий, которые впоследствии вошли в основное русло, к примеру, существование частиц под названием **аксионы** и **анионы**, а также обнаруженное свойство ядерных сил, известное как **асимптотическая свобода** (за которое он получил Нобелевскую премию по физике в 2004 году). С другой стороны, он говорит о вечном движении, которое считается невозможным из-за фундаментальных законов физики, которые сложно обойти. Стала ли его работа величайшим прорывом или же просто логической ошибкой? Якуб Закржевски, профессор физики и глава атомной оптики в Ягеллонском университете в Польше, изучивший исследования Вилчека, сказал просто: «Я даже и не знаю».

К счастью, технологический прогресс сделал возможным проверку подобной идеи. Физики планируют построить кристаллы времени, даже не за тем, что они будут генерировать бесконечное количество энергии (и тем самым станут вечным двигателем, который безуспешно пытались создать тысячи лет), а за тем, что находка может рассказать о том, что такое время на самом деле.

Идея родилась у Вилчека, когда он готовил лекцию в 2010 году:

***«Я думал о классификации кристаллов, а потом меня осенило, что можно подумать о пространстве-времени с этой точки зрения. И поскольку вы думаете о кристаллах в пространстве, вполне естественно думать о том, как ведут себя кристаллические формы во времени».***

Когда материя кристаллизуется, ее атомы спонтанно выстраиваются в ряды, колонки и стопки трехмерной решетки. Атом занимает свою позицию в решетке, но баланс сил между атомами мешает им набиться в пространстве. Поскольку у атомов есть дискретный, а не непрерывный выбор мест, где появиться, кристаллы ломают пространственную симметрию природы — обычное правило того, что все места в пространстве эквивалентны. Но как насчет временной симметрии природы — правило того, что стабильные объекты остаются неизменными во времени?

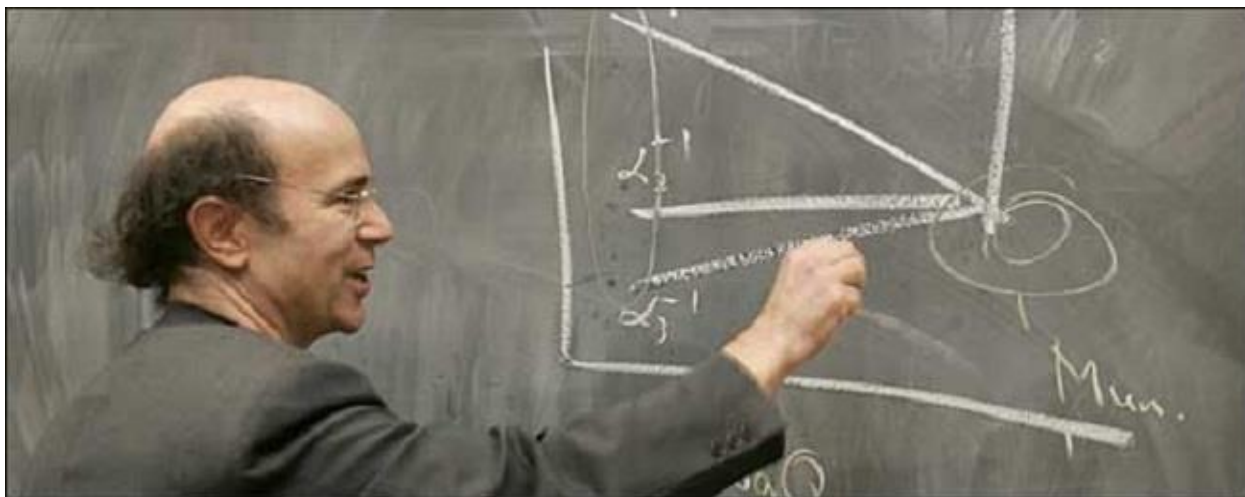
Вилчек обдумывал это в течение нескольких месяцев. В конце концов, его уравнения показали, что атомы действительно могут образовывать постоянно повторяющуюся решетку во времени, возвращаясь в исходное положение спустя дискретный (а не непрерывный) интервал, тем самым нарушая временную симметрию. Без потребления или производства энергии временные кристаллы будут стабильными, то есть находиться в «основном состоянии», как говорят физики, несмотря на циклические изменения в структуре, что с точки зрения физики можно определить как вечное движение.

**«Для физика будет абсолютным безумием думать об основном состоянии как о зависящем от времени», — говорит Хартмут Хаффнер, квантовый физик из Калтеха. — «Из определения основного состояния следует, что его энергия равна нулю. Но если состояние зависит от времени, это подразумевает, что либо энергия изменяется, либо что-то еще. Что-то, что движется по кругу».**

Каким образом что-либо может двигаться вечно, не затрачивая энергию? Звучит безумно, поскольку противоречит общепринятым законам физики. Но исследования Вилчека по квантовым и классическим кристаллам времени (последнее — в соавторстве с Альфредом Шапером из Университета Кентукки) прошли проверку экспертов и были опубликованы в *Physical Review Letters* в октябре 2012 года. Вилчек не утверждает, что знает, могут ли объекты, нарушающие симметрию времени, существовать в природе, но он попытается сделать один из таких в рамках эксперимента.

**«Представьте, что вы рисуете мишень и ждете, пока в нее попадут стрелы. Поскольку нет никакого логического противоречия в том, что это может случиться, я думаю, это случится».**

## **Экспериментище**



*Фрэнк Вилчек.*

В июне группа физиков под руководством Сян Чжана, наноинженера из Беркли, и Тонгчанга Ли, физика из группы Чжана, предложили создать кристаллы времени в форме постоянно вращающихся колец заряженных атомов или ионов. (Ли сообщил, что он думал об этом еще до того, как прочитал документацию Вилчека). Статья была опубликована вместе с Вилчековской в том же журнале.

С тех пор только один критик — Патрик Бруно, физик-теоретик из Европейского фонда синхротронного излучения во Франции — выразил несогласие в научном виде. Бруно считает, что Вилчек и его коллеги ошибочно отождествляют времязависимое поведение объектов с возбужденным энергетическим состоянием, а не основным. Нет ничего удивительного в объектах с избыточным энергетическим движением в цикле с замедлением движения по мере рассеяния энергии. Чтобы стать кристаллом времени, объект должен обладать вечным движением в основном состоянии.

Комментарий Бруно и ответ Вилчека появился в журнале PRL в марте 2013 года. Бруно продемонстрировал, что низкое энергетическое состояние возможно в системе, предложенной Вилчеком, как гипотетический пример квантового кристалла времени. Вилчек ответил, что хотя приведенный пример не является кристаллом времени, он не думает, что эта ошибка «ставит под вопрос основные понятия».

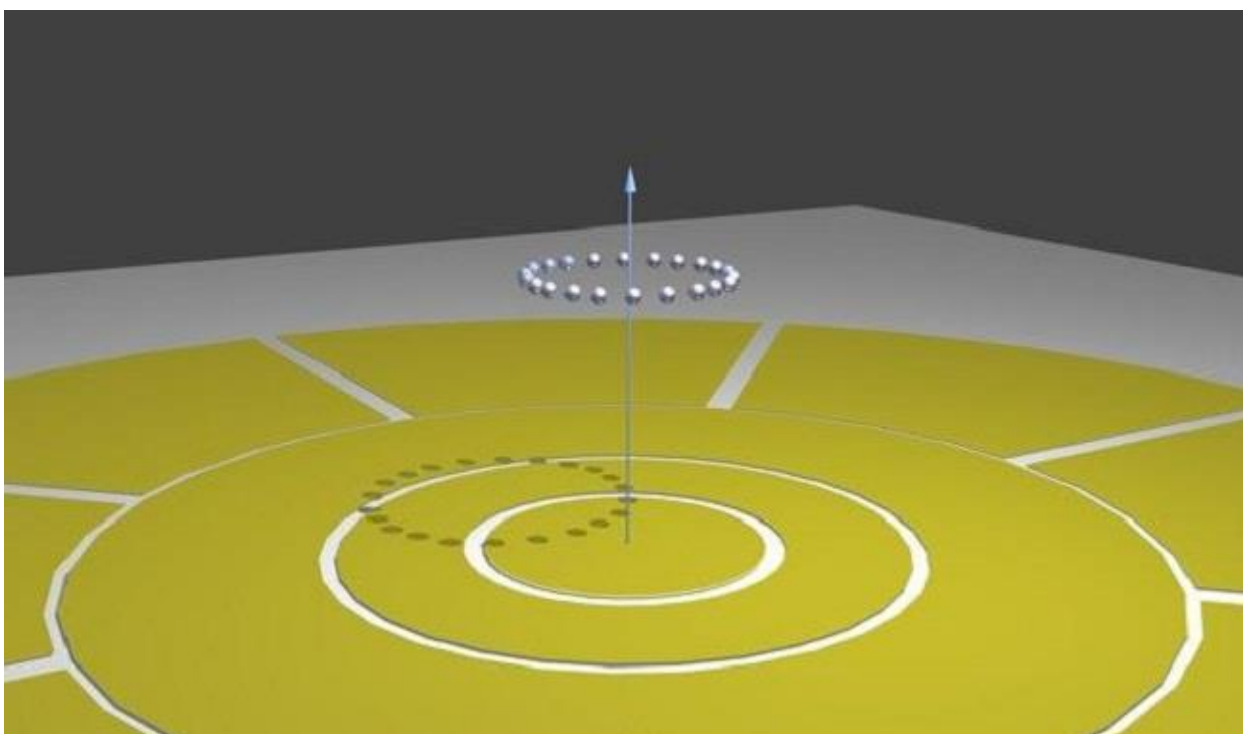
***«Я доказал, что пример некорректен. Но у меня до сих пор нет общего доказательства. Пока».***

Споры едва ли закончатся теоретическими основаниями. Козырь находится в руках у экспериментаторов.

Международная группа ученых во главе с учеными Беркли готовит сложный эксперимент в лаборатории, однако он может быть проведен в период «от трех лет до бесконечности», прежде чем придет к логичному завершению. Все зависит от непредвиденных технических трудностей или финансирования. Есть надежда, что кристаллы времени выведут физику за пределы точной, но **несовершенной** квантовой механики, и проложат путь к более великой теории.

***«Я очень заинтересован в том, могу ли я сделать вклад, следуя постулатам Эйнштейна», — говорит Ли. — «Он говорил, что квантовая механика является неполной».***

## Ионное кольцо



*Иллюстрация эксперимента с кольцом ионов в магнитной ловушке.*

В общей теории относительности Эйнштейна измерения пространства и времени сплетаются воедино — пространство-время. Но в квантовой механике, которая отвечает за взаимодействие веществ на субатомном уровне, время представлено иначе — «тревожной, эстетически неприятной», по словам Закржевского.

Различные понятия о времени могут быть одной из причин несовместимости общей теории относительности и квантовой механики. По крайней мере один из этих двух элементов должен быть изменен, чтобы стало возможным создание всеобъемлющей теории квантовой гравитации. Это одна из основных целей теоретической физики. Какое из пониманий времени будет верным?

Если кристаллы времени могут нарушать симметрию времени таким же образом, как обычные кристаллы разрывают пространственную симметрию, «это будет говорить о том, что в природе эти две величины, похоже, обладают симметричными свойствами, а значит должны однозначно отражаться в теории. Значит, квантовая механика является несовершенной, и квантовым физикам придется рассматривать время и пространство как две нити одной ткани».

Команда Беркли будет пытаться построить кристаллы времени путем введения сотни ионов кальция в небольшую камеру, окруженную электродами. Электрическое поле загонит ионы в ловушку толщиной 100 микронов, примерно с

человеческий волос. После ученым придется откалибровать электроды, чтобы выровнять поле. Поскольку заряды отталкиваются, ионы распределятся равномерно по внешнему краю ловушки, образовав кристаллическое кольцо.

Сначала ионы будут вибрировать в возбужденном состоянии, но диодные лазеры, вроде тех, что используются в DVD-проигрывателях, будут урезать их кинетическую энергию. По расчетам группы, ионное кольцо достигнет основного состояния, когда лазеры охладят ионы до одной миллиардной градуса выше абсолютного нуля. Такая температура долгое время была недостижима из-за нагревания электродов в ловушке, но в сентябре появилась революционная технология, которая в сто крат снизит тепловой фон ловушки. Это именно тот фактор, который нужен исследователям.

Затем исследователи включат статическое магнитное поле в ловушке, которое, если верить теории, заставит ионы вращаться (причем до бесконечности). Если все пойдет по плану, ионы вернуться к исходной точке спустя определенный интервал времени, образовав регулярно повторяющуюся во времени решетку и нарушив временную симметрию.

Чтобы увидеть вращение кольца, ученые тронут один из ионов с помощью лазера, эффективно поставив его в другое электронное состояние, отличное от других 99 ионов. Избранный ион будет оставаться ярким и показывать свое новое местоположение, в то время как другие будут затемняться вторым лазером.

Если яркий ион будет обращаться с постоянной скоростью, ученые впервые продемонстрируют, что трансляционная симметрия времени может быть нарушена.

«Это на самом деле перевернет наше понимание», — говорит Ли. Но прежде мы должны доказать, что это работает».

Пока эксперимент не закончится успехом, многие физики будут настроены скептически.

***«Лично я думаю, что невозможно обнаружить движение в основном состоянии», — говорит Бруно. — «Они могут загнать кольцо ионов в тороидальную ловушку и поиграться с интересной физикой, но они не увидят, что их часики тикают постоянно, как они заявляют».***

Хотя, кто знает, возможно квантовая механика не такая уж и плохая.