

1) Страдательные конструкции встречаются в английских научных текстах намного чаще, чем в русских; чаще всего в них используется предлог *by*; передаются на русский язык преимущественно страдательными формами глагола;

2) При переводе предложений с формами *-ed* нужно быть очень внимательным и сразу установить, является ли эта форма определением к подлежащему, либо это форма прошедшего времени глагола-сказуемого; перевод на русский требует перестановки компонентов;

3) Конструкции с *-ing* могут быть в английском языке либо герундием, либо причастием, и их можно переводить на русский язык существительным, деепричастным оборотом, глаголом, и даже отдельным предложением;

4) Инфинитивные обороты в научно-технической речи передаются на русский язык существительным, придаточным предложением цели, конструкцией «для + сущ.».

Отработка всех этих конструкций проходит на наших занятиях при помощи самых разных упражнений – например, найти и выделить конструкцию; перевести словосочетание с конструкцией; перевести предложения; составить свои предложения по образцу – на русском и английском языках и обменяться с одноклассниками для двустороннего перевода.

Мне кажется, что изучение вышеперечисленных базовых конструкций будет полезно мне, как начинающему инженеру, при изучении как литературы по специальности, так и научных статей на смежные и другие темы, а также при написании собственных текстов на английском языке.

#### **Библиографический список**

1. Коган Е.А., Крымская О.Б. «Английский» в техническом вузе: мнения студентов // Социология образования. 2018.С.45-51.
2. Радовель В.А. Английский язык для технических вузов: учебное пособие / В.А. Радовель. 2-е изд. М.: РИОР; ИНФРА-М, 2019. 296 с.
3. Allaboutcircuits. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.allaboutcircuits.com> (дата обращения: 10.06.2019 г.)
4. Automation around us: учеб. пособие / Е.Э. Черкасова, М.Н. Чермных. Протвино: филиал «Протвино» Международного университета природы, общества и человека «Дубна», 2008. 157 с.
5. Cern Courier. [Электронный ресурс]. URL: <https://cerncourier.com> (дата обращения: 08.08.2019 г.)
6. Hughes M. How to Analyze Data from a Custom PCB Sensor Subsystem [Электронный ресурс]. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-to-analyze-data-from-a-custom-pcb-sensor-subsystem/> (дата обращения: 15.10.2019 г.).
7. Learn to read science. Курс английского языка для аспирантов: учебное пособие / руков. Н.И. Шахова. 10-е изд. М.: Флинта; Наука, 2010. 360 с.
8. Scientific American. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.scientificamerican.com> (дата обращения: 10.09.2019 г.)

**УРАВНЕНИЕ ФРИДМАНА. МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАСШИРЕНИЯ  
ВСЕЛЕННОЙ**  
FRIEDMAN'S EQUATION. MODELING DYNAMICS OF EXPANSION OF THE  
UNIVERSE

*Филиал «Протвино» государственного университета «Дубна»  
Секция «Естественные и инженерные науки»*

**Авторы:** Кузнецов Алексей Евгеньевич, студент 3 курса направления «Информатика и вычислительная техника» филиала «Протвино» государственного университета «Дубна»; Цветков Даниил Алексеевич, студент 3 курса направления «Физика» филиала «Протвино» государственного университета «Дубна».

**Научный руководитель:** Зюзько Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры общеобразовательных дисциплин филиала Протвино государственного университета «Дубна».

**Authors:** Kuznetsov Aleksey Evgenievich, 3rd year student of the direction "Informatics and computer engineering" of the branch "Protvino" state University "Dubna"; Tsvetkov Daniil Alekseevich, 3rd year student of the direction "Physics" of the branch "Protvino" state University "Dubna".

**Scientific adviser:** Zyuzko Tatyana Nikolaevna, candidate of technical sciences, associate professor, department of general disciplines, of the branch "Protvino" state University "Dubna".

**Аннотация**

Наблюдения в последние десятилетия за одними из самых мощных взрывов во Вселенной — взрывами сверхновых звезд Ia — показали, что наша Вселенная расширяется с ускорением. Это стало огромным сюрпризом для космологов и астрофизиков. Гравитация, являясь универсальной силой, имеет только один знак — притяжение. Для того чтобы расширяться с ускорением, нужна антигравитация, которая создается, как принято сейчас говорить, темной энергией. Это неизвестная на сегодняшний день форма материи, природу которой еще предстоит выяснить в новых физических и астрофизических экспериментах. В работе изучается дифференциальное уравнение Фридмана. Исследовано его точное решение для частного случая. Разработана программа для численного решения уравнения Фридмана методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Построены различные модели поведения Вселенной от Большого Взрыва до нашего времени.

**Abstract**

Observations in recent decades on one kind of the most powerful explosions in the Universe - Ia supernova explosions - showed that our Universe is expanding with acceleration. This was a huge surprise for cosmologists and astrophysicists. Gravity, being a universal force, has only one sign - attraction. In order to expand with acceleration, you need antigravity, which is created, as is now customary to say, dark energy. This is a form of matter unknown today, the nature of which remains to be determined in the new physical and astrophysical experiments. This work is devoted to the study of the differential equation by Fridmann. Exact solution is being investigated for a special case. A program has been developed for the numerical solving of the Friedmann equation by the fourth-order Runge-Kutta method. Various models of the behavior of the Universe from the Big Bang to our time are built.

**Ключевые слова:** темная материя, Вселенная, уравнение Фридмана, темная энергия, моделирование расширения Вселенной.

**Keywords:** dark matter, the Universe, the Friedmann equation, dark energy, modeling the expansion of the Universe.

**Объектом** данной работы является космология, изучение различных космологических понятий и констант.

**Предметом** исследования данной работы является космологическое уравнение Фридмана.

**Цель исследования** – построить различные модели динамики развития Вселенной

**Задачи:**

1. Изучить уравнение Фридмана.
2. Понять смысл и роль космологической постоянной Хаббла.
3. Изучить этапы развития Вселенной.
4. Разработать программу для моделирования развития динамики Вселенной.

### **Признательность**

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность Соловьёву Владимиру Олеговичу, доктору физико-математических наук, профессору кафедры общеобразовательных дисциплин филиала «Протвино» государственного университета «Дубна» за советы, ценные замечания, полезные ссылки и консультации.

### **Эйнштейн и Фридман**

#### *Введение*

Около ста лет назад российский математик Александр Фридман предсказал, что Вселенная может расширяться или сужаться с ускорением или с замедлением. Эти революционные научные идеи первоначально встретили критику и непонимание со стороны Альберта Эйнштейна, и лишь спустя шесть лет после смерти Фридмана создатель теории относительности признал его правоту и стал его горячим сторонником.

В 1922 г. математик Александр Фридман открывает, что уравнения общей теории относительности Эйнштейна допускают для Вселенной в целом не только статические, но и динамические решения. Как следствие, он выводит два дифференциальных уравнения (теперь уравнения Фридмана), описывающих три возможных сценария развития Вселенной. Согласно им, Вселенная может сжиматься, расширяться, схлопываться и даже возникать из точки (как говорят физики, из сингулярности). В 1924 г. Фридман предлагает еще одну революционную идею о возможности существования динамической Вселенной с отрицательной кривизной, а значит, бесконечной по объему и неограниченной в пространстве.

### **Уравнение Фридмана**

$$\left(\frac{dz}{dt}\right)^2 = H_0^2(1+z)^2 * (\Omega_1(1+z)^3 + \Omega_2(1+z)^4 + \Omega_3(1+z)^2 + \Omega_4)$$

или

$$\left(\frac{R'}{R}\right)^2 = H_0^2 \left( \Omega_1 \left(\frac{R_0}{R}\right)^3 + \Omega_2 \left(\frac{R_0}{R}\right)^4 + \Omega_3 \left(\frac{R_0}{R}\right)^2 + \Omega_4 \right)$$

где

- $z$ - красное смещение длины волны, излученной в прошлом, причем  $1+z = \frac{R_0}{R(t)}$
- $R$ - масштабный множитель в метрике пространства

- $R_0$  – масштабный множитель настоящего времени (считаем его = 1)
- $H_0$  – постоянная Хаббла в настоящий момент времени =  $67.8 \text{ км/с} * 1/\text{Мпк}$  ( $1\text{Мпк}=3.1 * 10^{13} \text{ км}$ )
- $\Omega_1$  – относительный вклад «пылевидной» (не оказывающей давления) материи, включающий как «темную», так и обычную материю (протоны, нейтроны, электроны) = 0.306
- $\Omega_2$  – относительный вклад «релятивистской» материи (фотоны) =  $5.38 * 10^{-5}$  (малая величина, можно пренебречь)
- $\Omega_3$  – относительный вклад кривизны =  $0 \pm 0.016$  (малая величина, можно пренебречь)
- $\Omega_4$  – относительный вклад «темной энергии» = 0.692, [1,3,4]

### **Темная материя**

В области астрофизических наблюдений было замечено, что мир, вероятно, состоит не только из того, что мы видим, например, звезды, туманности, межгалактический газ и т.д. И из этих наблюдений следует, что то, что мы видим это вероятно не все, что существует во Вселенной. По вращению звезд вокруг центра галактики можно определить какова масса Галактики. Так вот, масса оказывается больше видимого вещества в светящейся Галактике, т.е. светящаяся материя, по всей вероятности, не составляет всю материю в Галактике. Было сделано 2 предположения: либо законы гравитации, законы Ньютона не верны, либо, что есть какая-то скрытая, невидимая нам масса, т.е. масса, не испускающая свет.

Темная материя называется так потому, что она не излучает, не отражает и не поглощает свет, то есть не участвует в электромагнитном взаимодействии, в отличие от видимого или барионно-лептонного вещества. Это гипотетическая форма материи. Вывод о ее существовании получен на основе многочисленных косвенных признаков поведения астрофизических объектов и их гравитационных эффектов [6,8].

### **Темная энергия**

Если темная материя кажется странной, то всё становится ещё более запутанным, когда мы добираемся до темной энергии.

В 1929 году Эдвин Хаббл (человек, в честь которого был назван телескоп Хаббл) исследовал, что длина волны света, испускаемого далекими галактиками, смещается к красному концу электромагнитного спектра, когда волны света путешествуют через пространство. Он обнаружил, что более отдаленные галактики показывают большее смещение, чем более близкие. Еще следует упомянуть про Закон Хаббла – Вселенная расширяется, причем скорость, с которой галактики удаляются друг от друга, пропорциональна расстоянию между ними. Т.е.  $V = H * R$ , где  $H$  постоянная Хаббла и  $R$ -расстояние между галактиками.[6]

Хаббл решил, что это потому, что Вселенная расширяется. Красное смещение происходит из-за растягивания длины волны света по мере расширения Вселенной.

Вот, что писал Хаббл (перевод с английского В.И. Мацарского): «...Однако наиболее важным является то, что предлагаемое соотношение «скорость-расстояние» может быть результатом эффекта де Ситтера, а значит, обсуждение вопроса об общей кривизне пространства можно было бы поставить на количественную основу. В космологии де Ситтера смещение спектральных линий есть результат двух эффектов — наблюдаемого замедления атомных колебаний и общей тенденции материальных частиц к рассеянию. В последнем случае возникает ускорение, а значит, вводится элемент времени...»

Непрерывное ускорение Вселенной происходит благодаря темной энергии — отталкивающей силе, которая действует противоположным образом, чем темная

материя, заставляя Вселенную расширяться, а не объединяться в организованные структуры. Это свойство, которое, по-видимому, принадлежит пустому пространству, а эта энергия более сильная и более концентрированная, чем всё остальное во Вселенной. Если это свойство пустого пространства, это означает, что пустое пространство — это не ничто, а что-то. Нет никакого способа обнаружить или измерить тёмную энергию, но мы можем принять к сведению последствия её действия. Самое необычное то, что темная энергия в определенном смысле порождает антигравитацию. Астрономические наблюдения свидетельствуют о том, что сегодня Вселенная расширяется с ускорением: темп расширения растет со временем. В этом смысле и можно говорить об антигравитации: обычное гравитационное притяжение замедляло бы разбегание галактик, а в нашей Вселенной, получается, всё наоборот. Один из кандидатов на роль темной энергии — вакуум. Плотность энергии вакуума не изменяется при расширении Вселенной, а это и означает отрицательное давление вакуума.

### **Этапы развития Вселенной (Теория Большого взрыва)**

Вселенная возникла около 14 миллиардов лет назад в результате Большого взрыва и с тех пор непрерывно расширяется, и охлаждается.

До взрыва не было ничего: ни материи, ни пространства, ни времени. Четыре фундаментальных взаимодействия объединены в одно. А сама Вселенная представляла собой некую субстанцию с бесконечно малым объёмом и бесконечно большой плотностью.

В настоящее время наукой выделяются следующие этапы после Большого взрыва:

1. Самый ранний из известных нам периодов называется *Планковской эрой*, он занимает отрезок от 0 до  $10^{-43}$  секунд. В это время вся материя и энергия Вселенной была собрана в одной точке, а четыре основных взаимодействия были едины (гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное);
2. *Эпоха Великого объединения* (с  $10^{-43}$  по  $10^{-36}$  секунд). Она характеризуется появлением кварков и разделением основных видов взаимодействий. Главным событием этого периода считается выделение гравитационной силы.
3. Третий этап творения называется *Эпохой инфляции* (с  $10^{-36}$  по  $10^{-32}$ ). В это время началось стремительное раздувание Вселенной со скоростью, значительно превосходящей световую. Начинается охлаждение. В данный период окончательно разделяются фундаментальные силы мироздания;
4. В период с  $10^{-32}$  по  $10^{-12}$  секунды появляются «экзотические» частицы типа бозона Хиггса, пространство заполнила кварк-глюонная плазма. Промежуток с  $10^{-12}$  по  $10^{-6}$  секунды называется *эпохой кварков*, с  $10^{-6}$  по 1 секунду — *эпохой адронов*, именно из них образуются нуклоны и в 1 секунду после Большого взрыва начинается *эра лептонов*;
5. *Фаза нуклеосинтеза* (процесс образования из элементарных частиц химических элементов таблицы Менделеева). Она длилась примерно до третьей минуты от начала событий. В этот период во Вселенной из частиц возникают ядра атомов гелия, дейтерия, водорода. Продолжается охлаждение.
6. Через сотни тысяч лет после Большого взрыва начинается *эра Первичной рекомбинации* (процесс перехода полностью ионизованной материи в полностью нейтральную). В этот период появилось реликтовое излучение (это фоновое микроволновое излучение, одинаковое во всех направлениях и имеющее спектр, характерный для абсолютно черного тела при современной температуре  $\sim 2.7$  К), которое астрономы изучают до сих пор;

7. Период 380 тыс. – 550 млн лет называют *Темными веками*. Вселенная в это время заполнена водородом, гелием, литием и реликтовым излучением. Макроскопических источников света во Вселенной не было;
8. Постепенно облака водорода и гелия под воздействием гравитации начали сжиматься, и в них через 550 млн лет стали зарождаться процессы термоядерного синтеза. Появились первые звезды. Они стали собираться в скопления, называемые галактиками. Первые звезды взрываются, освобождая материю для образования планетных систем. Данный период называется *Эрой реионизации*;
9. В возрасте 800 млн. лет во Вселенной начинают образовываться первые звездные системы с планетами. Образовываются межзвездные облака. Наступает *Эра вещества*. Позднее Вселенная станет похожа на то, что мы видим сейчас. Сформируется солнечная система и наша родная планета.

#### **Исследование динамики изменения радиуса Вселенной.**

Нами было выполнено компьютерное моделирование эволюции Вселенной от Большого Взрыва до настоящего времени с использованием уравнения Фридмана. Для этого уравнение было преобразовано к виду:

$$\frac{R'}{R} = H_0 \cdot \sqrt{\Omega_1 \cdot \frac{1}{R} + \Omega_4 \cdot R^2}$$

Мы рассматриваем частный случай уравнения Фридмана, когда вклад релятивистской материи и вклад кривизны пространства в динамику процесса считается незначительным (нулевым) [1,3].

Решением этого дифференциального уравнения с разделяющимися переменными является радиус Вселенной  $R(t)$  (радиус кривизны), как функция времени. График решения имеет особую точку при  $R=0$ , окрестность которой и является самой интересной для исследования.

В среде *scilab* и на языке *sharp* были написаны программы для численного решения уравнения Фридмана методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Этот метод имеет достаточный порядок точности и дает хороший результат, в том числе при приближении решения дифференциального уравнения к особой точке. В качестве параметров для численного решения уравнения были рассмотрены постоянная Хаббла  $H_0$ , относительный вклад пылевидной материи (протоны, нейтроны, электроны)  $\Omega_1$  и относительный вклад темной энергии  $\Omega_4$ .

Программными средствами решались проблемы, препятствующие анализу кривой в окрестности точки неопределенности—точке Большого Взрыва.

За нулевой момент времени принимался настоящий момент. Время откладывалось в прошлое с отрицательным шагом. Шаг вычислений был принят равным 10 млн. лет. При этом программа для построения графика вычисляет около 1500 значений.

Были получены следующие графики.



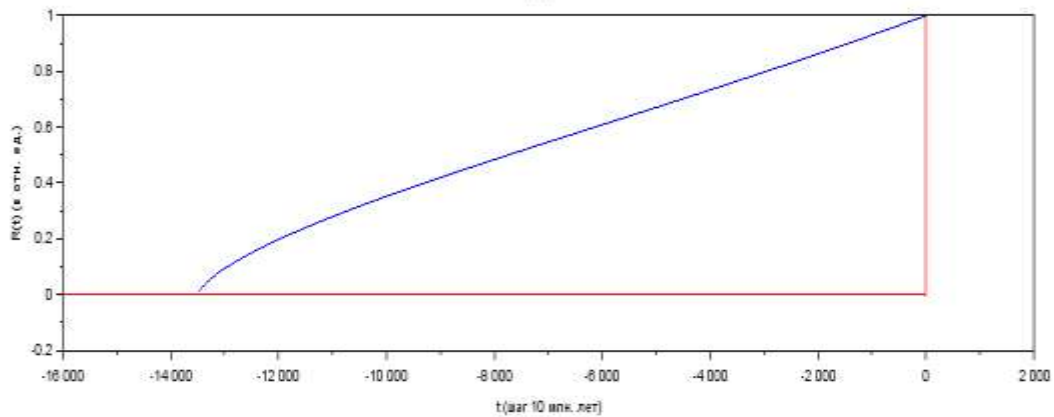


Рисунок 1. По оси  $OX$  откладывается время.  $t=0$ —настоящее время,  $t=-13400$  млн. лет—примерное время Большого Взрыва. По оси  $OY$  откладывается радиус Вселенной в относительных единицах ( $0 < R < 1$ ).

График на рисунке 1 интересен тем, что на нем видна точка перегиба (изменение направления выпуклости функции) в момент времени около  $-5000$  млн. лет. После Большого Взрыва Вселенная расширялась с очень большой скоростью, но с отрицательным ускорением, что соответствует отрицательной второй производной и выпуклому графику. С некоторого момента ускорение расширения стало положительным, что соответствует вогнутому графику. Напомним, что в настоящий момент Вселенная расширяется с положительным ускорением. На графике  $R(t)$  изменяется в относительных единицах от 0 до 1. Радиус, равный единице, соответствует современному размеру Вселенной— $10^{26}$  км. Предполагается, что таков реальный размер Вселенной, в то время как видимый размер принимается равным  $10^{23}$  км.

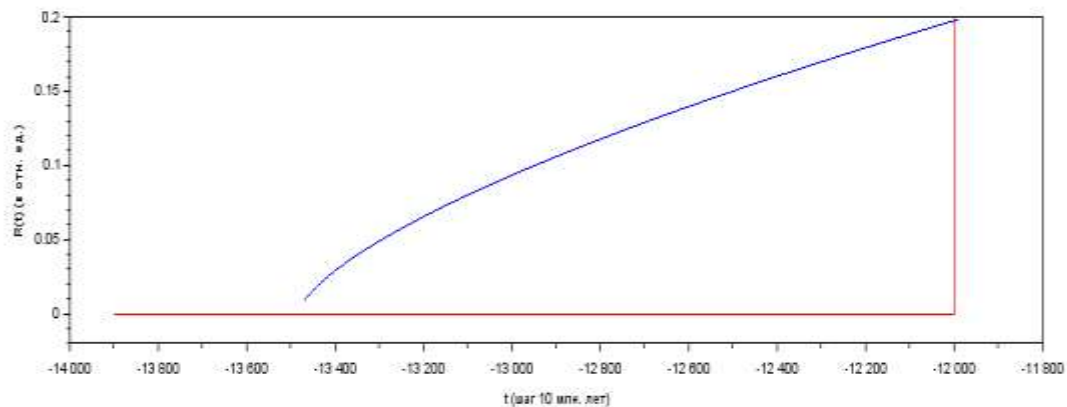


Рисунок 2. Здесь в увеличенном масштабе представлена часть графика с рисунка 1.

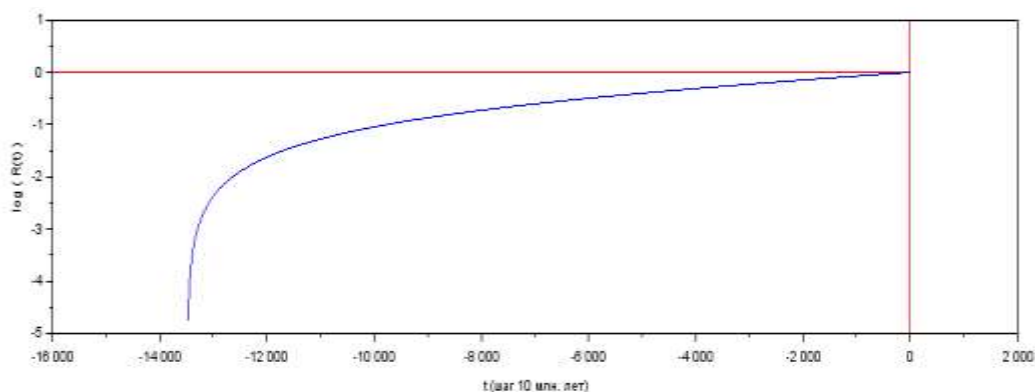


Рисунок 3. По оси  $OX$  откладывается время, а по оси  $OY$  – логарифм расстояния  $R(t)$ .

Было построено множество различных графиков с целью исследования окрестности точки сингулярности.

Проведенное исследование помогло глубже изучить вероятные модели динамики Вселенной в прошлом, настоящем и будущем.

Как дальше будет развиваться наша Вселенная — будет ее расширение только ускоряться, или замедлится, или сменится коллапсом — зависит от форм материи, ее заполняющих и от их эволюции.

#### Библиографический список

1. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков. Вселенная в прошлом. // Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. — Москва: Ж И , 2008 — 552 с. — 18ВИ 978-5-382-00657-4
2. В. О. Соловьев Космология как задача классической механики Вестник Международного университета природы, общества и человека "Дубна". 2016. № 4(36)
3. Соловьев В.О. Уравнение Фридмана: вчера, сегодня, завтра // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». 2016. № 1 (33). С. 38–41.
4. С. Дворянинов, В. Соловьев “Космология Фридмана: горы реальные и потенциальные”, научно-популярный физико-математический журнал “Квант”, №1, №2, 2017.
5. Новиков И. В. Как взорвалась Вселенная. — М.: Наука, 1988 — 176 с. — 150 000 экз. — 18ВК 5-02-013881-9.
6. Стивен Хокинг. Краткая история времени: от Большого взрыва до черных дыр / С.Хокинг; пер. с англ. А.К. Дамбиса. - Москва: АСТ, 2019.-272с.:ил.-(Мир Стивена Хокинга). ISBN978-6-17-107720-4
7. И.Д. Новиков «Эволюция Вселенной», М. 1983 г.
8. Саган К. Космос: Эволюция Вселенной, жизни и цивилизации (пер. с англ. Сергеева А.Г.) М.: Новая эврика, 2006. - 525 с.
9. Марочник Л.С., Насельский П.Д. «Вселенная: вчера, сегодня, завтра», сборник «Космонавтика, астрономия», выпуск № 2 за 1983 г.