

# Квантовые яблоки против релятивистских антиапельсинов

По прошествии всего двадцати лет теорию, устанавливающую границы применимости квантовой физики и теории относительности, проверяют экспериментально.



Историк середины прошлого века, излагая легенду об открытии Ньютоном закона всемирного тяготения, назвал яблоко, упавшее на голову английского гения, самым важным в истории человечества после того, которое Ева разделила с Адамом. Но будь Ньютон итальянцем, на его голову мог упасть и апельсин. Какова в этом случае была бы судьба человечества?

## Двадцать лет спустя

В конце 80-х годов прошлого века американский физик-теоретик Алан Костелецки (Alan Kostelecky) создал свою собственную теорию, объединяющую теорию относительности с квантовой теорией поля. Такие теории тогда получили название теорий всего (theory of everything), и недостатка в них не было: как говорил в те годы тогда ещё совсем молодой Андрей Линде (Andrei Linde), по сравнению с началом века, к концу ситуация кардинально изменилась. Если в начале XX века было трудно предложить теорию, соответствующую наблюдениям, то в конце — стало трудно среди множества теорий, соответствующих наблюдениям, выбрать наиболее предпочтительную.

Нельзя сказать, чтобы предсказания всех теорий совпадали. И все же лишь очень редкие из них проверяются экспериментально и — в большинстве своем — подтверждаются. Это большая удача для теоретика. Но ещё большая удача, если решение судьбы теории отложится до следующей проверки, то есть через одно из испытаний теория пройдет.

Главная трудность отсева в том, что предсказываемые эффекты или очень малы или обнаруживаются лишь на очень малых расстояниях, — одним словом, при очень больших энергиях. Многие из этих эффектов можно наблюдать лишь при энергиях в десятки и сотни раз большие, чем могут быть получены в Большом адронном коллайдере. Но и это ещё не приговор: в некоторых случаях их можно наблюдать в экспериментах с космическими лучами или в численных экспериментах на суперкомпьютерах. И все же для большинства теорий вопрос проверки откладывается на неопределенный срок. Но Алану Костелецки повезло. Некоторые из предсказаний его теории возможно удастся проверить. По прошествии всего двадцати лет.

## Апельсин за яблоком



Дом в Вулсторпе, где молодой Исаак Ньютон спасался от чумы, и та самая яблоня, под которой он любил отдыхать.

Историю о яблоке, упавшем на голову задремавшему Ньютону (Sir Isaac Newton, 1643–1727), поведала миру очаровательная племянница создателя современной физики Катерина Бартон (Catherine Barton, 1679–1739). Нет сомнений, что Ньютон действительно рассказал ей эту историю. Равно как и в том, что он её целиком придумал с исключительно педагогическими целями. Ему надо было объяснить своей самой любимой родственнице, почему Луна, если она быстро вращается вокруг Земли, не улетает от нее прочь.

Ещё задолго до этого, почти за полтора тысячелетия, в эллинистической Александрии Клавдий Птолемей (Claudius Ptolemaeus, 90–168) опровергал пифагорейскую идею о вращении Земли тем, что тела с её поверхности в таком случае срывались бы подобно тому, как срываются кусочки глины с обода гончарного круга. Но Птолемей правильно понимал, что на глину действует какая-то сила, только не умел её вычислить. Ньютон сумел это сделать ещё в 1666 году — почти одновременно с ним её вычислил и Кристиан Гюйгенс (Christiaan Huygens, 1629–1695), который дал ей имя: центробежная сила.

Ссылкой на падающее яблоко Ньютон смог объяснить Катарине Бартон, почему Луна остается на месте. На нее действует не только центробежная сила, но и сила всемирного притяжения — та же, которая заставляет падать яблоко. Но на яблоко действует только сила всемирного притяжения, поэтому оно падает; на Луну действуют две уравновешивающие друг друга силы, поэтому она остается все время на одном и том же расстоянии от Земли.

Сила всемирного притяжения у Ньютона получалась универсальной. Она действовала на все тела и определялась только расстояниями между ними и их плотностью. Апельсин падал бы с тем же ускорением, что и яблоко. Чтобы убедить в этом, Ньютон использовал маятник, период которого (в случае идеального математического маятника), как известно, зависит только от длины нити, на которой подвешен груз и от ускорения свободного падения. Меняя материал, из которого был изготовлен подвешенный груз, Ньютон проверял, не изменяется ли при этом период колебаний. Никакой зависимости ему установить не удалось — разумеется, в пределах точности его опытов, достигавшей 10–3. Серия аналогичных экспериментов была поставлена и в XIX столетии: в 1828–1832 годах немецким физиком и математиком Фридрихом Бесселем (Friedrich Wilhelm Bessel, 1784–1846) и в 1888–1889 — венгерским физиком Лорандом Этвешем (Baron Lora`nd von Eo`tvos, 1848–1919).

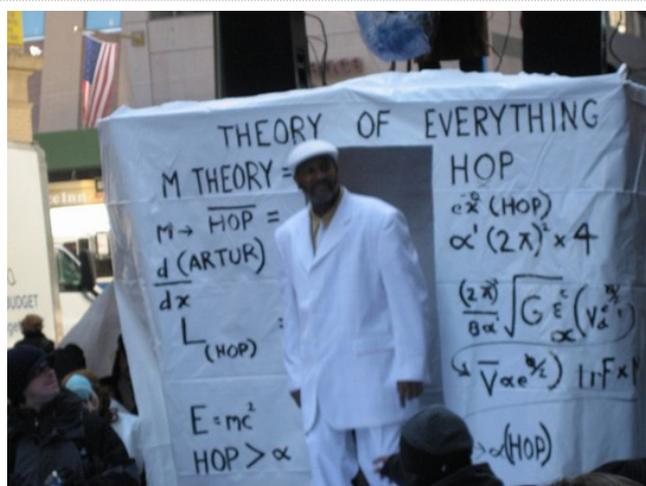
В экспериментах Бесселя измерялся период колебаний маятников с подвешенными телами, изготовленными из железа, золота, свинца, метеоритного железа, мрамора и глины. Точность опытов Бесселя, подтвердивших результат Ньютона, достигала 10–5. Что касается Этвеша, то независимость гравитационного взаимодействия от химической природы взаимодействующих тел он проверял с помощью более совершенного инструмента — статических крутильных весов. Точность его опытов достигала уже 10–7.

И все же из теории Костелецки следует, что точность этих экспериментов недостаточна. Яблоки и апельсины должны падать с разным ускорением. Только различие это гораздо меньше, чем можно измерить с помощью крутильных весов Этвеша.

## Перемены в тяжести

Сравнительно недавно группа исследователей из Вашингтонского университета в Сиэтле (University of Washington), руководимая Эриком Адельбергером (Eric Adelberger), предприняла новую попытку проверить независимость силы гравитации от состава вещества. Их сверхчувствительные крутильные весы давали точность в определении ускорения свободного падения до 10–11. Но результат от этого не изменился: сила гравитации, действующая на образец из бериллия, не отличалась от силы гравитации, действующей на титановый образец.

Чтобы добиться столь высокой точности, Адельбергеру и его коллегам необходимо было защитить весы от электрического и магнитного полей, а также от вибраций, которые могут исходить от соседних лабораторий. Ещё одним возмущающим фактором, который также необходимо было нивелировать, было гравитационное воздействие приливных явлений. И все это делалось для того, чтобы проверить расчеты, проведенные Костелецки совместно с аспирантом Джемом Тассоном (Jay Tasson). Результаты этих расчетов опубликованы в январе этого года, но в их основе теория двадцатилетней давности. Разница в ускорении свободного падения апельсинов и яблок или титана и бериллия — следствие нарушения двух фундаментальных законов симметрии. Один из них называется Лоренц-инвариантностью, а другой СРТ-симметрией.



Всякое взаимодействие между материальными телами можно свести к четырем фундаментальным. Для трех из них есть своя теория, и для четвертого — своя. Некоторые физики верят, что если будет одна общая теория для всех (её называют теорией всего, или theory of everything), то история теоретической физики на этом завершится. Но есть, правда, и такие, которые уверены, что этого не произойдет никогда!

Каждый из этих законов связан с одной из объединяемых теорий. Лоренц-инвариантность — это то, во что превратила теория Эйнштейна галилеевский принцип относительности. Невозможность в результате измерения скорости света в вакууме получить что-нибудь отличное от 300000 км/с подразумевает определенные взаимные сокращения длин и замедления часов в движущихся относительно друг друга системах отсчета.

СРТ-симметрия столь же фундаментальная особенность квантовой теории поля. Она на сегодняшний день остается едва ли не единственным следствием самых естественных аксиом теории. В соответствии с ней мир, в котором мы живем, останется неизменным, если одновременно заменить частицы античастицами, поменять местами будущее и прошлое, а всё, что получится, ещё и отразить в зеркале. Представить себе такое трудно, но зато легко описать математически.

Ничего удивительного, что вплоть до настоящего времени никто никогда не обнаруживал явлений, в которых нарушались бы Лоренц-инвариантность или СРТ-симметрия. Впрочем, может быть, не там искали? Когда «сшиваются» две теории, то деформации естественнее всего искать там, где проходит шов.

Подобных нарушений не может быть на макроскопических масштабах. Но в очень малых объемах пространства могут происходить многие удивительные вещи. Например, может нарушаться принцип сохранения энергии или принцип причинности. Такие нарушения симметрии на малых пространственных масштабах относятся к так называемым спонтанным нарушениям симметрии — ситуациям, в которых симметрия основных уравнений сохраняется, а несимметричными оказываются только решения этих уравнений. Примером спонтанного нарушения симметрии, на который любит ссылаться сам Костелецки, может служить сама Солнечная система. Ведь все уравнения, описывающие её динамику, обладают сферической симметрией, а орбиты почти всех её планет лежат в одной плоскости.



Спонтанное нарушение симметрии — явление, известное не только в физике.

## Вопрос масштаба

Подбирая наглядные иллюстрации нарушения симметрии на малых масштабах, Костелецки обращает внимание на изображение телеведущего на экране монитора. Оно сложено из крошечных точек — пикселей. Но в обычной ситуации мы их не различаем. Но если на галстук телеведущего мелкий узор, на экране возникает муар, и мы убеждаемся, что пиксели все же существуют. В одной из своих популярных статей Костелецки пишет:

Нарушения теории относительности, словно муаровая картинка, могли бы выявить истинную структуру пространства-времени. Внешне оно выглядит Лоренц-инвариантным, однако на достаточно малых масштабах могло бы проявиться искажение лоренцевской симметрии.

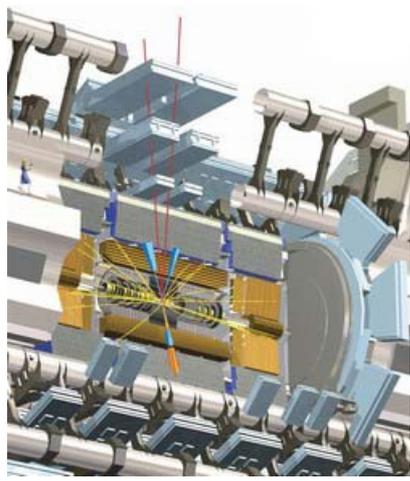
Под «малыми масштабами», по мнению Костелецки, следует понимать длины от 10<sup>-34</sup> до 10<sup>-17</sup> м.

Идея спонтанного нарушения симметрии в теоретической физике не нова. В частности, именно им объясняется появление намагниченности у монокристалла ферромагнетика при охлаждении: несмотря на то что в пространстве нет выделенного направления, оно возникает у монокристалла, когда спины всех атомов встают параллельно друг другу. Спонтанным нарушением симметрии в Стандартной модели элементарных частиц объясняется возникновение массы: несмотря на то что уравнения теории удовлетворяет решение, когда массы всех частиц равны нулю, такое решение оказывается энергетически невыгодным.

На протяжении уже более двадцати лет Стандартная модель, описывающая все взаимодействия элементарных частиц за исключением гравитационных, служит исходной точкой для построения любой теории. Называя свою теорию расширенной стандартной моделью (Standard Model Extension), Костелецки претендует на её минимальные отличия от самой Стандартной модели. Только для «включения» гравитации придется ввести некоторые дополнительные поля, действующие наподобие гипотетического поля, введенного Питером Хиггсом (Peter Higgs). Костелецки называет это поле х-полем.

Так же, как при квантовании электромагнитного поля возникают фотоны, а при квантовании хиггсовского поля — хиггсовские бозоны, квантами х-поля оказываются гравитоны, частицы, переносящие гравитационное взаимодействие. Кварки обмениваются ими, и в результате возникает взаимное притяжение. Однако разные кварки обмениваются ими с разной интенсивностью, отчего возникает эффект, который может быть замечен даже в опытах с макроскопическими образцами. Его-то и пытались измерить сотрудники Адельбергера. Правда, пока безуспешно.

Есть у теории ещё одно предсказание, допускающее подобную проверку. Яблоки должны не только падать быстрее или медленнее апельсинов, но они могут также падать по-разному в разное время года. Удалось же измерить изменения скорости Земли относительно реликтового излучения. Аналогичным образом можно обнаружить и её движение относительно х-поля. Проблема, однако, в том, что теория Костелецки не дает ответа на вопрос, когда яблоки или апельсины будут падать быстрее — летом или зимой.



Принципиальная схема эксперимента по обнаружению хиггсовского бозона в Большом адронном коллайдере. Если эксперимент завершится удачно, можно будет считать доказанным, что масса элементарных частиц возникает именно в результате спонтанного нарушения симметрии вакуума.

## Беда экспериментатора

Само по себе отсутствие экспериментальных подтверждений теории Костелецки и Тассон отнюдь не склонны рассматривать как свидетельство её несостоятельности. Они напоминают о необходимости повышать точность измерений и замечают, что некоторые весьма важные предсказания расширенной стандартной модели ещё только предстоит проверить. Так, расширенная стандартная модель допускает, что по-разному будут вести себя в гравитационном поле яблоки и антияблоки (яблоки из антивещества).

Проверить это предсказание достаточно трудно из-за известных проблем с накоплением достаточно большого количества антивещества. В то же время атомы антиводорода в нашем распоряжении имеются, и вполне можно попытаться проверить, отличается ли их ускорение от ускорения атомов водорода. «Возможно, такие эксперименты будут осуществлены уже в следующем десятилетии», — цитирует Алана Костелецки журнал *New Scientist*.

Ну что же, «если эксперименты не подтверждают теорию, тем хуже для эксперимента!» Но как отзываются коллеги на идеи профессора из Индианы? В апрельском выпуске *New Scientist* приводятся высказывания некоторых из них. Например, физика Майка Тобара (Mike Tobar) из университета Западной Австралии (University of Western Australia in Crawley), называющего идеи, выраженные в статье Костелецки и Тассона, «важным этапом» развития современной физики. С ним в целом соглашается Рональд Уолсворт (Ronald L. Walsworth), считающий, что разные группы исследователей будут пытаться в ближайшее время найти эффекты, предсказываемые «стандартной теорией с расширением». Уолсворт тем не менее не склонен связывать с подобными экспериментами открытие нарушений важнейших симметрий современной физики. Он говорит: «У меня нет безусловной уверенности в том, что такие нарушения существуют. Но даже если это так, невозможно быть уверенным в том, что человеку вообще удастся когда-либо их обнаружить».

Пока у теории Костелецки много конкурентов, а значит, и много противников. Есть свои противники и вообще у идеи построить «теорию всего». Но даже если эксперименту и приходится часто отступать с своим состязанием с теорией, конечный выбор все же за ним: *experimentum cricis* рано или поздно покончит с ложной теорией.

Автор: Дмитрий Баюк, Борис Булюбаш © Вокруг Света НАУКА И ТЕХНИКА, МИР 👁 3258 09.08.2009, 09:23  
👤 202

URL: <https://babr24.com/?ADE=80087> Bytes: 15394 / 14537 Версия для печати

👍 Пореккомендовать текст

Поделиться в соцсетях:

Также читайте эксклюзивную информацию в соцсетях:

- Телеграм
- ВКонтакте

Связаться с редакцией Бабра:  
[newsbabr@gmail.com](mailto:newsbabr@gmail.com)

Автор текста: **Дмитрий Баюк,**  
**Борис Булюбаш.**

#### **НАПИСАТЬ ГЛАВРЕДУ:**

Телеграм: @babr24\_link\_bot  
Эл.почта: newsbabr@gmail.com

#### **ЗАКАЗАТЬ РАССЛЕДОВАНИЕ:**

эл.почта: bratska.net.net@gmail.com

#### **КОНТАКТЫ**

Бурятия и Монголия: Станислав Цырь

Телеграм: @bur24\_link\_bot  
эл.почта: bur.babr@gmail.com

Иркутск: Анастасия Суворова

Телеграм: @irk24\_link\_bot  
эл.почта: irkbabr24@gmail.com

Красноярск: Ирина Манская

Телеграм: @kras24\_link\_bot  
эл.почта: krasyar.babr@gmail.com

Новосибирск: Алина Обская

Телеграм: @nsk24\_link\_bot  
эл.почта: nsk.babr@gmail.com

Томск: Николай Ушайкин

Телеграм: @tomsk24\_link\_bot  
эл.почта: tomsk.babr@gmail.com

[Прислать свою новость](#)

#### **ЗАКАЗАТЬ РАЗМЕЩЕНИЕ:**

Рекламная группа "Экватор"

Телеграм: @babrobot\_bot  
эл.почта: eqquatoria@gmail.com

#### **СТРАТЕГИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО:**

эл.почта: babrmarket@gmail.com

[Подробнее о размещении](#)

[Отказ от ответственности](#)

[Правила перепечаток](#)

[Соглашение о франчайзинге](#)

[Что такое Бабр24](#)

[Вакансии](#)

[Статистика сайта](#)

[Архив](#)

[Календарь](#)

[Зеркала сайта](#)

