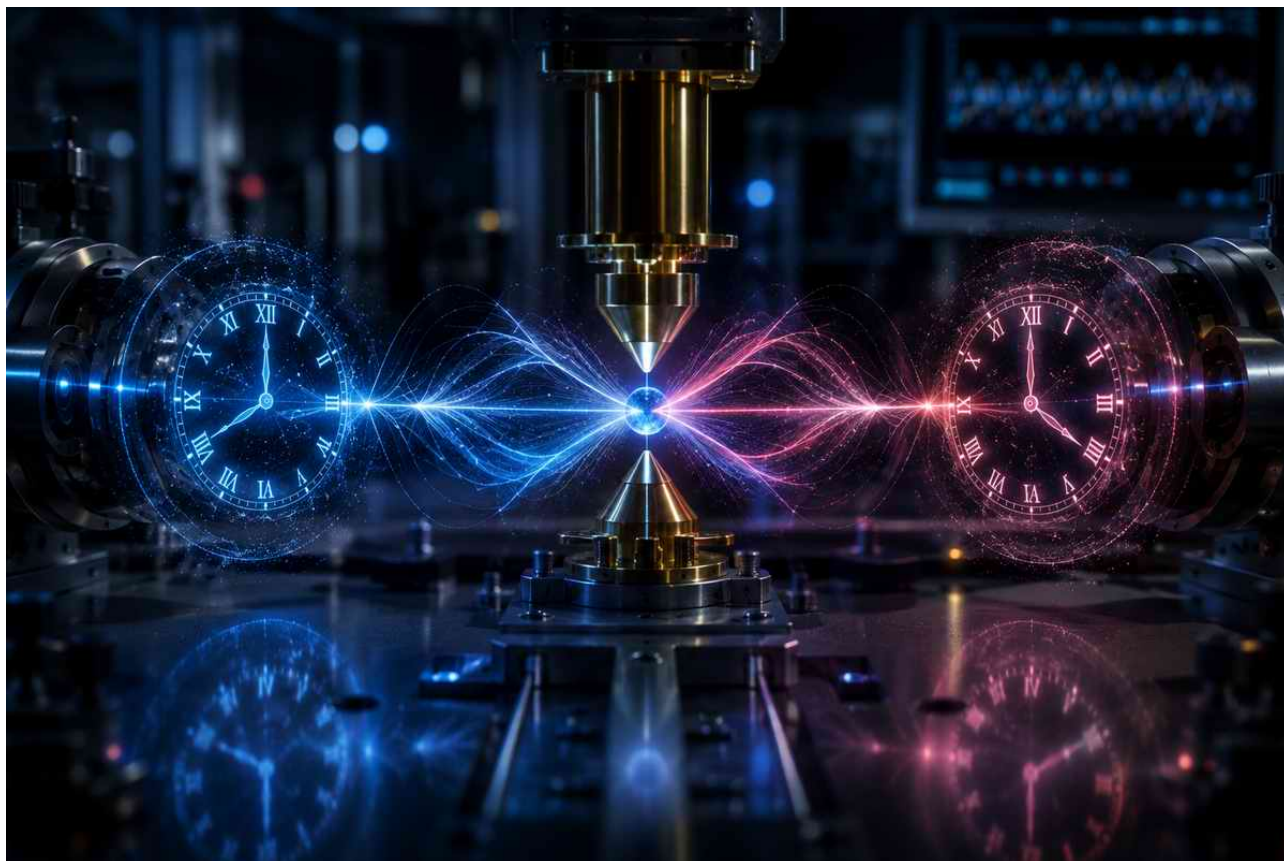


## Квантовые часы: время может течь с двумя разными скоростями одновременно — первый мост между теорией относительности и квантовой механикой



Дата публикации: 20.05.2026

Два главных фундамента современной физики десятилетиями существуют рядом, но почти не сочетаются друг с другом. Общая теория относительности утверждает, что время зависит от скорости и гравитации: движущиеся объекты стареют медленнее, а сильное гравитационное поле замедляет ход часов. Квантовая механика, напротив, говорит, что частица способна одновременно находиться в нескольких состояниях и даже в нескольких местах сразу. Эти идеи кажутся несовместимыми, однако в 2026 году физики получили экспериментальное подтверждение необычного эффекта: сверхточные квантовые часы могут одновременно тикать быстрее и медленнее. Это первый прямой мост между квантовой суперпозицией и релятивистским течением времени.

В основе эффекта лежит квантовый вариант знаменитого парадокса близнецов. В классическом мысленном эксперименте один близнец остаётся на

Земле, а другой отправляется в космический полёт с большой скоростью и возвращается моложе. Разница возникает из-за релятивистского замедления времени. Теперь представим более странную ситуацию: космонавт находится не в одной траектории, а сразу в двух. В одной он движется, в другой остаётся неподвижным. Тогда его собственное время должно течь одновременно с разными скоростями. Именно эту идею удалось реализовать в лабораторном масштабе.

Разумеется, поместить человека в квантовую суперпозицию невозможно. Но отдельные ионы прекрасно подходят для подобных экспериментов. Физики используют ионы стронция, иттербия или алюминия, удерживаемые в электромагнитных ловушках. Один и тот же ион переводят в суперпозицию двух состояний движения: в одном он практически покоится, в другом движется с определённой скоростью. Согласно специальной теории относительности, для движущегося состояния время должно течь чуть медленнее. Поскольку ион находится сразу в двух состояниях, его внутренние часы начинают тикать одновременно с двумя разными темпами.

Такие часы основаны на квантовых переходах между энергетическими уровнями атома или иона. Частота перехода невероятно стабильна и служит эталоном времени. Современные оптические ионные часы настолько точны, что ошибаются менее чем на секунду за миллиарды лет. Благодаря такой чувствительности они способны фиксировать даже ничтожные релятивистские эффекты, возникающие при скоростях, далеких от космических.

Для создания суперпозиции ион сначала охлаждают лазерами почти до абсолютного нуля. В таком состоянии его тепловое движение практически исчезает. Затем специальными радиочастотными импульсами формируют два квантовых волновых пакета, разнесённых в пространстве примерно на микрон. Для макромира это расстояние ничтожно, но для отдельного иона оно означает огромную квантовую суперпозицию. Один пакет остаётся почти неподвижным, другой получает дополнительный импульс и начинает двигаться.

Внутренние энергетические уровни иона играют роль встроенных часов. Если время течёт по-разному, частота этих квантовых часов слегка изменяется. В результате спектр излучения иона расщепляется на две отдельные линии. Одна соответствует состоянию покоя, другая — движущемуся состоянию. Разница между ними представляет собой прямое измерение суперпозиции двух разных скоростей течения времени. Это расщепление фиксируется с помощью сверхточной лазерной спектроскопии.

Эксперимент зарегистрировал именно такой эффект. Квантовые часы действительно оказались в суперпозиции двух разных релятивистских темпов

времени. Измеренная величина расщепления совпала с расчётами общей теории относительности для заданной скорости движения. Впервые в истории квантовая суперпозиция и релятивистское замедление времени были объединены в одном реальном физическом объекте. Фактически физики создали квантового близнеца, который одновременно стареет быстрее и медленнее.

Этот результат имеет фундаментальное значение. Он показывает, что время нельзя рассматривать только как классическую непрерывную величину. Если квантовая суперпозиция применима к пространству и состояниям частиц, она применима и к самому течению времени. Это означает, что пространство-время должно иметь квантовую природу. Любая будущая теория квантовой гравитации обязана объяснять такие эффекты.

Практические перспективы тоже выглядят впечатляюще. Квантовые часы с суперпозицией времени могут стать основой сверхчувствительных датчиков гравитации. Даже минимальные изменения гравитационного поля влияют на течение времени. Это открывает возможности для поиска подземных пустот, месторождений полезных ископаемых и скрытых геологических структур. Кроме того, технология может использоваться в квантовых навигационных системах, работающих без спутниковых сигналов GPS.

Пока эксперименты остаются чрезвычайно сложными. Работа ведётся с одиночными ионами при температурах, близких к абсолютному нулю. Разница между двумя темпами времени составляет лишь доли герца при оптических частотах порядка сотен терагерц. Однако даже такая микроскопическая разница уже измерима современными методами. Следующий этап — увеличение различий между скоростями и создание суперпозиции для более массивных объектов: молекул, нанодIAMAZOV и связанных квантовых систем. Параллельно разрабатываются схемы с двумя запутанными квантовыми часами.

Эксперименты с квантовыми часами впервые показали, что время действительно может течь одновременно с разными скоростями для одного физического объекта. Это уже не философская интерпретация квантовой механики и не математический трюк, а измеряемый лабораторный эффект. Результат стал первым реальным соединением двух величайших теорий XX века — квантовой механики и общей теории относительности. Понимание того, как квантовый мир связан с гравитацией и временем, перестаёт быть абстрактной задачей и постепенно превращается в экспериментальную науку.