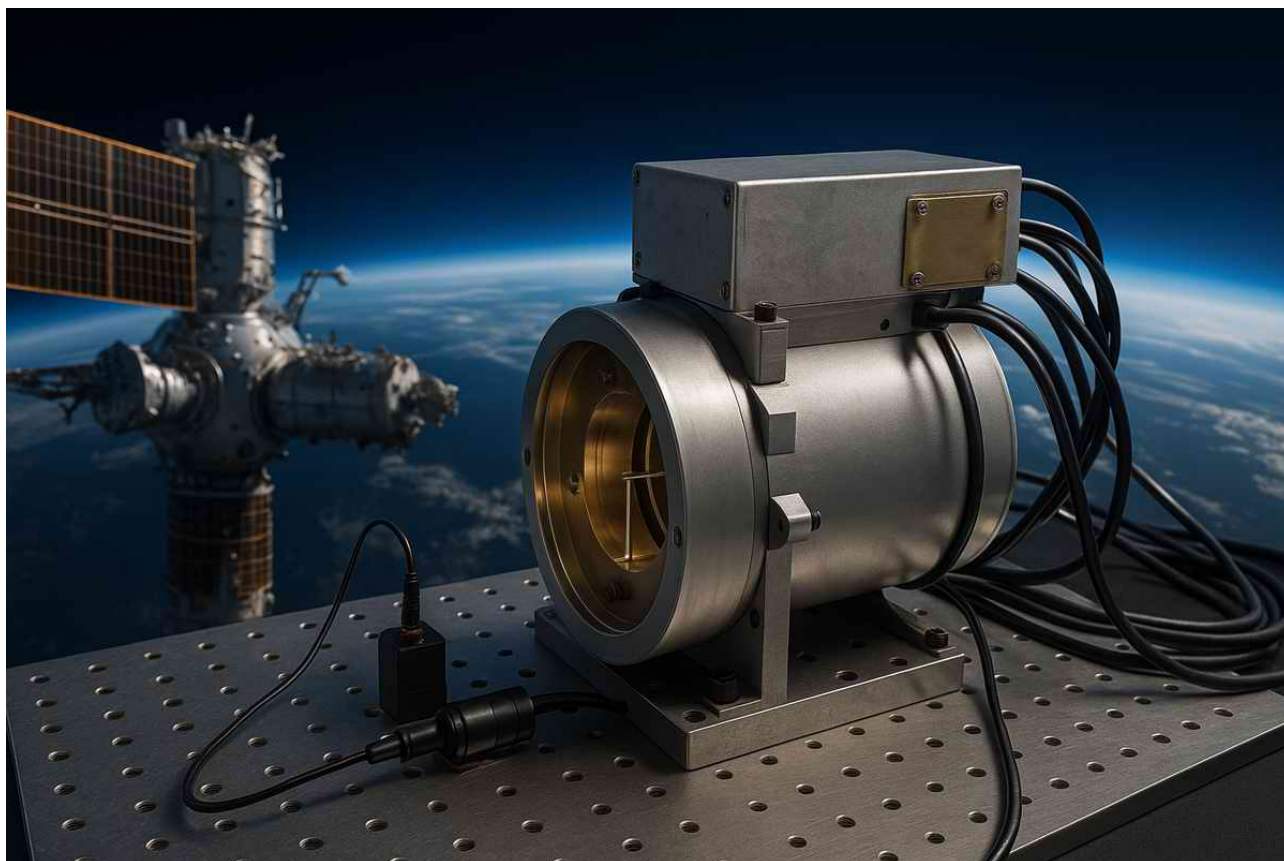


Земля как космический квантовый микрофон: как научные приборы на орбите ищут новую физику



Дата публикации: 15.11.2025

Используя околоземное пространство как экспериментальную площадку, учёные создают принципиально новые методы исследования фундаментальных законов природы. Проект SQUIRE выводит квантовые спиновые датчики на орбиту, где они получают доступ к уникальным условиям, недостижимым в лабораториях. Такая среда позволяет изучать экзотические взаимодействия — гипотетические эффекты, которые могут свидетельствовать о существовании новых частиц или неизвестных сил, не описанных Стандартной моделью.

Современная теория допускает до шестнадцати возможных типов сверхлёгких бозонных взаимодействий, большинство из которых зависит от спинов частиц, а часть — от их относительной скорости. Если подобные взаимодействия действительно существуют, они способны вызывать чрезвычайно слабые изменения энергетических уровней атомов и создавать псевдомагнитные поля минимальной интенсивности. На Земле подобные сигналы теряются в шуме, а их поиск требует инструментов, чувствительность

которых начинает приближаться к фундаментальным пределам.

SQUIRE использует среду низкой гравитации и стабильные орбитальные условия, чтобы расширить возможности квантовой сенсорной техники. Китайская космическая станция движется со скоростью 7,67 км/с, что в сотни раз превышает скорости, достижимые при лабораторных экспериментах. Такое движение усиливает потенциальные сигналы, зависящие от скорости. Земля сама выступает гигантским источником поляризованных спинов: в её коре и мантии содержится около 10^{42} геоэлектронов, ориентированных геомагнитным полем, что делает планету естественным «генератором» спиновых взаимодействий. Орбита станции дополнительно преобразует экзотические сигналы в периодические колебания с частотой 0,189 мГц, попадающей в диапазон минимального фонового шума.

Сочетание этих факторов создаёт условия, в которых можно регистрировать сигналы интенсивностью до 20 пТл — показатели, существенно превосходящие наземные эксперименты. На расстояниях более миллиона метров SQUIRE способен улучшить ограничения на экзотические взаимодействия, зависящие от скорости, на шесть-семь порядков.

Разработка космического квантового спинового датчика требует преодоления трёх критически важных проблем: изменения магнитного поля Земли, вибраций космического аппарата и воздействия космического излучения. Прототип SQUIRE объединил несколько технологических решений, которые позволили обеспечить требуемую стабильность и точность.

Использование двух изотопов благородных газов — ^{129}Xe и ^{131}Xe — со строго противоположными гиромагнитными свойствами позволило компенсировать синфазный магнитный шум, сохранив чувствительность к искомым сигналам. Высокоточный волоконно-оптический гироскоп устраняет вибрационные и вращательные возмущения, а многослойное магнитное экранирование снижает геомагнитные флуктуации до уровня субфемтотесла. Алюминиевый корпус усиленной конструкции и тройное резервирование управляющей электроники обеспечивают устойчивость к космической радиации и сохраняют работоспособность даже при отказе двух модулей из трёх.

Эти технологии позволили достичь однократной чувствительности 4,3 фТл при времени измерений 1165 секунд. Такой показатель идеально подходит для регистрации сигналов с периодом около полутора часов — именно такую временную структуру создают потенциальные экзотические взаимодействия при орбитальном движении.

Проект SQUIRE не ограничивается поиском новых взаимодействий. В его

рамках закладывается основа для создания распределённой квантовой сенсорной сети, охватывающей и орбитальные платформы, и наземные лаборатории. Такая сеть позволит синхронно измерять сигналы различной природы, усиливая чувствительность к моделям тёмной материи, к аксионным галло, к нарушениям фундаментальных симметрий и к пока неизученным эффектам, которые могут проявляться только при движении с большими скоростями.

Орбитальная среда дополнительно усиливает потенциальное взаимодействие аксионных полей со спинами нуклонов, что обеспечивает увеличение чувствительности по сравнению с наземными экспериментами примерно в десять раз. В перспективе по мере развития космических программ исследователи планируют использовать и более удалённые объекты — такие как Юпитер или Сатурн — как естественные источники поляризованного излучения, что позволит изучать новые физические эффекты на значительно больших масштабах.

Использование Земли как гигантского спинового источника и вывод квантовых датчиков в космос открывают перед физикой совершенно новые горизонты. Такие проекты показывают, что границы экспериментальных возможностей больше не определяются размерами лабораторного оборудования: сама планета и космическое пространство становятся частью измерительного комплекса.

Ссылка: «Квантовые датчики в космосе: открытие невидимой вселенной» DOI: [10.1093/nsr/nwaf389](https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf389).