



**БЛИНОВ Владимир Евгеньевич** – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Новосибирск). Научные интересы: экспериментальная физика элементарных частиц, эксперименты на электрон-позитронных пучках, методы регистрации излучений, астрофизика. Автор и соавтор 328 научных публикаций

**Ключевые слова:** темная материя, темная энергия, расширение Вселенной.  
**Key words:** black matter, black energy, Universe expansion

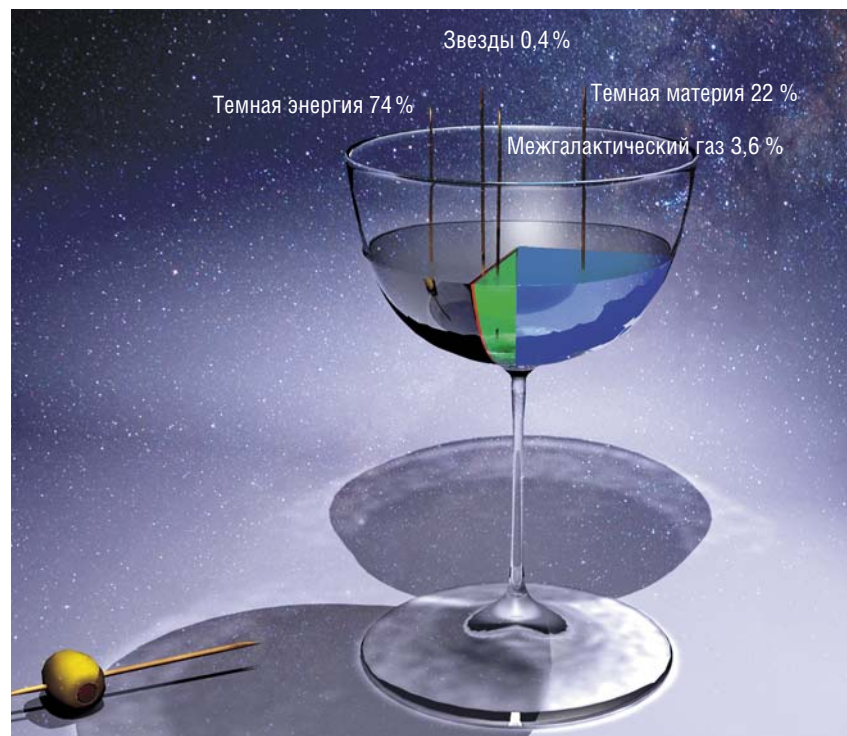
## Новая космология для старой Вселенной

Благодаря прогрессу в оптической астрономии, совершенствованию методов сбора и обработки данных, развитию новых методов в космологии сложилась в общем и целом непротиворечивая теория, объясняющая этапы развития Вселенной с момента ее рождения. С высокой точностью удалось измерить соотношение между обычной материей, темной материей и темной энергией. Это достижение отмечено журналом «Science» в числе десяти наиболее важных научных открытий прошедшего десятилетия

За последнее десятилетие в результате серии независимых измерений было с высокой точностью определено, что Вселенная имеет в своем составе всего 4 % обычной материи, 22 % темной материи, которая очень слабо взаимодействует с обычным барионным веществом и 74 % темной энергии, природа которой до сих пор до конца не ясна.

Обычная материя – это то, из чего состоим мы сами, окружающие нас живые и неживые объекты на Земле, планеты, звезды, галактики и скопления галактик. Она подвержена различным типам взаимодействий, в том числе электромагнитному, и, как следствие этого, излучает электромагнитные волны, то есть светится, что делает ее легко наблюдаемой, например, в оптическом диапазоне. Излучаемый ею свет легко увидеть невооруженным взглядом, посмотрев на Солнце или на другие звезды.

На сегодняшний день состав Вселенной определен с высокой степенью точности и достоверности. Большую часть космической плотности энергии (около 95 %) составляют темная материя и темная энергия



Распределения обычной и темной материи в скоплении галактик «Пуля» показаны, соответственно, красным и синим цветом. Более плотное звездное скопление (правое) пробило более рыхлое (левое). Облака межзвездного газа, представленные красным цветом, сместились после столкновения на края скоплений и демонстрируют характерный разлет. Информация получена из данных рентгеновской астрономии и обработки данных гравитационного линзирования. X-ray: NASA/CXC/CfA/M. Markevitch et al.; Optical: NASA/STScI; Magellan/U.Arizona/D. Lowe et al.; Lensing Map: NASA/STScI; ESO WFI; Magellan/U. Arizona/D. Clowe et al.

В отличие от обычной материи, темная материя – это гипотетическая форма материи, которая оказывает влияние на обычную материю лишь посредством слабого взаимодействия. Темная материя невидима, так как не излучает электромагнитные волны и проявляет себя только посредством создаваемых ею гравитационных эффектов. Из-за этого ее и назвали темной, то есть материей, не излучающей свет. Как и обычная материя, она подвержена гравитационному взаимодействию и образует многочисленные структуры, заполняющие нашу Вселенную. Распределение темной материи во Вселенной измеряют с помощью метода гравитационного линзирования.

Метод гравитационного линзирования основан на искажении наблюдаемой формы объекта из-за отклонения лучей света гравитационным полем, создаваемым темной материей, расположенной между объектом исследования, например, спиральной галактикой, и наблюдателем.

Если сравнить восстановленное с использованием этой методики распределение темной материи с распределением обычной материи (измеренным методом рентгеновской астрономии) в двух столкнувшихся в «недалеком» прошлом скоплениях галактик под названием Пуля, то можно увидеть, что распределение обычной материи, содержащейся в двух скоплениях, подверглось существенному изменению. Более плотное скопление «пробило» более крупное и рыхлое облако обычной материи, как пуля пробивает мишень, а облака темной материи остались практически неизменными, так как она подвержена лишь слабому взаимодействию. Кроме того, видно, что из-за взаимодействия облака обычной материи отстали от скоплений темной материи в этих галактических кластерах.

В настоящее время загадкой остается только то, что формирует темную материю. В результате проведенных исследований исключены многие потенциальные кандидаты на роль темной материи, такие как: красные и белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры и межзвездный газ. Сейчас наиболее вероятным считается, что темную материю формируют стабильные слабовзаимодействующие частицы, образовавшиеся в тот момент, когда температура, а значит и энергия частиц во Вселенной была достаточна для их рождения. Сегодня эти условия можно воспроизвести только на Большом адронном коллайдере, сталкивая протоны друг с другом с наивысшей достигнутой человечеством энергией. Возможно, в этих условиях удастся получить и зарегистрировать составляющие темную материю частицы и тем самым установить состав темной материи.

В создании Большого адронного коллайдера и проведении экспериментов на нем активное участие принимают физики из Института ядерной физики СО РАН. Кроме того, в 2011 г. Новосибирский государственный университет получил грант правительства РФ для государственной поддержки научных исследований по теме «Астрономия и астрофизика». В рамках этого проекта планируется развитие методов прямого детектирования частиц темной материи космического происхождения. Для этих целей предполагается разработать детекторы темной материи нового типа, обладающие предельной чувствительностью, а именно двухфазные криогенные лавинные детекторы на основе газовых электронных умножителей, работающие в жидком аргоне и ксеноне.

Темная энергия – гораздо более странная составляющая Вселенной, чем темная материя. Последние астрономические данные свидетельствуют о том, что сегодня и в недалеком прошлом Вселенная расширяется с ускорением. Причем темп расширения растет со временем. Если бы в составе Вселенной доминировала обычная материя, обладающая гравитационным

притяжением, это замедляло бы разбегание галактик, но в нашей Вселенной все происходит наоборот. Предположение о существовании темной энергии было сделано, чтобы объяснить ускоряющееся расширение Вселенной. В отличие от обычной и темной материи она не формирует структур, а равномерно заполняет всю Вселенную, то есть в галактиках и скоплениях галактик ее столько же, сколько вне их. Поскольку темная энергия в определенном смысле является источником антигравитации, ее доминирование позволяет описать наблюдаемое расширение Вселенной.

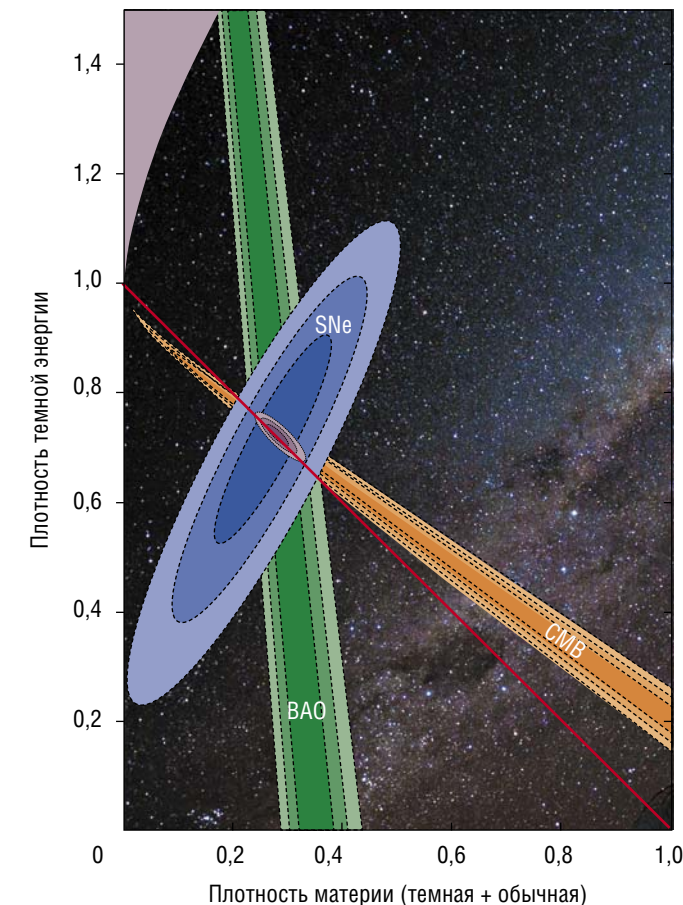
Одним из кандидатов на роль темной энергии является физический вакуум. Квантовые флуктуации полей формируют ненулевую плотность энергии вакуума, которая не изменяется при расширении Вселенной, что создает отрицательное давление, равномерно заполняющее Вселенную и приводящее к эффекту антигравитации. Существуют и другие кандидаты на роль темной энергии, но плотность энергии вакуума в настоящее время выглядит наиболее предпочтительно. В любом случае темная энергия представляет собой что-то совершенно необычное и интригующее, и над разгадкой ее секрета еще предстоит потрудиться, возможно, не одному поколению физиков.

Перечисленные выше открытия стали возможными благодаря тому, что за последние 10–20 лет произошла подлинная революция в развитии существующих и создании новых экспериментальных методов изучения Вселенной. Вступили в строй оптические телескопы с диаметром зеркала 8–10 метров, использующие адаптивную оптику, позволяющую снизить искажения, вносимые в изображение объекта атмосферными неоднородностями. Освоена работа нескольких расположенных рядом оптических телескопов в интерферометрическом режиме. Отработана технология строительства телескопов с диаметром зеркала 10,4 метра, состоящего из отдельных зеркал-сегментов, которая позволит в недалеком будущем построить оптический телескоп с диаметром зеркала 30–40 метров!

С 1990 г. на орбите работает оптический телескоп Хаббл (Hubble), с помощью которого проведено множество уникальных измерений. Из-за отсутствия атмосферных искажений при диаметре зеркала два метра Хаббл эквивалентен по разрешению десятиметровому наземному телескопу. За прошедшее десятилетие наблюдательная астрономия стала всеволновой. Изучение Вселенной ведется во всем спектре электромагнитного излучения от радиоволн до гамма-лучей, проводятся исследования с помощью регистрации нейтрино и космических лучей сверхвысоких энергий от источников космического происхождения. С помощью лазерных интерферометров с базой 3–5 км ведется поиск гравитационных волн, предсказываемых общей теорией относительности.

Прогресс в оптической астрономии позволил увидеть и изучить удаленные галактики и измерить расстояния до них по сверхновым звездам типа SN Ia. Благодаря стабильному энерговыделению при взрыве эти звезды используют как стандартные свечи при определении расстояний во Вселенной. В 1998 году две группы астрофизиков – одна в США, а другая в Австралии – почти одновременно обнаружили, что яркость сверхновых в самых удаленных галактиках на 25 % ниже, чем в близкорасположенных. Это означает, что расстояние до самых удаленных галактик больше, чем это следует из закона Хаббла. Кроме того оказалось, что эти галактики удаляются от нас с ускорением, а не с замедлением, как считалось ранее. В 2011 г. за это открытие была присуждена Нобелевская премия Солу Перлмуттеру, Брайану Шмидту и Адаму Райссу.

Кроме того, совершенствование оптических методов наблюдения Вселенной позволило увидеть галактики и скопления галактик возрастом 0,6 и 1,6 млрд лет соответственно. Для того, чтобы за столь короткое время во Вселенной успели сформироваться столь сложные структуры, также необходимо предположить, что масса вещества в ранней Вселенной превышала массу обычной барионной материи, из которой состоят звезды, более чем в десять раз. Измеренное на основе этих наблюдений соотношение между обычной и темной материей в ранней Вселенной находится в хорошем согласии с другими оценками, выполненными в настоящее время. В спутниковых экспериментах (COBE, 1989 г.) обнаружена и измерена с высоким угловым разрешением (WMAP, 2001 г.) неоднородность реликтового излучения, которое образовалось в момент, когда возраст Вселенной был около 400 тыс. лет (в настоящее время возраст Вселенной



Данные трех независимых измерений соотношения между плотностью темной энергии и плотностью материи, которая включает в себя темную и обычную материю, хорошо согласуются между собой. По: (Suzuki et al., 2011)

составляет 13,6 млрд лет), а температура плазмы, заполняющей ее, была равна 3000 К.

Без преувеличения можно сказать, что в последние годы изучение реликтового микроволнового фона и его угловых флуктуаций дало наибольшее число блестящих результатов в космологии и позволило прецизионно измерить широкий спектр фундаментальных параметров нашей Вселенной. Эти же эксперименты показали, что Вселенная с высокой точностью плоская, то есть ее видимая пространственная геометрия эвклидова, что согласуется с предсказаниями модели инфляционного расширения Вселенной в первые мгновения после ее рождения.

В настоящее время результаты трех описанных выше независимых измерений соотношения между обычной материей, темной материей и темной энергией дают согласующиеся результаты. Изучение Вселенной продолжается.

*Литература*

Лукаш В.Н., Рубаков В.А. Темная энергия: мифы и реальность // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. С. 301–308.

Рубаков В.А. Темная материя и темная энергия во Вселенной // <http://elementy.ru/lib/25560/25567>.