

Ознакомьтесь с [Условиями пребывания на сайте Форнит](#) Игнорирование означает безусловное согла

СОГЛАСЕН

[Активность](#)[Главная](#)[Темы](#)[Арт](#)[Полезное](#)[О сайте](#)

Книги сайта: [«Мировоззрение»](#), [«Познай себя»](#), [«Основы адаптологии»](#),  
[«Вне привычного»](#), [Лекторий МВАП](#) и [«Что такое Я»](#).

# Флуктуации вакуума

Относится к [«Теории мироздания»](#)

Флуктуации вакуума

Квантовая теория поля утверждает, что, в согласии с принципом неопределённости, в физическом вакууме постоянно рождаются и исчезают виртуальные частицы [173]: происходят так называемые нулевые колебания полей (см. [Природа флуктуаций ва](#)

Вот список известных эффектов, которые часто приписываются виртуальным частицам:

- [Спонтанная эмиссия фотона](#) в процессе распада возбуждённого атома или ядра. Такой распад невозможен по законам обычной квантовой физики и требует квантизации электромагнитного поля для объяснения.
- [Эффект Казимира](#), заключающийся во взаимном притяжении или отталкивании незаряженных немагнитных тел под действием квантовых флуктуаций в вакууме.
- [Боковая отталкивающая сила света](#), заключающийся во взаимном притяжении или отталкивании параллельных лучей ЭМ излучения с разным числом фаз волны в каждой точке. Это происходит вследствие квантовых флуктуаций в вакууме.
- [Сила Ван Дер Ваальса](#) (van der Waals force), которая похожа на эффект Казимира, но происходит только между двумя атомами [171].
- [Поляризация вакуума](#) (Vacuum polarization), которая включает генерацию пары частица-античастица или «распад вакуума» (the decay of the vacuum), как, например, спонтанная генерация электрон-позитронной пары.
- [Излучение Хокинга](#), которое происходит в сильном гравитационном поле, таком, например, как вблизи чёрных дыр.
- [Лэмбовский сдвиг](#) атомных уровней объясняется нулевыми колебаниями электромагнитного поля в физическом вакууме.

Эффект нулевых колебаний полей приводит к следующим следствиям:

- [Гравитационное взаимодействие](#)
- [Образование вселенной из ничего](#)

## [Эффект Казимира](#)

**Сила притяжения между двумя поверхностями в вакууме, впервые предсказанная Генрихом Казимиром (Hendrik Casimir) более 50 лет назад, может повлиять практически на все - от микроприборов до теории Большого Взрыва.**

Что произойдет если Вы возьмете два зеркала и установите их зеркальными сторонами друг к другу в пустом пространстве? Да ничего не произойдет, скажете Вы. А на самом деле зеркала притягиваются друг к другу из-за того, что между ними находится вакуум. Это явление было впервые предсказано немецким физиком-теоретиком Генрихом Казимиром в 1948 году, когда он работал в исследовательском центре Philips Research Laboratories в Эйндховене (Eindhoven) над коллоидными растворами. Это явление получило название эффекта Казимира, возникающая между зеркалами - сила Казимира.

Долгие годы эффект Казимира был не многим более, чем интересной теорией. Но в последние годы интерес к явлению вырос. Физики-экспериментаторы обнаружили, что сила Казимира оказывает влияние на микромир, а прогресс в техническом оснащении сделал возможным измерение этой силы со значительно большей точностью.

Интересен этот эффект и с точки зрения фундаментальной физики. Многие теории предсказывают существование "протяженных" дополнительных измерений в 10- и 11-мерных теориях. Согласно этим теориям, должно наблюдаться отклонение от классической ньютоновой гравитации на субмиллиметровых расстояниях. Измерения действия эффекта Казимира таким образом может помочь в проверке подобных гипотез.

Может показаться, что флуктуации вакуума это некоторые абстракции, возникшие в больном мозгу физика не так. Их наблюдаемые проявления вполне могут быть экспериментально обнаружены в микромире. Напрямую атом не будет оставаться бесконечно долго в возбужденном состоянии, а перейдет в основное, спонтанно испустив фотон. Это явление - следствие флуктуаций вакуума. Попробуйте удержать карандаш "прямо стоящим" на кончике пальца. Он будет стоять, но только если Ваша рука будет абсолютно устойчивой и ничто не будет нарушать равновесия карандаша. Но малейшее колебание повергнет карандаш в более устойчивое равновесное состояние и атом в возбужденном состоянии - под действием флуктуаций вакуума он переходит в свое основное состояние.

Сила Казимира - наиболее известное механическое проявление флуктуаций вакуума. Рассмотрим щель между двумя плоскими зеркалами как потенциальную яму. Все электромагнитные поля имеют характерный спектр, состоящий из многих различных частот. В свободном вакууме все частоты равноправны. Но в потенциальной яме, где поле, отражаясь, "колеблется" между зеркалами, ситуация отлична от случая свободного вакуума. Поле усиливается, если целое число половин длин волн точно "помещается" в яму. Эти длины волн соответствуют "резонансу потенциальной ямы". Длины волн, отличные от резонансных, напротив, подавляются. Флуктуации вакуума подавляются или же усиливаются в зависимости от того, соответствуют их частоты резонансным или нет.

При обсуждении силы Казимира нельзя не упомянуть о "давлении поля излучения". Каждое поле - даже вакуумное - переносит энергию. Электромагнитные поля не просто распространяются в пространстве - они еще и оказывают давление на поверхности, так же, как вода давит на плотину. Давление излучения растет с ростом энергии поля, то есть, с частотой электромагнитного поля. Давление излучения на резонансных частотах внутри полости больше, чем снаружи и зеркала отталкиваются. Вне резонанса же наоборот - давление внутри меньше, чем снаружи и зеркала притягиваются друг к другу. Так как отталкивание происходит на конкретном наборе частот, а притягивание - на всех остальных частотах, то притягивающая компонента все же "сильнее" отталкивающей. При этом необходимо отметить, что обе компоненты - как притягивающая, так и отталкивающая - существуют одновременно.

Томас Эдет (Thomas Ederth) из Королевского Технологического Института (Royal Institute of Technology) в Стокгольме, Швеция, использовал атомный микроскоп для изучения эффекта Казимира. Он измерил силу, возникающую между двумя цилиндрами, покрытыми золотом, повернутыми на 90° друг относительно друга, разделенными расстоянием в 20 нанометров. Его результат согласуется с теорией лучше, чем на 99%.

Эффект Казимира может также играть роль при точных измерениях силы в микромире на микро- и нанометровых шкалах. Ньютоновский закон много раз проверялся в макромире, например, при исследовании движения планет, но еще никому не удавалось проверить его на микронных расстояниях с хорошей точностью. Такие тесты очень важны, так как существует множество теорий, в которых происходит объединение всех четырех взаимодействий, и эти теории предсказывают существование новых сил, действующих на этих шкалах. Таким образом, любое расхождение между экспериментом и теорией может интерпретироваться как существование новых сил. В любом случае, новые измерения положат новые ограничения на существующие теории.

Джинс Гандблах (Jens Gundlach) с коллегами из Вашингтона, например, использовали крутильный маятник для определения гравитационной силы между двумя тестовыми массами, разделенными от 10 мм до 220 микрометров. Их измерения подтвердили, что ньютоновская гравитация действует на этих шкалах, а сила Казимира доминирует на значительно меньших расстояниях. Тем временем Джошуа Лонг (Joshua Long), Джонн Прайс (John Price) с коллегами из Университета Колорадо вместе с Эфрамом Фишбахом (Ephraim Fischbach) и его сотрудниками из Университета Парду (Purdue University) попытались устранить действие эффекта Казимира на субмиллиметровых тестах гравитации путем более тщательного выбора материалов, используемых в эксперименте.

### **Боковая отталкивающая сила света**

Существование боковых сил (также называемых оптическими связывающими силами — optical binding for physicists) предсказывали с 2005 года, причём предполагалось, что эти силы могут быть как отталкивающими, так и притягивающими. Последние как раз удалось обнаружить в прошлом году.

А вот теперь та же группа исследователей построила микроскопическое устройство, в котором добилась преобладания сил притяжения, так и сил отталкивания между соседними световыми пучками, пойманными внутри оптических волноводов. Причём физики нашли способ регулировать эти силы по своему желанию.

"Это завершает картину, — заявил Тан. — Мы показали, что действительно существует двухполярная сила

притягивающей и отталкивающей компонентами". Физики поясняют, что существование оптических связей сил увязано с уравнениями Максвелла, а по физической сути данные силы являются родственниками силы Казимира, которая появляется из-за квантовых флуктуаций в вакууме.

Для проявления этой новой силы учёные разделили луч инфракрасного лазера на два отдельных потока, пропущенных по кремниевым нановолноводам, отличным по длине. После завершения такой петли эти волноводы подождали, чтобы вплотную друг к другу (расстояние в ряде опытов менялось). В этот момент два бегущих рядом пучка оказывались со смещёнными друг относительно друга фазами.

В зависимости от величины этого сдвига, выяснили экспериментаторы, и меняется (по величине и знаку) сила взаимодействия этих пучков, которую они передают на удерживающие их волноводы. И хотя сила была (порядка нескольких пиконьютонов), её удалось измерить и выявить закономерности: открытая сила зависела от сдвига фаз, и от мощности излучения, и от расстояния между нановолноводами.

### [Лэмбовский сдвиг](#)

По современной квантовой теории в любой точке могут возникнуть на короткое время любые пары частица-античастица, любые поля и тут же исчезать вновь. Главное, что время существования такого "новообразования" должно быть тем меньше, чем ее больше суммарная энергия - в соответствии с соотношением неопределенности Гейзенберга ([Вернер Карл Гейзенберг](#)).

Это - флуктуации вакуума (нулевые колебания вакуума); порожденные пары называют виртуальными. Если вблизи нет реальных частиц, они ни на что не влияют. Наличие частицы-волны проявляет виртуальность, как бы "растаскивая" их, заставляя их плодиться и роиться вокруг себя облачком... (поляризация вакуума).

Нулевые колебания электромагнитного поля заставляют "дрожать" электрон, движущийся в атоме, - он как бы превращается в шарик с радиусом, равным амплитуде дрожания, слабее взаимодействующий с ядром, чем настоящий электрон. В результате энергетические уровни атома слегка сдвигаются по сравнению со значением, вычисленным без учета дрожания. Этот эффект впервые обнаружил сотрудник Колумбийского университета (США) экспериментатор У. Лэмб в 1947 году.

По этой причине полученное экспериментальное значение магнитного момента электрона отличается в 1.001159652200 раз от значения магнетона Бора ([Нильс Бор](#)) предсказанного по уравнению Дирака ([Поль Дирак](#)).

Когда была создана теория перенормировок, лэмбовский сдвиг оказался первым физическим эффектом, в котором подтвердилась ее правильность (и, соответственно, правильность квантовой электродинамики /КЭД/ построенной с использованием этой перенормировки). Вычисленное новое теоретическое значение оказалось 1.001159652415 магнетонам Бора, что поразительно точно совпадает с экспериментом.

За свою работу Лэмб был удостоен Нобелевской премии.

### [Излучение Хокинга](#)

Излучение Хокинга — процесс испускания разнообразных элементарных частиц, преимущественно фотонов, чёрной дырой.

Работе Хокинга предшествовал его визит в Москву в 1973 году, где он встречался с советскими учеными Яковом Зельдовичем и Александром Старобинским. Они продемонстрировали Хокингу, что в соответствии с принципом неопределенности квантовой механики вращающиеся чёрные дыры должны порождать и излучать частицы. В случае чёрной дыры ситуация выглядит следующим образом. В квантовой теории физический вакуум наполнен постоянно рождающимися и исчезающими флуктуациями различных полей (можно сказать и «виртуальными частицами»). В поле внешних сил динамика этих флуктуаций меняется, и если силы достаточно велики, прямо из вакуума могут рождаться пары частица-античастица. Такие процессы происходят и вблизи (или же снаружи) горизонта событий чёрной дыры. При этом возможен случай, когда полная энергия античастицы оказывается отрицательной, а полная энергия частицы — положительной. Падая в чёрную дыру, античастица уменьшает её полную энергию и значит и массу, в то время как частица оказывается способной улететь в бесконечность.

Для удалённого наблюдателя это выглядит как излучение чёрной дыры.

### Спонтанная эмиссия фотона [\[170\]](#)

Пожалуй, самым наглядным из явлений, которые нельзя объяснить, не используя и нулевых колебаниях вакуума, это спонтанное излучение. Самые обыкновенные излучающие спонтанно лампы накаливания не светились бы, если бы вакуум был абсолютной пустотой. Дело в том, что любой объект (а, значит, и возбужденный атом), помещенный в абсолютно пустое пространство, представляет собой замкнутую систему, поскольку такая система стабильна во времени, то никакого излучения не происходит. Уже из этого простого рассуждения понятно, что объяснение спонтанного излучения требует привлечения более сложной модели вакуума, чем классическая абсолютная пустота.

### Сила Ван Дер Ваальса [\[171\]](#)

В классической механике отсутствует взаимодействие между осцилляторами при отсутствии колебаний. В действительности две молекулы могут взаимодействовать друг с другом, даже находясь в невозбуждённом состоянии. Это взаимодействие осуществляется посредством нулевых колебаний и является основанием для анализа сил Ван дер Ваальса в квантовой теории. [\[169\]](#)

### [Поляризация вакуума](#)

Электрическое (и в первую очередь кулоновское) поле заряженной частицы оказывает влияние на распределение виртуальных электронно-позитронных пар (и пар любых других заряженных частиц-античастиц). Реальный электрон притягивает виртуальные позитроны и отталкивает виртуальные электроны. Это должно приводить к явлениям, напоминающим поляризацию среды, в которую вносится заряженная частица. Для описания таких явлений опять применим метод возмущений. Поляризация электронно-позитронного вакуума (принято использовать подсказываемый приведённой аналогией термин) является квантовым эффектом, вытекающим из К. т. п. Эта поляризация приводит к тому, что реальный электрон оказывается окруженным плотным слоем позитронов из виртуальных пар, эффективный заряд электрона должен существенно изменяться. Возникает экранирование заряда, т. е. его эффективное уменьшение. Если рассматривать «затравочные» частицы как точечные, то экранировка оказывается полной, т. е. эффективный заряд нулевой (проблема «заряда нуля»). Для преодоления этой трудности используется идея перенормировки заряда. Здесь почти дословно повторяются приводившиеся при обсуждении перенормировки массы аргументы. Назовём «затравочным» заряд, который был бы у частицы, если бы исчезло взаимодействие с электронно-позитронным вакуумом (будем говорить только о нём, хотя, конечно, нужно учитывать и влияние виртуальных фотонов и др. полей). Наличие такого взаимодействия приводит к появлению «поправки» к заряду. Корректно вычислять её физики не умеют, как не умеют и определять «затравочный» заряд. Но поскольку эти две части заряда ни в эксперименте, ни в теории не выступают порознь, можно обойти трудность, подставляя на место общего заряда величину, непосредственно взятую из опыта. Эта процедура называется перенормировкой заряда.

Перенормировки заряда и массы не решают проблем, возникающих в теории точечных частиц, они лишь изолируют эти проблемы на некотором этапе теории и (что весьма важно) дают возможность выделить конечные наблюдаемые части из бесконечных значений для некоторых величин, характеризующих физические частицы.

## Некоторые следствия:

### Гравитационное взаимодействие

«В этой теории гравитационное взаимодействие - не фундаментальное взаимодействие, а результат квантовых флуктуаций всех других полей. В настоящее время достигнут большой прогресс в этом направлении ...»

Физическая энциклопедия. ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.

Т.е. гравитационная энергия поля связана с энергией вакуумных флуктуаций. Такой подход позволяет рассматривать гравитационное взаимодействие естественным образом как результат подталкивания полевой средой тел друг к другу. Чтобы возникла гравитационная сила, должна существовать разность давлений колебаний поля (вакуума) флуктуационного характера. То, что электромагнитные флуктуации вакуума могут подталкивать тела к сближению, подтверждено экспериментально - эффект Казимира.

«Поскольку любые флуктуации - это колебания вокруг некоторого среднего значения, физический процесс рассматривается как квантовая система в состоянии с минимальной энергией, в среднем равной нулю. Поэтому квантовые флуктуации вакуума часто называют нулевыми колебаниями электромагнитного поля. ... При эффекте Казимира две параллельные пластинки можно рассматривать как резонатор, в котором существуют только те волны, для которых соблюдается условие резонанса: на расстоянии  $L$  между пластинками укладывается целое число  $n$  полуwave. Максимально возможная длина волн будет  $\lambda = 2L/n$  - в пространстве между пластинками не могут рождаться виртуальные фотоны с длинами волн, превышающими  $2L$ . Поэтому плотность энергии нулевых колебаний в зазоре между пластинками меньше, чем снаружи, что и обуславливает притяжение пластинок. ... Эксперименты подтвердили теорию с точностью до 1%.»

### Образование вселенной из ничего

Подойдем с такой же меркой к вопросу о возникновении Вселенной "из ничего". Противоречит ли это предположение законам физики? Возможно ли это, можно ли было (если не сейчас, то в будущем) создать непротиворечивую, правильную теорию этого поистине самого грандиозного явления?

...

Начнем с закона сохранения электрического заряда. Ответ лежит на поверхности, очевиден: нет никакого запрета на рождение электронейтральной Вселенной, т. е. Вселенной, содержащей равное число положительных и отрицательных зарядов. Есть основания думать, что именно такова наша Вселенная. В противном случае возникли бы сильные электрические поля, которые нарушили бы ее (Вселенной) однородность и изотропию. Итак, Вселенная, скорее всего, строго нейтральна, а значит, вполне могла родиться "из ничего" (без противоречия закону сохранения электрического заряда). Обратимся к закону сохранения барионного заряда...в окончательной форме закона сохранения барионного заряда: сохраняется разность числа барионов и антибарионов. ...Закон сохранения барионного заряда необычайно важен как для Вселенной в целом, так и для непосредственно окружающего нас современного мира. С учетом этого закона



данное количество барионов можно использовать для производства энергии, только переводя их в наинизшее энергетическое состояние, а именно в ядра железа \*. Отсюда следует, что энергию можно получить, либо превращая уран в ядра середины таблицы Менделеева, либо превращая водород в железо.

...

Обратимся к закону сохранения энергии для Вселенной как целого. Напомним, что у покоящейся частицы эквивалентна ее массе,  $E = Mc^2$ . Сохранение энергии покоя - это есть и сохранение массы.

...в замечательной книге Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица "Теория поля" проводилось только и строго формальное доказательство того, что масса (а значит, и энергия) замкнутой Вселенной тождественно равна нулю. Предыдущие рассуждения позволяют понять это утверждение наглядно. Отрицательная гравитационная энергия взаимодействия частей точно компенсирует положительную энергию суммы всех частей, всего вещества. Общая теория относительности, связывающая тяготение и геометрию, доказывает, что точная компенсация происходит тогда и именно тогда, когда становится замкнутым пространство в котором находится вещество.

Итак, общая теория относительности устраняет последнее препятствие на пути рождения Вселенной "из ничего". Энергия "ничего" равна нулю. Но и энергия замкнутой Вселенной равна нулю. Значит, закон сохранения энергии не противоречит образованию "из ничего" замкнутой Вселенной (но именно геометрически замкнутой, а не открытой бесконечной Вселенной).

### **Дополнительные материалы:**

- [Природа флуктуаций вакуума](#)
- [Как расширяется Вселенная](#)
- [Вакуум, кванты, вещество](#)

**Обсуждение** Сообщений: 9. Последнее - 12.08.2008г. 20:43:47

Последнее редактирование: 2018-04-19

[Оценить статью >>](#) пока еще нет оценок, ваша может стать первой :)

**Об авторе:** Статьи на сайте Форнит [активно защищаются](#) от безусловной веры в их истинность, и [авторитетность автора](#) не должна оказывать влияния на понимание сути. Если читатель затрудняется сам с определением корректности приводимых доводов, то у него есть возможность задать вопросы в обсуждении или в теме на форуме. [Про авторство статей >>](#).

[Тест: А не зомбируют ли меня?](#) [Тест: Определение веса ненаучности](#)

**В предметном указателе:** [Гравитация](#) | [Флуктуация вакуума](#) | [Природа флуктуаций вакуума](#) | [Флуктуации вакуума впервые измерили напрямую](#) | [Выполнены прямые наблюдения квантовых флуктуаций](#) | [Макроскопические флуктуации С.Шноля](#) | [Обсуждение Природа флуктуаций вакуума](#) | [Обсуждение Флуктуации вакуума](#) | [Выполнены прямые наблюдения квантовых флуктуаций](#) | [Акимов, Шипов](#) | [О теориях мироздания](#) | [Ошибки теории эфира](#) | [Теория вакуума](#) | [Эфирные теории](#) | [А.В.Рыков Вакуум и вещество Вселенной](#) | [Афера: вакуумный Клондайк академии наук](#) | [Вакуум, кванты, вещество](#)

**Последняя из новостей:** Делаются определённые обобщения, коррелирующие с моделью представлений об организации механизмов психики МВАП: [Критические периоды развития у человека и вундеркинды](#).

[Все новости](#)

[Исследователи из Facebook научили ИИ визуальному восприятию](#)

Инженеры из Facebook представили новый метод обучения ИИ, который помогает системе визуально воспринимать видео и фотографии. Это ускоряет процесс анализа, к тому же он становится менее механическим.

[Все статьи журнала](#)

	посетителей заходов	
сегодня:	1	1
вчера:	3	3
Всего:	20446	24365

Система аксиом, не противоречащих одна другой в описании какой-то части мира, уже в гораздо меньшей степени оказывается зависимой от личных убеждений или веры - именно в силу свой непротиворечивости и верности описаний, позволяющей предсказывать события. [Основы адаптологии](#)

[Авторские права сайта Fornit](#)

