**Физика 2 курс.**

**Преподаватель С.А. Радобенко.**

**Тема 8 «Эволюция Вселенной».**

**Добрый день! Уважаемые студенты, предлагаю вашему вниманию теоретический материал по теме 8.2 «Эволюция звезд»,**

**которая рассчитана на 4 урока.**

**Урок 3,4.**

**Тема урока:** «Темная материя и темная энергия»

**Цель урока:** познакомиться с понятиями темная материя и темная энергия.

**План урока:**

1. **Повторить теоретический материал по теме «Строение и развитие Вселенной».**
2. **Изучить историю открытия строения Вселенной.**
3. **Познакомиться с понятиями темная материя и темная энергия**

**План действий:**

1.Изучить теорию и составить конспект.

2.Выполнить задание

**Теоретический материал.**

**Тёмная эне́ргия** ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *dark energy*) в [космологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) — [гипотетический](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0) вид [энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F), введённый в математическую модель [Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F) ради объяснения наблюдаемого её [расширения с ускорением](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%8F%D1%8E%D1%89%D0%B0%D1%8F%D1%81%D1%8F_%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F).

Существует три варианта объяснения сущности тёмной энергии:

* тёмная энергия есть [*космологическая константа*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0) — неизменная [энергетическая плотность](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8), равномерно заполняющая [пространство](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B2_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5) Вселенной (другими словами, ненулевая энергия и давление [вакуума](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC));
* тёмная энергия есть некая [*квинтэссенция*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D1%82%D1%8D%D1%81%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%29) — динамическое поле, энергетическая плотность которого может меняться в пространстве и [времени](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F).
* тёмная энергия есть модифицированная [гравитация](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) на расстояниях порядка размера видимой части Вселенной.

По состоянию на 2020 год надёжные наблюдательные данные, такие как измерения [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), подтверждают существование тёмной энергии.

Окончательный выбор между вариантами требует очень длительных и высокоточных измерений скорости расширения Вселенной, чтобы понять, как эта скорость изменяется со временем. Темпы расширения Вселенной описываются [космологическим уравнением состояния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%29). Разрешение уравнения состояния для тёмной энергии является одной из самых насущных задач современной наблюдательной космологии.

Согласно опубликованным в марте 2013 года данным наблюдений космической обсерватории «[Планк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%29)», общая [масса-энергия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0-%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) наблюдаемой Вселенной состоит из тёмной энергии на 68,3 % и [тёмной материи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F) на 26,8 %.

На основании проведённых в конце 1990-х годов наблюдений сверхновых звёзд был сделан вывод, что расширение Вселенной ускоряется со временем. Затем эти наблюдения были подкреплены другими источниками:

-измерениями [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5),

-[гравитационного линзирования](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5),

-[нуклеосинтеза](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7%22%20%5Co%20%22%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7) [Большого Взрыва](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D0%92%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2).

Расстояния до других [галактик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) определяются измерением их [красного смещения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). По [закону Хаббла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%A5%D0%B0%D0%B1%D0%B1%D0%BB%D0%B0), величина красного смещения света удалённых галактик прямо пропорциональна расстоянию до этих галактик. Соотношение между расстоянием и величиной красного смещения называется [параметром Хаббла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80_%D0%A5%D0%B0%D0%B1%D0%B1%D0%BB%D0%B0) (или, не совсем точно, постоянной Хаббла).

Сравнивая наблюдаемую яркость сверхновых в разных галактиках, можно определить расстояния до этих галактик.

В конце 1990-х годов было обнаружено, что в удалённых галактиках, расстояние до которых было определено по закону Хаббла, сверхновые типа имеют яркость ниже той, которая им полагается. Иными словами, расстояние до этих галактик, вычисленное по методу «стандартных свеч», оказывается больше расстояния, вычисленного на основании ранее установленного значения параметра Хаббла.

***Был сделан вывод, что Вселенная не просто расширяется,***

***она расширяется с ускорением.***

## **Гипотеза о тёмной энергии и скрытой массе.**

Ранее существовавшие космологические модели предполагали, что расширение Вселенной замедляется. Они исходили из предположения, что основную часть массы Вселенной составляет материя — как видимая, так и невидимая. На основании новых наблюдений, свидетельствующих об ускорении расширения, было постулировано существование неизвестного вида энергии с отрицательным давлением. Её назвали **«тёмной энергией».**

Гипотеза о существовании тёмной энергии (чем бы она ни являлась) решает и так называемую «проблему [невидимой массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0)».

Теория [нуклеосинтеза](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7%22%20%5Co%20%22%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7) [Большого Взрыва](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D0%92%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2) объясняет формирование в молодой Вселенной лёгких химических элементов, таких как [гелий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9), [дейтерий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9) и [литий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B9). Теория [крупномасштабной структуры Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%88%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0_%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9) объясняет образование [звёзд](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0), [квазаров](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%80), [галактик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и [скоплений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA) галактик.

Обе эти теории предполагают, что плотность барионной материи и тёмной материи составляет около 30 % от критической плотности, требуемой для образования «закрытой» Вселенной, то есть соответствует плотности, необходимой, чтобы [форма Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0_%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9) была плоской.

Измерения **реликтового излучения Вселенной**, недавно проведённые спутником [WMAP](https://ru.wikipedia.org/wiki/WMAP), показывают, что пространство-время во Вселенной действительно имеет глобальную кривизну, очень близкую к нулевой. Следовательно, некая ранее неизвестная форма невидимой энергии должна давать отсутствующие 70 % плотности Вселенной.

## **Природа тёмной энергии**

Сущность тёмной энергии является предметом споров. Известно, что она очень равномерно распределена, имеет низкую плотность и не взаимодействует сколько-нибудь заметно с обычной материей посредством известных фундаментальных типов взаимодействия — за исключением гравитации. Поскольку гипотетическая плотность тёмной энергии невелика (порядка 10−29 г/см³), её вряд ли удастся обнаружить лабораторным экспериментом. Тёмная энергия может оказывать такое глубокое влияние на Вселенную (составляя 70 % всей энергии) только потому, что она однородно наполняет пустое (в иных отношениях) пространство.

### Космологическая постоянная



Диаграмма, представляющая ускоренное расширение Вселенной из-за тёмной энергии.

Самое простое объяснение заключается в том, что тёмная энергия — это просто «стоимость существования пространства»: то есть, любой объём пространства имеет некую фундаментальную, неотъемлемо присущую ему энергию. Её ещё иногда называют энергией вакуума, поскольку она является энергетической плотностью чистого [вакуума](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC). Это и есть [космологическая постоянная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F), иногда называемая «лямбда-член» (от названия греческой буквы {\displaystyle \Lambda }используемой для её обозначения в уравнениях [общей теории относительности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8)). Введение космологической константы в стандартную космологическую модель привело к появлению современной модели космологии, известной как [лямбда-CDM модель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%9B%D1%8F%D0%BC%D0%B1%D0%B4%D0%B0-CDM). Эта модель хорошо соответствует имеющимся космологическим наблюдениям.

.

Согласно [общей теории относительности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8), [гравитация](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) зависит не только от [массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0) (плотности), но и от [давления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), причём давление имеет бо́льший коэффициент, чем плотность. Отрицательное давление должно порождать отталкивание, [антигравитацию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), и поэтому вызывает ускорение расширения Вселенной[[9]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-http://www.astronet.ru/db/msg/1210535/node7.html-9).

Важнейшая нерешённая проблема современной физики состоит в том, что большинство [квантовых теорий поля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F), основываясь на энергии квантового [вакуума](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%84%D0%BB%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8), предсказывают громадное значение космологической константы — на многие порядки превосходящее допустимое по космологическим представлениям.

Несмотря на эти проблемы, космологическая константа — это во многих отношениях самое [экономное](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B2%D0%B0_%D0%9E%D0%BA%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B0) решение проблемы ускоряющейся Вселенной. Единственное числовое значение объясняет множество наблюдений. Поэтому нынешняя общепринятая космологическая модель ([лямбда-CDM модель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8F%D0%BC%D0%B1%D0%B4%D0%B0-CDM_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C)) включает в себя космологическую константу как существенный элемент.

Были предложены и другие возможные виды тёмной энергии: -[фантомная энергия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F), для которой энергетическая плотность возрастает со временем.{\displaystyle w<-1}

-так называемая «кинетическая квинтэссенция», имеющая форму нестандартной [кинетической энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F).

Они имеют необычные свойства: например, фантомная энергия может привести к [Большому Разрыву](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2)Вселенной.

В 2014 году данные проекта BOSS ([Baryon Oscillation Spectroscopic Survey](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Baryon_Oscillation_Spectroscopic_Survey&action=edit&redlink=1" \o "Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (страница отсутствует))) показали, что с высокой степенью точности значение тёмной энергии является константой.

### Проявление неизвестных свойств гравитации

Имеется гипотеза, что тёмной энергии нет вообще, а ускоренное расширение Вселенной объясняется неизвестными свойствами сил [гравитации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), которые начинают проявляться на расстояниях порядка размера видимой части Вселенной.

## **Последствия для судьбы Вселенной**

По имеющимся оценкам, ускоряющееся расширение Вселенной началось приблизительно 5 миллиардов лет назад. Предполагается, что до этого расширение замедлялось благодаря гравитационному действию [тёмной материи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F) и [барионной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%BD) материи. Плотность барионной материи в расширяющейся Вселенной уменьшается быстрее, чем плотность тёмной энергии. В конце концов, тёмная энергия начинает преобладать. Например, когда объём Вселенной удваивается, плотность барионной материи уменьшается вдвое, а плотность тёмной энергии остается почти неизменной (или точно неизменной — в варианте с космологической константой).

Если ускоряющееся расширение Вселенной будет продолжаться бесконечно, то в результате [галактики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) за пределами нашего [Сверхскопления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%94%D0%B5%D0%B2%D1%8B) галактик рано или поздно выйдут за [горизонт событий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%82_%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%8B%D1%82%D0%B8%D0%B9) и станут для нас невидимыми, поскольку их относительная скорость превысит [скорость света](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0). Это не является нарушением [специальной теории относительности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8). На самом деле невозможно даже определить «относительную скорость» в искривлённом пространстве-времени. Относительная скорость имеет смысл и может быть определена только в плоском пространстве-времени, или на достаточно малом (стремящемся к нулю) участке искривлённого пространства-времени. Любая форма коммуникации далее пределов горизонта событий становится невозможной, и всякий контакт между объектами теряется.

[Земля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29), [Солнечная система](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0), наша [Галактика](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%9F%D1%83%D1%82%D1%8C), и наше [Сверхскопление](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%94%D0%B5%D0%B2%D1%8B) будут видны друг другу и в принципе достижимы путём космических полётов, в то время как вся остальная Вселенная исчезнет вдали. Со временем наше Сверхскопление придёт в состояние [тепловой смерти](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D1%8C), то есть осуществится сценарий, предполагавшийся для предыдущей, плоской модели Вселенной с преобладанием материи.

Существуют и более экзотические гипотезы о будущем Вселенной. Одна из них предполагает, что фантомная энергия приведёт к т. н. «расходящемуся» расширению. Это подразумевает, что расширяющая сила действия тёмной энергии продолжит неограниченно увеличиваться, пока не превзойдёт все остальные силы во Вселенной.

По этому сценарию, тёмная энергия со временем разорвёт все гравитационно связанные структуры Вселенной, затем превзойдёт силы электростатических и внутриядерных [взаимодействий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D1%8F), разорвёт атомы, ядра и нуклоны и уничтожит Вселенную в [Большом Разрыве](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2).

С другой стороны, тёмная энергия может со временем рассеяться или даже сменить отталкивающее действие на притягивающее. В этом случае гравитация возобладает и приведёт Вселенную к «[Большому Сжатию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%B6%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B5)».

Некоторые сценарии предполагают «циклическую модель» Вселенной.

Хотя эти гипотезы пока не подтверждаются наблюдениями, они и не отвергаются полностью. Решающую роль в установлении конечной судьбы Вселенной (развивающейся по теории [Большого Взрыва](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D0%92%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2)) должны сыграть точные измерения темпа ускорения.

Ускоренное расширение Вселенной было открыто в [1998 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1998_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) при наблюдениях за [сверхновыми типа Ia](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia). За это открытие [Сол Перлмуттер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BB%D0%BC%D1%83%D1%82%D1%82%D0%B5%D1%80%2C_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%22%20%5Co%20%22%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BB%D0%BC%D1%83%D1%82%D1%82%D0%B5%D1%80%2C%20%D0%A1%D0%BE%D0%BB), [Брайан П. Шмидт](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BC%D0%B8%D0%B4%D1%82%2C_%D0%91%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%B0%D0%BD) и [Адам Рисс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D1%81%D1%81%2C_%D0%90%D0%B4%D0%B0%D0%BC) получили [премию Шао по астрономии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%A8%D0%B0%D0%BE) за 2006 год и [Нобелевскую премию по физике](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5) за 2011 год.

## **Критика**

Регулярно появляются резонансные статьи с критикой тёмной энергии, и хотя в самих работах авторы выражаются обычно сдержанно, в аннотациях и комментариях журналистам представляют свои выводы в гипертрофированном виде,[[19]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-trvn_verh-19) к примеру, как ставящие под сомнение само существование тёмной энергии:

* В 2010 году Том Шэнкс из [Даремского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82%22%20%5Co%20%22%D0%94%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) поставил под сомнение результаты [WMAP](https://ru.wikipedia.org/wiki/WMAP), подтверждающие существование тёмной энергии, в связи с эффектом размытия [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5).[[20]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-20)
* В 2016 [Николай Горькавый](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D1%8B%D0%B9%2C_%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B9_%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87) представил гипотезу, в которой место тёмной энергии заняли [гравитационные волны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B).[[21]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-gazeta-21)
* В 2019 году Артем Асташёнок и Александр Тепляков выпустили статью, в которой предположили, что данные наблюдений, обычно интерпретируемых как свидетельство ускоренного расширения вселенной, имеют другую природу, в частности из-за влияния [эффекта Казимира](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%9A%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0).[[22]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-22)

Часть работ с критикой тёмной энергии основана на том, что было обнаружено, что спектры [сверхновых типа Ia](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia), которых считались одинаковыми, на самом деле различны; кроме того, форма сверхновой типа Ia, которая является относительно редкой сегодня, была гораздо более распространенной ранее в истории вселенной:

* В 2015 году команда во главе с исследователями из [Аризонского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) установила что [сверхновые типа Ia](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia) делятся на две группы с разными светимостями, что уменьшило оценку скорости разлетания галактик во вселенной.[[23]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-23)
* В 2016 году Якоб Нильсен выпустил работу, в которой только на основании анализа светимости [сверхновых типа Ia](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia) утверждал что вселенная расширяется не ускорено.[[24]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-24)
* В 2020 году астрономы из [университета Ёнсе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82_%D0%81%D0%BD%D1%81%D0%B5) совместно с коллегами из [Лионского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) и [KASI](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82_%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%B8_%D0%B8_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA&action=edit&redlink=1)[[en]](https://en.wikipedia.org/wiki/Korea_Astronomy_and_Space_Science_Institute) завершили анализ, который показал, по мнению исследователей, что само предположение о существовании тёмной энергии было сделано на основе, вероятно, ошибочной оценки светимости «стандартных свечей».[[25]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-25)[[26]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-26) Отмечается, что в саму работу авторы свои революционные выводы вставлять не стали, возможно из-за небольшой выборки и рассогласованности других вычисленных астрономами космологических параметров с результатами наблюдений в том числе [космической обсерватории Планк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%29).[[19]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-trvn_verh-19)

Существуют различные экспериментальные установки, в задачи которых входит обнаружение тёмной энергии (в основном они занимаются поиском WIMP-частиц и по состоянию на 2018 год не получили никаких положительных результатов):[[27]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-wired_mos-27)

* [SNOLAB](https://ru.wikipedia.org/wiki/SNOLAB) недалеко от Онтарио в Канаде, планируется также Super[CDMS](https://ru.wikipedia.org/wiki/CDMS) и [DEAP](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=DEAP&action=edit&redlink=1)[[en]](https://en.wikipedia.org/wiki/DEAP)-3600
* [LUX-эксперимент](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=LUX-%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82&action=edit&redlink=1)[[en]](https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Underground_Xenon_experiment) в Лиде, Южная Дакота
* [EDELWEISS-эксперимент](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=EDELWEISS-%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82&action=edit&redlink=1)[[en]](https://en.wikipedia.org/wiki/EDELWEISS) во французских Альпах
* [PandaX](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=PandaX&action=edit&redlink=1)[[en]](https://en.wikipedia.org/wiki/PandaX) в подземной лаборатории Цзинь-Пин в Китае
* Подземная научная лаборатория [Джадугуда](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%94%D0%B6%D0%B0%D0%B4%D1%83%D0%B3%D1%83%D0%B4%D0%B0&action=edit&redlink=1" \o "Джадугуда (страница отсутствует)) в Индии
* [XENON1T](https://ru.wikipedia.org/wiki/XENON_%28%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%29#XENON1T) в итальянских Апеннинах
* [ADMX](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=ADMX&action=edit&redlink=1)[[en]](https://en.wikipedia.org/wiki/Axion_Dark_Matter_Experiment) Вашингтонского университета, США ([аксионы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%8B%22%20%5Co%20%22%D0%90%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%8B))
* BEST, [Баксанская нейтринная обсерватория](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%22%20%5Co%20%22%D0%91%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F), Россия ([стерильное нейтрино](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE))[[28]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-28)

Тем не менее, в научном сообществе превалирует мнение, что наличие тёмной энергии является установленным фактом.Хотя нет прямых наблюдений тёмной энергии, наблюдения [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) [космической обсерваторией Планк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%29)

**ЗАДАНИЕ**

**Составьте план-конспект по теме «Темная материя и темная энергия» -обязательное задание (на «3»)**

**Можно сделать презентацию по данной теме (на «4»).**

**Можно выбрать эту тему в качестве проекта по физике (на «5»).**

**Литература:** А.В. Фирсов Физика для СПО М. Академия 2014

[**https://obuchalka.org/20180622101330/istoriya-dlya-professii-i-specialnostei-tehnicheskogo-estestvenno-nauchnogo-socialno-ekonomicheskogo-profilei-chast-1-artemov-v-v-lubchenkov-u-n-2012.html**](https://obuchalka.org/20180622101330/istoriya-dlya-professii-i-specialnostei-tehnicheskogo-estestvenno-nauchnogo-socialno-ekonomicheskogo-profilei-chast-1-artemov-v-v-lubchenkov-u-n-2012.html)

**Готовую работу отправляйте на электронную почту** **radobenko.sveta@yandex.ru**

**Спасибо.**