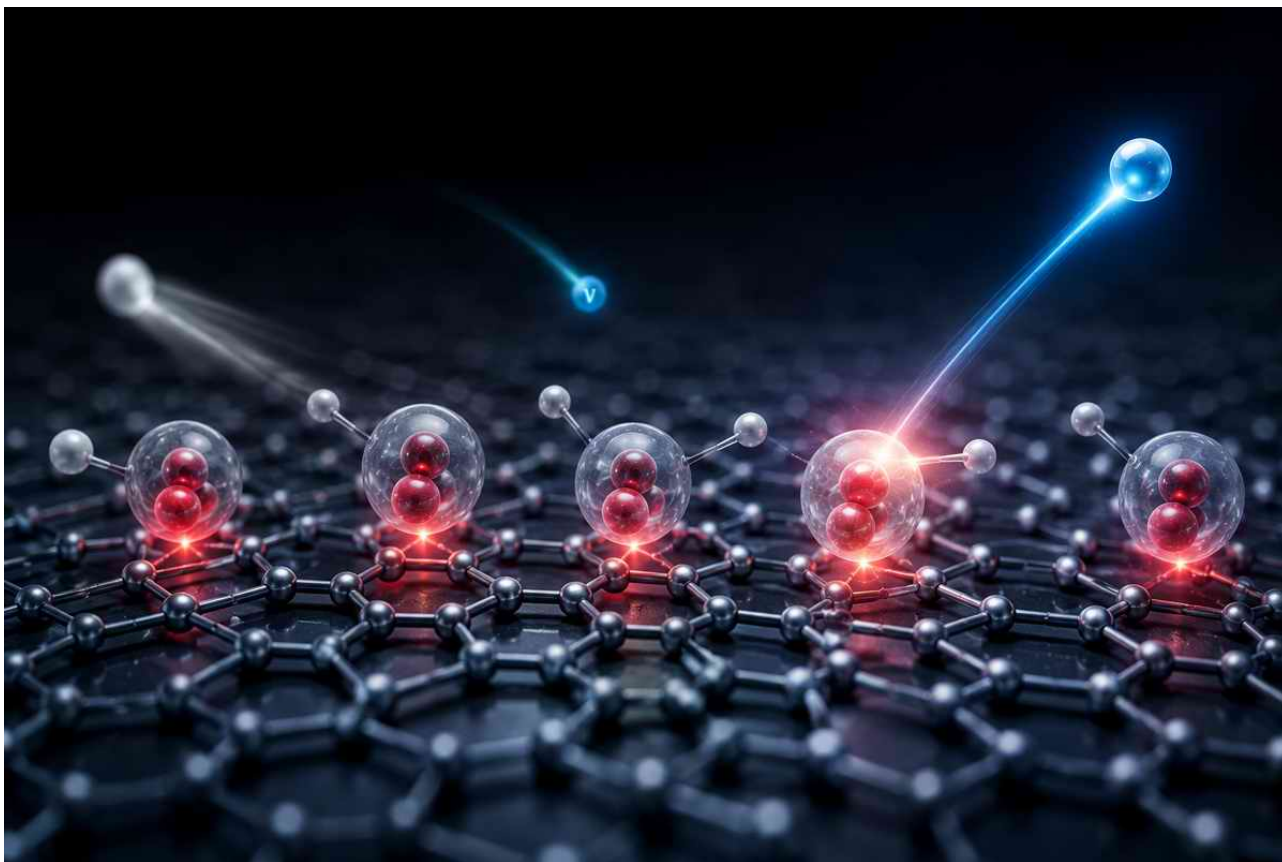


Графен с тритием может помочь впервые точно измерить массу нейтрино



Дата публикации: 20.05.2026

Нейтрино считаются одними из самых загадочных частиц современной физики. Эти почти невидимые частицы пронизывают всю Вселенную в колоссальных количествах, проходят сквозь планеты, звёзды и человеческие тела практически без взаимодействия с веществом, однако их фундаментальные свойства до сих пор остаются неизвестными. Одной из крупнейших нерешённых проблем физики элементарных частиц остаётся точное измерение массы нейтрино. Теперь международная группа исследователей предложила новый подход, способный приблизить науку к ответу. Согласно расчётам, опубликованным в журнале *Physical Review C*, графен, насыщенный тритием, может стать ключевым материалом для сверхточных экспериментов следующего поколения.

Интерес к нейтрино связан не только с физикой микромира. Масса этих частиц напрямую влияет на эволюцию Вселенной, формирование галактик, распределение тёмной материи и раннюю космологическую историю после Большого взрыва. Несмотря на огромную распространённость нейтрино,

определить их массу чрезвычайно сложно. Эксперименты уже показали, что нейтрино обладают ненулевой массой, однако её абсолютное значение остаётся неизвестным.

Главная причина сложности связана с феноменом нейтринных осцилляций. Нейтрино существуют в трёх разновидностях: электронное, мюонное и тау-нейтрино. Во время движения частицы способны самопроизвольно превращаться друг в друга. Такое поведение возможно только в том случае, если разные типы нейтрино имеют немного различающиеся массы. Именно это открытие в своё время стало одним из крупнейших прорывов в физике частиц. Однако осцилляции позволяют измерить лишь разницу между массами, а не их точные значения.

Сегодня физики знают только верхний предел массы нейтрино — менее 0,45 электронвольта. Для сравнения, это примерно в миллион раз легче электрона. Из-за столь крошечной массы любые прямые измерения требуют невероятной точности.

Одним из самых перспективных методов считается изучение бета-распада трития — радиоактивного изотопа водорода, содержащего один протон и два нейтрона. Во время распада тритий превращается в гелий-3 и испускает электрон вместе с антинейтрино. Энергия между ними распределяется неравномерно. Если масса нейтрино ненулевая, это слегка изменяет энергетический спектр испускаемых электронов.

Проблема заключается в том, что различия чрезвычайно малы. След, оставляемый массой нейтрино, проявляется только в крайне узкой области энергетического спектра. Чтобы заметить этот эффект, необходимо одновременно иметь мощный источник трития и исключительную точность измерений.

Именно здесь в игру вступает графен — сверхтонкий материал толщиной в один атом, состоящий из углерода. Исследователи использовали квантово-механические расчёты для моделирования поведения трития, связанного с графеновой решёткой. Результаты показали необычный эффект: графен способен подавлять отдачу ядра гелия-3 после распада.

В обычных условиях часть энергии распада уходит на движение ядра гелия, из-за чего измерение энергии электрона становится менее точным. Однако атомарная структура графена действует как своеобразный стабилизатор. Тяжёлая углеродная решётка удерживает ядро и уменьшает потерю энергии на отдачу. В результате значительно больше энергии сохраняется в вылетающем электроны, который и анализируют детекторы.

Фактически графен позволяет получить более «чистый» энергетический сигнал. Подобный эффект давно известен в гамма-спектроскопии, где ядра, встроенные в кристаллическую решётку, способны испускать излучение с исключительно узкими спектральными линиями. Теперь похожий принцип может впервые помочь в прямом измерении массы нейтрино.

Особое значение исследованию придаёт связь с экспериментом PTOLEMY, который готовится к запуску в Национальной лаборатории Гран-Сассо в Италии. Именно этот проект планирует использовать графен, насыщенный тритием, в качестве основы для нового поколения детекторов. Если расчёты подтвердятся экспериментально, PTOLEMY сможет достичь точности, необходимой для определения абсолютных масс всех трёх типов нейтрино.

Успех подобных экспериментов способен повлиять не только на физику частиц, но и на космологию. Масса нейтрино входит в современные модели эволюции Вселенной и влияет на распределение вещества после Большого взрыва. Более точные измерения помогут уточнить параметры космологических моделей, понять механизмы формирования галактик и проверить существующие теории фундаментальных взаимодействий.

Кроме того, технология тритиевого графена открывает перспективы для развития сверхточной спектроскопии и новых методов измерений в квантовой физике. Графен уже рассматривается как один из важнейших материалов будущего благодаря высокой прочности, электропроводности и необычным квантовым свойствам. Теперь к этому списку может добавиться ещё и участие в решении одной из главных загадок современной науки.

Физики считают, что ближайшие годы станут критически важными для исследований нейтрино. Сочетание квантовых материалов, сверхчувствительных детекторов и новых вычислительных методов постепенно приближает момент, когда масса самой неуловимой частицы Вселенной наконец будет измерена напрямую.

Ссылка: «Спектр β -распада тритированного графена: сочетание ядерной квантовой механики с теорией функционала плотности» [DOI: 10.1103/gr8x-lf9f](https://doi.org/10.1103/gr8x-lf9f).