

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Ридецкий А.А., Мисоченко В.А. студенты гр.447401

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Андрианова Е.В. – ассистент кафедры физики

Аннотация: в работе рассматривается темная материя как одна из ключевых загадок современной физики и космологии. Приведены основные аргументы в пользу её существования, основанные на гравитационных эффектах, наблюдаемых в астрофизических исследованиях. Рассматриваются модели классификации темной материи, её свойства и возможные кандидаты на роль составляющих частиц. Отдельное внимание уделяется методам детектирования темной материи, включая прямые и косвенные эксперименты, а также её влиянию на эволюцию Вселенной. Представленные материалы демонстрируют актуальность проблемы и необходимость дальнейших исследований в этой области.

В астрономии темная материя представляет собой гипотетическую форму вещества, которая не взаимодействует со светом или электромагнитными полями. Она проявляется через гравитационные эффекты, которые не могут быть объяснены общей теорией относительности без учета большего количества материи, чем мы можем наблюдать. Эти эффекты наблюдаются в процессе формирования и эволюции галактик, гравитационном линзировании, текущей структуре видимой Вселенной, распределении масс в галактических столкновениях, движении галактик внутри скоплений и космическом микроволновом фоне [1].

Согласно нынешним астрофизическим представлениям, на долю обычной барионной материи (межгалактический газ, звезды и прочее) приходится менее 5%, на темную энергию ~ 68.5%, на нейтрино около 0.5%, а на темную материю, оставшиеся 26.5%. Таким образом, почти 95% массы-энергии нашей Вселенной состоит из неизвестной нам массы, изучение которой имеет фундаментальное значение для космологии, физики элементарных частиц и астрофизики[2].



Рисунок 1 – Распределение материи во вселенной

Тёмную материю можно классифицировать на три категории: холодную, тёплую и горячую. Эти категории связаны со скоростью, а не с реальной температурой, и отражают, насколько далеко объекты переместились в результате случайных движений в ранней Вселенной, прежде чем их движение замедлилось из-за космического расширения. Это ключевое расстояние называется длиной свободного перемещения (FSL).

Холодная тёмная материя (ХТМ) является наиболее правдоподобной моделью для объяснения космологических наблюдений. Она состоит из частиц с коротким свободным пробегом, что способствует формированию галактик. Возможные кандидаты включают WIMP, аксионы и другие гипотетические частицы. Эксперименты, такие как DAMA/LIBRA, пытались зафиксировать частицы ХТМ, но их результаты остаются спорными. Существуют суперсимметричные модели, предлагающие WIMP как основного кандидата, и альтернативные концепции, такие как стерильные нейтрино.

Тёплая тёмная материя состоит из частиц с FSL, сравнимым с размером протогалактики. Прогнозы, основанные на теории тёплой тёмной материи, аналогичны прогнозам для холодной тёмной материи в больших масштабах, но с меньшими мелкомасштабными возмущениями плотности. Это уменьшает прогнозируемое количество карликовых галактик и может привести к снижению плотности тёмной материи в центральных частях крупных галактик. Некоторые исследователи считают, что это лучше соответствует наблюдениям. Проблемой для этой модели является отсутствие кандидатов на роль частиц с требуемой массой от ≈ 300 эВ до 3000 эВ.

Горячая тёмная материя представлена лёгкими частицами, такими как нейтрино, с массой менее 10^{-6} от массы электрона. Эти частицы взаимодействуют через гравитацию и слабое взаимодействие, что затрудняет их обнаружение. Они не могут объяснить тёмную материю, но их роль в формировании крупных космологических структур, таких как суперскопления, остаётся предметом изучения [3].

Гипотезы о природе темной материи предполагают, что её составляют частицы, не взаимодействующие с электромагнитным излучением. Среди возможных кандидатов выделяют WIMP (слабо взаимодействующие массивные частицы), аксионы и стерильные нейтрино. WIMP остаются наиболее изученной моделью, так как они предсказываются многими теориями за пределами Стандартной модели. Однако, несмотря на многочисленные эксперименты, такие как XENON, LUX и PandaX, пока не удалось зафиксировать достоверные сигналы от частиц темной материи [1, 2].

Методы обнаружения темной материи включают прямые и косвенные эксперименты. Прямые методы основаны на фиксации взаимодействий частиц темной материи с ядрами в детекторах. Косвенные методы используют наблюдения продуктов распада или аннигиляции гипотетических частиц, таких как позитроны или гамма-лучи, в космических масштабах. Одним из ключевых экспериментов является AMS-02, установленный на Международной космической станции, который изучает космические лучи в поисках признаков аннигиляции частиц темной материи [3].

Темная материя оказывает влияние на эволюцию Вселенной. Её гравитационные эффекты играют важную роль в формировании галактик и крупномасштабных структур. Без её участия наблюдаемая Вселенная имела бы совершенно иную структуру. Компьютерные симуляции, такие как Millennium Simulation, подтверждают, что без учета темной материи невозможно объяснить современное распределение галактик [4].

Современные исследования продолжаются, включая проекты по изучению первичных гравитационных волн и экспериментальные установки нового поколения, такие как LUX-ZEPLIN и DARWIN. Эти эксперименты могут приблизить нас к разгадке природы темной материи, что приведет к пересмотру существующих фундаментальных теорий физики [5].

Список использованных источников:

1. *Darkmatter* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Dark_matter
2. Курбанова А.Т. Классификация темной материи [Электронный ресурс] // Московский государственный университет. – URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/students/newdm.pdf>
3. *Dark matter* [Электронный ресурс] // Ultimate Pop Culture Wiki. – URL: https://ultimatepopculture.fandom.com/wiki/Dark_
4. Springel V. et al. *Simulations of the dark universe: Millennium Simulation Project* [Электронный ресурс] – URL: <https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/millennium/>
5. Aprile E. et al. *The XENON Dark Matter Search Project* [Электронный ресурс] – URL: <https://www.xenon1t.org/>