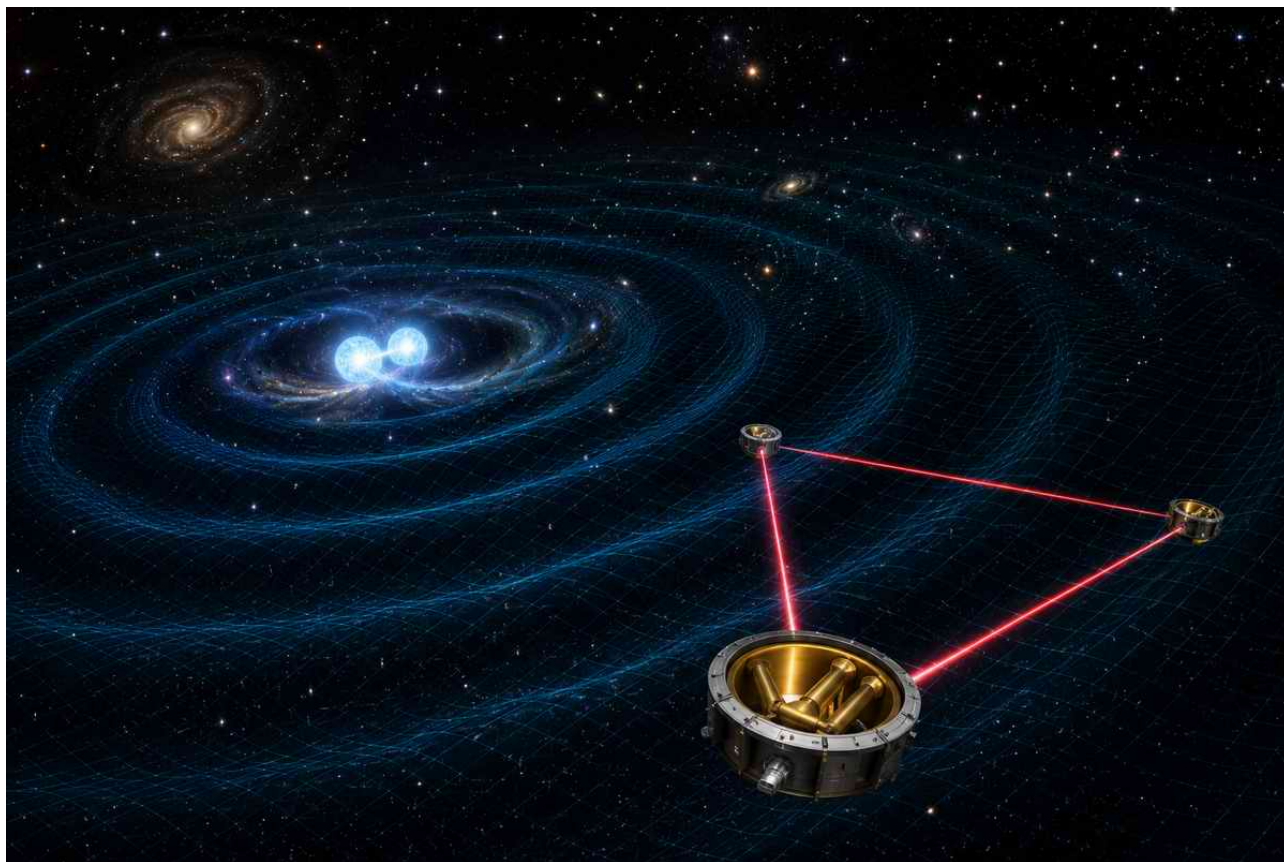


Ученые предложили новый способ измерения гравитационных волн во всей Вселенной



Дата публикации: 05.06.2026

Гравитационные волны считаются одним из самых важных открытий современной физики. Эти едва заметные колебания пространства-времени были предсказаны Альбертом Эйнштейном более ста лет назад в рамках общей теории относительности, однако впервые их удалось напрямую зарегистрировать лишь в 2015 году. С тех пор наблюдения за гравитационными волнами открыли ученым новый способ изучения Вселенной, позволяя исследовать процессы, которые невозможно увидеть обычными телескопами.

Сегодня гравитационно-волновая астрономия активно развивается. Детекторы фиксируют сигналы, возникающие при столкновениях черных дыр, слиянии нейтронных звезд и других экстремальных космических событиях. Однако большинство существующих методов анализа предполагают относительно простую ситуацию, когда волна распространяется через почти пустое и спокойное пространство.

В таких условиях ученые могут четко отделить саму гравитационную волну

от окружающего фона. Детектор регистрирует крошечные изменения расстояний, вызванные прохождением волны, а математические расчеты позволяют точно определить характеристики источника сигнала.

С космологической точки зрения ситуация оказывается значительно сложнее. Если рассматривать не отдельный участок космоса, а Вселенную целиком, становится очевидно, что само пространство-время никогда не бывает полностью спокойным. Оно постоянно изменяется вследствие расширения Вселенной, движения галактик, распределения темной материи и множества других процессов.

Кроме того, в космическом масштабе присутствуют многочисленные флуктуации плотности вещества и энергии. Эти небольшие возмущения создают своеобразный фон, который влияет на распространение гравитационных волн. В результате возникает фундаментальный вопрос: что именно измеряет детектор, если колебания происходят не только в самой волне, но и в окружающем пространстве-времени?

На протяжении многих лет теоретические модели во многом зависели от выбора математической системы координат. Хотя подобный подход удобен для расчетов, он создает определенные трудности при интерпретации результатов. В физике важны не абстрактные математические конструкции, а реальные измеряемые величины, которые должны оставаться одинаковыми независимо от того, какую систему координат использует исследователь.

Именно эту проблему попыталась решить группа физиков из Института теоретической физики Лейбницкого университета в Ганновере. Ученые разработали новый бескоординатный метод описания гравитационных волн в космологических масштабах, который ориентирован непосредственно на реальные измерения.

Вместо работы с абстрактными математическими полями исследователи сосредоточились на моделировании физического эксперимента. В основе их подхода лежит простая идея: рассматривать два свободно движущихся объекта, например атомные часы или пробные массы, между которыми распространяется световой сигнал.

Когда через такую систему проходит гравитационная волна, она слегка изменяет структуру пространства-времени. Это приводит к очень небольшим изменениям времени прохождения света или частоты сигнала. Именно эти изменения и регистрируют современные детекторы гравитационных волн.

Новый метод позволяет рассчитывать такие эффекты напрямую, не привязываясь к конкретному математическому описанию пространства.

Благодаря этому удастся четко разделить реальные физические эффекты от особенностей выбранной системы координат.

Особое значение имеет тот факт, что расчеты выполнены с учетом эффектов второго порядка. В физике это означает более высокий уровень точности по сравнению с большинством существующих моделей. Такой подход позволяет учитывать тонкие взаимодействия между различными космическими возмущениями и получать более надежные прогнозы.

Разработанная методика обладает важным преимуществом. В условиях относительно спокойного пространства-времени она автоматически переходит в классическое описание, которое успешно используется современными наземными интерферометрами. Однако при исследовании всей Вселенной новый подход сохраняет точность и однозначность интерпретации результатов.

Это особенно важно для поиска так называемых первичных гравитационных волн. Согласно современным космологическим теориям, такие волны могли возникнуть в первые мгновения после Большого взрыва и до сих пор распространяться по Вселенной. Их обнаружение позволило бы ученым получить уникальную информацию о самых ранних этапах существования космоса.

Поиск первичных гравитационных волн считается одной из главных задач современной фундаментальной физики. Эти сигналы могут содержать сведения о процессах, происходивших задолго до формирования первых звезд и галактик. Некоторые теории предполагают, что они способны пролить свет на природу инфляционного расширения Вселенной и механизмы возникновения крупномасштабной структуры космоса.

Новый бескоординатный подход также имеет большое значение для будущих космических миссий. В ближайшие годы ученые планируют использовать космическую обсерваторию LISA, которая станет первым крупным гравитационно-волновым детектором, работающим в космосе. Кроме того, продолжается развитие международных проектов по использованию массивов синхронизации пульсаров для регистрации сверхдлинных гравитационных волн.

Для подобных экспериментов требуется максимально точная теоретическая база, позволяющая интерпретировать чрезвычайно слабые сигналы на фоне сложных космологических процессов. Новый метод может стать важным инструментом для анализа данных будущих наблюдений.

Современная физика все чаще сталкивается с необходимостью объединить локальные измерения с глобальной картиной устройства Вселенной. Разработка бескоординатного описания гравитационных волн представляет собой важный

шаг в этом направлении. Она позволяет говорить на едином языке как теоретикам, создающим математические модели, так и экспериментаторам, работающим с реальными приборами.

В перспективе такие исследования помогут не только повысить точность измерений гравитационных волн, но и приблизят ученых к ответам на фундаментальные вопросы о происхождении Вселенной, природе пространства-времени и процессах, происходивших в первые мгновения после рождения космоса.

Ссылка: «Наблюдаемое напряжение гравитационных волн второго порядка»
[DOI: 10.1103/pwbs-xwrh](https://doi.org/10.1103/pwbs-xwrh).