

## **ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЁ ВОЗМОЖНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ**

Савельева Анастасия Михайловна, Баранов Никита Андреевич, студенты ДИТИ НИЯУ МИФИ.

В данной статье рассматривается понятие темной энергии. Представлен обзор эксперимента XENON, целью которого являлось обнаружение темной энергии. Рассказывается о физической модели, созданной для объяснения результатов эксперимента. Высказываются предположения по поводу будущих аналогичных экспериментов.

Ключевые слова: темная материя, темная энергия, космология, XENON1T.

## **DARK ENERGY AND ITS POSSIBLE DETECTION**

Savelieva Anastasia Mikhailovna, Baranov Nikita Andreevich, students of DETI National Research Nuclear University MEPhI.

This article discusses the concept of the dark energy. It features an overview of the XENON experiment that was designed to detect the dark energy as well as some information about a physical model that could explain the results of said experiment. Suggestions are made about the future similar experiments.

Key words: dark matter, dark energy, cosmology, XENON1T.

Ранее космологические теории строились на предположении, что основная часть массы Вселенной – это материя, однако в связи с противоречием между наблюдаемым поведением астрономических объектов и расчетами по законам небесной механики, было введено понятие темной материи – такого вещества, которое не излучает электромагнитные волны. Так как данная материя не участвует в электромагнитном взаимодействии – прямое ее наблюдение невозможно. Обнаружение темной материи возможно только по ее гравитационному влиянию.

В 1990-х годах на основании наблюдений сверхновых звезд (метод «стандартных свечей») был сделан вывод, что Вселенная не только расширяется, но и расширяется с ускорением, что позднее было также

подтверждено реликтовым излучением, гравитационным линзированием и др. [2]

В связи с открытием ускорения расширения вселенной был сделан вывод о существовании неизвестного вида энергии с отрицательным давлением (что также называют антигравитацией или антитяготением), вследствие которого она отталкивает тела друг от друга и, более того, всемирное антитяготение преобладает над притяжением. Такую энергию назвали «темной энергией»

Всё, что наши глаза могут увидеть – то есть привычная нам материя – составляет менее 5% нашей Вселенной. Всё остальное пока нам неизвестно. Около 27% – это тёмная материя, представляющая собой невидимую силу, связывающую галактики и космическое пространство. Остальные 68% – это тёмная энергия, заставляющая вселенную расширяться ускоренными темпами.

Существует множество экспериментов по изучению темной материи, один из них – XENON, который проводится в подземной лаборатории Гран-Сассо, Италия. Третья фаза детектора – XENON1T – предназначена для прямого обнаружения тёмной материи путём поиска признаков столкновения слабо взаимодействующих массивных частиц WIMP (Weakly Interacting Massive Particle – предполагаемые частицы темной материи) с обычной материей. Суть эксперимента заключается в обнаружении сцинтилляции и ионизации вследствие взаимодействия частиц после ядерного распада в камере, заполненной жидким ксеноном. Детекторы в камере позволяют получать полные трехмерные модели, описывающие взаимодействие частиц.

В теории, WIMP, пролетая через детектор, взаимодействует с атомами ксенона и высвободит фотоны и электроны, которые можно будет зафиксировать в виде вспышек света. Внутри создано сильное электрическое поле, с помощью которого высвободившиеся электроны из области жидкого вещества направляются вверх в область газообразной фазы, где они

ускоряются и создают сцинтилляционный сигнал. Анализ характеристик сигнала фотонов и электронов позволяет отличать WIMP-события от событий, связанных с распадом изотопа ксенона, присутствующего в малом количестве в установке, и других паразитных эффектов.

Большинство взаимодействий в камере вызываются уже известными частицами, но в 2020 году, оценив фоновые события и сравнив с уже известными, была обнаружена неожиданная частота событий (избыток электронного фона по сравнению с ожидаемым), источник которых еще не до конца понят. Одним из объяснений может быть присутствие в детекторе трития, который, спонтанно распадаясь, испускает электрон с энергией, подобной наблюдаемой.

Другим объяснением служат аксионы, ожидаемый спектр которых схож с полученным в детекторе. Аксионы – гипотетические чрезвычайно лёгкие частицы, возникающие на Солнце и, хотя их не рассматривают в качестве кандидатов в частицы темной материи, они также являются новыми, не наблюдаемыми ранее частицами, чьё открытие может оказать значительное влияние на понимание фундаментальной физики.

Однако данное объяснение не соответствует результатам исследования, т. к. количество аксионов, необходимых для объяснения сигнала на XENON1T, радикально изменили бы представления об эволюции звёзд, намного более тяжёлых, чем Солнце.

Согласно одной из гипотез, действие темной энергии объясняется наличием пятого фундаментального взаимодействия, которое проявляется только на самых крупных масштабах. Наличие данного взаимодействия противоречит общей теории относительности Эйнштейна, поэтому при моделировании темной энергии его приходится «экранировать».

Несмотря на то, что эксперимент был рассчитан на обнаружение темной материи, была также создана и исследована физическая модель с хамелеонным экранированием пятого взаимодействия, чтобы показать, что

частицы тёмной энергии могут служить объяснением результатов на XENON1T. [3]

Опираясь на свои расчёты, учёные предполагают, что эксперименты, подобные проводимым на XENON1T, направленные на обнаружение тёмной материи, могут также быть использованы для обнаружения тёмной энергии. Однако, сперва необходимо убедительное доказательство того, что появление сигнала не является случайностью. Ведь если в ходе эксперимента были получены достоверные данные, то при проведении будущих экспериментов ожидалось бы схожие результаты, но с намного более мощным сигналом.

Если эти случайности являются результатом действия тёмной энергии, предстоящие обновления для установки XENON1T (такие как XENONnT, строительство которого началось в 2019 году и закончилось к середине 2020 года, несмотря на начало пандемии, вызванной COVID-19), а также эксперименты, преследующие аналогичные цели, позволят уже в течение следующего десятилетия обнаружить тёмную энергию.

В настоящее время проводится множество экспериментов в подземных лабораториях по прямому поиску темной материи, создаются установки, в которых регистрируется малое энерговыделение от процесса рассеяния WIMP на ядрах детектора-мишени. Сигналы от WIMP планируется также исследовать непрямими методами: нейтринные телескопы, гамма-обсерватории, расположенные как на земле, так и в космосе. В случаях регистрации полезного сигнала можно будет не только установить массу данных частиц, но и в некоторых случаях выяснить их природу. [1]

Таким образом, последние открытия в области космологии показывают, что около 95% вещества во Вселенной существует в неизвестных нам видах и они не могут быть полностью описаны на основе существующих теорий, что свидетельствует о том, что наши знания о физике микро- и макромира всё ещё не полноценны.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Рябов В.А., Царев В.А., Цховребов А.М. Поиски частиц темной материи // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. №11. С.1129 - 1164
2. Чернин А.Д. Что такое космическая темная энергия? // Международная байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XII конференции молодых ученых "Взаимодействие полей и излучения с веществом". Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2011. С. 31 - 36
3. Sunny Vagnozzi et al. Direct detection of dark energy: the XENON1T excess and future prospects // Physical Review D. 2021. doi: 10.1103/PhysRevD.104.063023