

## Детектор LUX-ZEPLIN: глубинный эксперимент, раскрывающий тайны тёмной материи



Дата публикации: 07.10.2025

На глубине почти одной мили под землёй, в недрах Южной Дакоты, работает один из самых амбициозных экспериментов современной физики — LUX-ZEPLIN, или сокращённо LZ. Его цель — обнаружить невидимое вещество, из которого, по расчётам астрономов, состоит до 85 процентов всей массы Вселенной. Это вещество называют тёмной материей — загадочной субстанцией, не излучающей и не отражающей свет, но оказывающей гравитационное влияние на звёзды и галактики.

Несмотря на десятилетия наблюдений, тёмная материя остаётся недостижимой для прямого обнаружения. Однако именно проект LZ сегодня находится ближе всех к разгадке этой тайны. Учёные из более чем тридцати стран объединили усилия, чтобы создать самый чувствительный в истории детектор для поиска слабо взаимодействующих массивных частиц, известных как вимпы, которые считаются одними из главных кандидатов на роль носителей тёмной материи.

Детектор LZ установлен в подземной лаборатории Sanford Underground Research Facility, где толстые слои горных пород экранируют приборы от космического излучения и радиации. Такое расположение необходимо, чтобы исключить внешние шумы и регистрировать редчайшие события — столкновения частиц тёмной материи с атомами вещества.

В основе установки находится гигантская криогенная камера, содержащая десять тонн сверхчистого жидкого ксенона. Этот тяжёлый благородный газ служит рабочей средой для регистрации мельчайших вспышек света, возникающих при взаимодействии частиц. Если вимп сталкивается с ядром ксенона, происходит слабый, но измеримый выброс энергии, сопровождающийся испусканием фотонов и электронов. Массив из фотоумножителей улавливает эти сигналы с исключительной точностью.

Вокруг основной камеры расположен внешний детектор, наполненный жидким сцинтиллятором с гадолинием. Его задача — отсеивать ложные сигналы от нейтронов, радона и других источников радиации, которые могли бы имитировать события тёмной материи. По сути, детектор построен как многоуровневая защитная структура, где каждый слой фильтрует шум, оставляя лишь достоверные данные.

В новом исследовании команда LZ представила результаты, основанные на 280 днях наблюдений. Из них 220 дней данных были собраны в период с марта 2023 года по апрель 2024 года, а оставшиеся 60 — в ходе предыдущего этапа. Анализ охватывает самый широкий диапазон энергий взаимодействий, когда-либо исследованный в подобных экспериментах. Уникальная чистота и стабильность данных позволили установить новые, более строгие ограничения на массу и сечение взаимодействия вимпов с обычной материей.

Технологическая сложность LZ не имеет аналогов. Чтобы минимизировать радиоактивный фон, каждая из тысяч деталей детектора — от кабелей до стенок камеры — была изготовлена из специально очищенных материалов с минимальным содержанием изотопов. Внутренние поверхности очищаются от микроскопических частиц пыли, которые способны исказить измерения. Любой сигнал проходит многоуровневую фильтрацию и подтверждение, прежде чем попасть в финальные данные.

Особую роль играет метод, называемый «солированием», применённый для исключения человеческого фактора. В процессе анализа данных в выборку специально добавляют искусственные ложные сигналы вимпов. Исследователи не знают, какие события настоящие, а какие поддельные, до завершения всей обработки. Это позволяет избежать предвзятости и гарантирует объективность результатов.

Наиболее опасными ложными источниками сигналов являются нейтроны и радон. Нейтроны взаимодействуют с ядрами ксенона почти так же, как и предполагаемые вимпы, что может привести к ложным совпадениям. Для этого используется внешний слой детектора, улавливающий эти частицы. Радон, в свою очередь, способен распадаться с выделением частиц, которые также имитируют события тёмной материи. Благодаря новому программному анализу команда смогла идентифицировать цепочки распадов радона и исключить их влияние.

Результаты LZ существенно сузили возможный диапазон параметров для вимпов. Это означает, что будущие эксперименты смогут сосредоточиться на более узких областях — либо подтвердив существование частиц тёмной материи, либо окончательно опровергнув одну из ключевых гипотез физики XX века.

Несмотря на то что прямое обнаружение пока не состоялось, значение эксперимента огромно. LZ стал основой для разработки нового поколения детекторов — XLZD, которые будут содержать ещё больше ксенона и работать с ещё более высокой чувствительностью. Эти системы смогут исследовать даже альтернативные модели тёмной материи — лёгкие частицы, аксионы или стерильные нейтрино.

Эксперимент LUX-ZEPLIN представляет собой международное сотрудничество примерно 250 учёных из 38 институтов, включая Калифорнийский университет в Санта-Барбаре, Университет Беркли, Оксфорд, Цюрих и Сеул. Финансирование обеспечивается Министерством энергетики США, Британским советом по науке и технологиям, Европейскими и азиатскими фондами. Проект стал примером глобальной научной кооперации, где молодые исследователи, инженеры и физики-теоретики объединены одной целью — понять, из чего состоит Вселенная.

Результаты эксперимента LZ не только продвинули науку к разгадке тёмной материи, но и показали, насколько изысканным может быть современный научный поиск. На глубине более километра под землёй, вдали от солнечного света и шумов цивилизации, детектор продолжает регистрировать редчайшие сигналы из глубин космоса — возможно, первые следы невидимой материи, из которой соткана сама структура Вселенной.

**Ссылка:** «Результаты поиска темной материи в течение 4,2 тонно-лет экспозиции эксперимента LUX-ZEPLIN (LZ)» DOI: [10.1103/4dyc-z8zf](https://doi.org/10.1103/4dyc-z8zf).