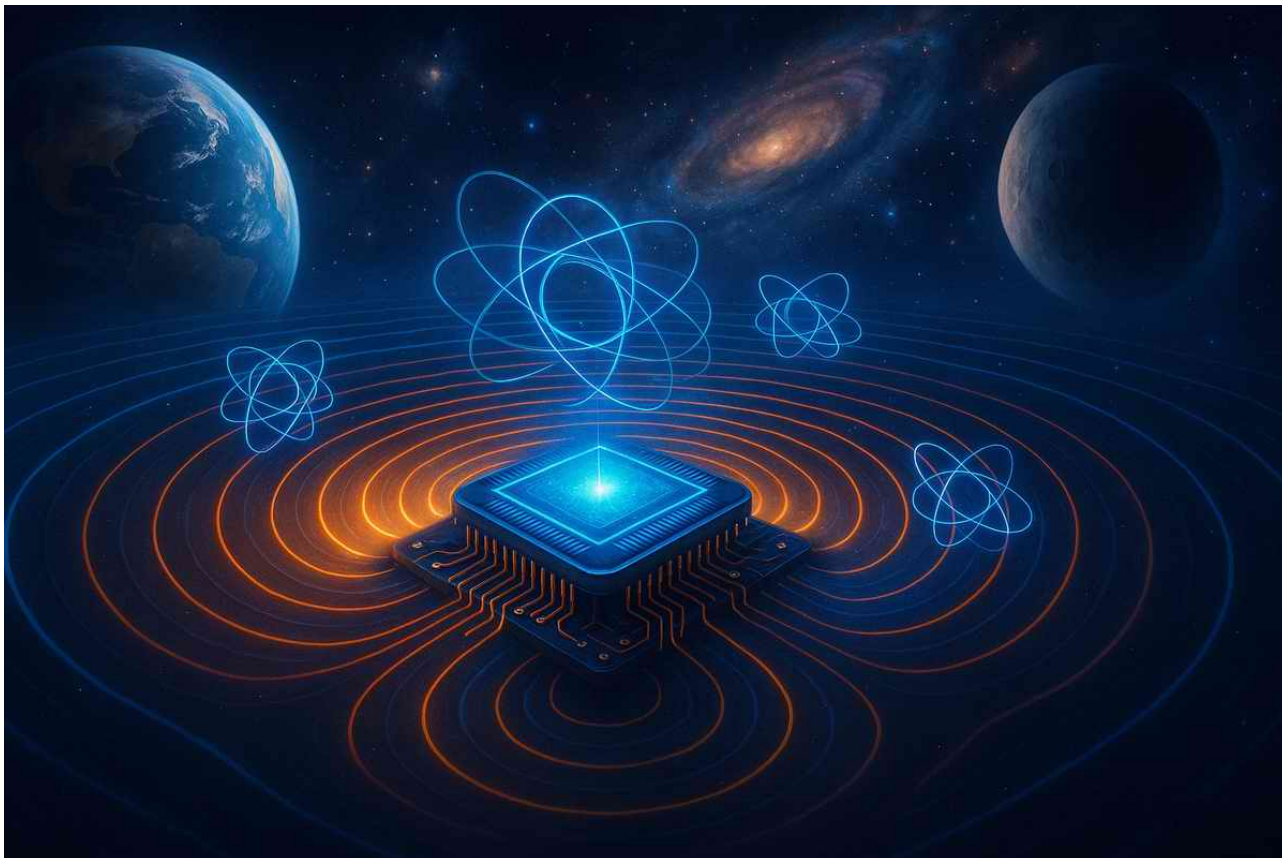


Гравитация против квантов: как Земля может изменить фундаментальные принципы квантовой теории



Дата публикации: 02.08.2025

Современная физика базируется на двух мощных, но несовместимых теориях: общей теории относительности, описывающей гравитацию как искривление пространства-времени, и квантовой механике, управляющей микромиром частиц. Несмотря на грандиозные успехи обеих, до сих пор не существует единой теории, описывающей их взаимодействие. Новое исследование, опубликованное в PRX Quantum, предлагает конкретный эксперимент, способный на практике соединить эти два мира — и, возможно, поставить под сомнение одно из самых фундаментальных правил квантовой теории.

Группа учёных из Иллинойского университета в Урбане-Шампейне разработала схему эксперимента, в которой три квантовых компьютера с оптическими атомными часами размещаются на разной высоте — с перепадом в один километр. Несмотря на малость этого расстояния по земным масштабам, разница в гравитационном потенциале между узлами может оказать измеримое влияние на квантовые состояния. Идея базируется на эффекте гравитационного

замедления времени, предсказанном общей теорией относительности: вблизи массивных тел, таких как Земля, течение времени замедляется. Этот эффект уже наблюдался в экспериментах с атомными часами, но никогда прежде не проверялся на уровне квантовых интерференционных состояний.

Особенность новой методики заключается в том, что она не требует построения новых гипотетических приборов. Все элементы — квантовые компьютеры, квантовые сети и оптические часы — уже существуют или находятся на стадии активной реализации. Ключ к проверке гипотезы заключается в том, как изменяется так называемое W -состояние — особый тип квантовой запутанности между тремя системами. Согласно традиционной квантовой механике и правилу Борна, полная интерференционная картина может быть описана только попарными взаимодействиями между узлами. Однако если гравитация действительно влияет на квантовые вероятности, как предсказывают некоторые расширения теории, в интерференции должны появиться новые, нелинейные члены, в которых участвуют все три квантовых узла одновременно.

Чтобы создать условия для этого, учёные предлагают использовать квантовые телепортационные протоколы, обеспечивающие распределение W -состояний между физически удалёнными компьютерами. Эти состояния чрезвычайно чувствительны к фазовым сдвигам и частотным различиям, вызываемым гравитационными вариациями. Таким образом, они служат идеальным индикатором возможных нарушений линейности квантовой теории. Предложенный эксперимент позволит выявить отклонения от правила Борна, связанного с преобразованием волновых функций в измеряемые вероятности.

Экспериментально такую установку можно реализовать в рамках квантовой инфраструктуры, строящейся в Чикаго под эгидой Q-NEXT — квантового центра Министерства энергетики США. Уже сегодня соединяются университеты, национальные лаборатории и квантовые вычислительные платформы, а разность в гравитационном потенциале может быть достигнута за счёт использования подземных объектов Фермилаба и высотных зданий мегаполиса. Современные квантовые часы обладают точностью, позволяющей улавливать различия в скорости времени на сантиметровом уровне, что делает проект не только теоретически возможным, но и практически осуществимым.

Если эксперимент подтвердит влияние гравитации на квантовую интерференцию, это станет важнейшим шагом к объединению квантовой механики и общей теории относительности. Даже в случае отрицательного результата, сама постановка задачи откроет новые пути для квантовой метрологии, связи и построения масштабируемых квантовых сетей, чувствительных к микроскопическим искривлениям пространства-времени.

Работа, находящаяся на грани квантовой теории и гравитации, поднимает фундаментальные вопросы о природе реальности и демонстрирует, что передовые технологии могут быть не просто вычислительными машинами, а инструментами для исследования самых глубоких основ физики.

Ссылка: «Исследование искривлённого пространства-времени с помощью распределённого атомного процессора с тактовой частотой» [DOI 10.1103/q188-b1cr](https://doi.org/10.1103/q188-b1cr).