

Презентация разработана преподавателем КС и ПТ
Каракашевой И.В.

Санкт – Петербург
2017

Чтобы создать Вселенную, нужны числа, без которых она просто не может существовать — фундаментальные константы.

С помощью этих десяти чисел можно описать все: и рост снежинок, и взрыв гранаты, и игру на бирже, и движение галактик.

А вот откуда они взялись — непонятно...





Пространство

Число Архимеда π

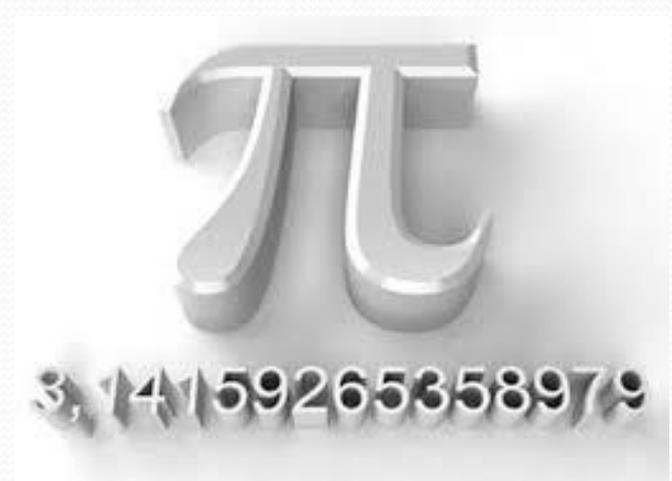
- Три, четырнадцать, пятнадцать,
Девять, два, шесть, пять, три,
пять.

Чтоб наукой заниматься,
Это каждый должен знать.

- Можно просто постараться

И почаще повторять:

«Три, четырнадцать, пятнадцать,
Девять, двадцать шесть и пять».



Пространство

Число Архимеда $\pi = 3,1415926535\dots$

- На сегодня просчитано до 1,24 трлн знаков после запятой
- Точное авторство неизвестно. Приписывается древним индусам, грекам, китайцам.
- Впервые обозначил его греческой буквой π в начале XVIII века английский математик Уильям Джонс
- **Когда праздновать день π** — 14 марта (3.14 — соответствует первым знакам в записи числа) или 22 июля (22/7 — приближение Архимеда π дробью)



Пространство

Число Архимеда π . История

Числу π столько же лет, сколько всей математике: около 4 тысяч.

Старейшие шумерские таблички приводят для него цифру $25/8$, или $3,125$. Ошибка — меньше процента.

Вавилоняне абстрактной математикой особо не увлекались, так что π вывели опытным путем, просто измеряя длину окружностей. Кстати, это первый эксперимент по численному моделированию мира.

Самой изящной из арифметических формул для π больше 600 лет (ряд Лейбница):

$$\pi/4 = 1 - 1/3 + 1/5 - 1/7 + \dots$$

Число Архимеда π

Рациональные приближения

$\frac{22}{7}$ — Архимед (III век до н. э.) — древнегреческий математик, физик и инженер (совпадают 2 разряда после запятой);

$\frac{377}{120}$ — Клавдий Птолемей (II век н. э.)
и Ариабхата (V век н. э.) — индийский астроном и математик (совпадают 3 разряда после запятой);

$\frac{355}{113}$ — Цзу Чунчжи (V век н. э.) — **китайский**

астроном и математик (совпадают 6 разрядов после запятой).



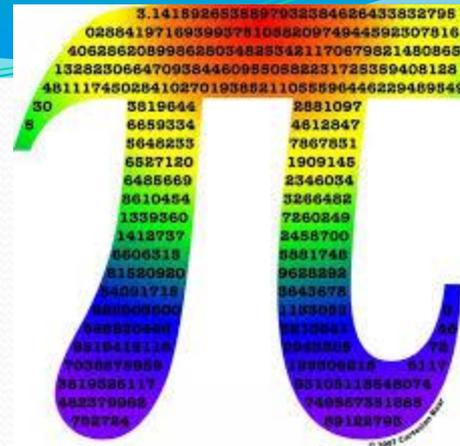
Пространство

Число Архимеда π

- π — иррациональное число, то есть его значение не может быть точно выражено в виде дроби.
- Иррациональность числа π была впервые доказана Иоганном Ламбертом в 1761 году путём разложения тангенса в непрерывную дробь.
- В 1794 году Лежандр привёл более строгое доказательство иррациональности числа .
- π — трансцендентное число. Трансцендентность числа π была доказана в 1882 году профессором Мюнхенского университета Линдеманом.

Пространство

Число Архимеда π



- Что такое π ?
- 3,14, число из задач про окружности.
- И в то же время — одно из главных чисел в современной науке. Физикам π обычно нужно там, где об окружностях ни слова, — скажем, чтобы смоделировать солнечный ветер или взрыв.
- Число π встречается в каждом втором уравнении — можно открыть учебник теоретической физики наугад и выбрать любое.
- В географии: обычная река со всеми ее изломами и изгибами в π раз длиннее, чем путь напрямик от ее устья к истоку.

Хаос

Константа Фейгенбаума

$$\delta = 4,66920016\dots$$

- Открыл американский физик Митчелл Фейгенбаум в 1975 году.
- Когда и как праздновать день δ :
Перед генеральной уборкой



*1944-
Американский специалист в
области физико-
математических наук. Один из
пионеров теории хаоса.
Исследовал явление
турбулентности*

Хаос

Константа Фейгенбаума δ

- В середине семидесятых он обнаружил скрытый порядок, названный периодическим удвоением, лежащий в основе поведения широкого разнообразия нелинейных математических систем.
- Период системы — это время, которое требуется, чтобы вернуть ее к первоначальному состоянию.
- Фейгенбаум обнаружил, что период некоторых нелинейных систем продолжает удваиваться, по мере того как они расширяются и таким образом быстро приближаются к бесконечности (или вечности).

Хаос

Константа Фейгенбаума δ

- Эксперименты подтвердили, что некоторые простые системы реального мира демонстрируют периодическое удвоение.
- Например, по мере того как ты постепенно открываешь кран, вода демонстрирует периодическое удвоение, переходя от ровного кап-кап-кап к сильной струе.



Хаос

Константа Фейгенбаума δ

- Что общего у капусты брокколи, снежинок и елки? То, что их детали в миниатюре повторяют целое. Такие объекты, устроенные как матрешка, называют фракталами.
- Фракталы возникают из беспорядка, как картинка в калейдоскопе. Митчелла Фейгенбаума в 1975 году заинтересовали не сами узоры, а хаотические процессы, которые заставляют их появляться.
- Фейгенбаум занимался демографией. Он доказал, что рождение и смерть людей тоже можно моделировать по фрактальным законам. Тут у него и появилась эта δ .
- Константа оказалась универсальной: она встречается в описании сотен других хаотических процессов, от аэродинамики до биологии.

Время

Число Непера $e = 2,718281828\dots$

- **Открыл** Джон Непер, шотландский математик, в 1618 году. Самого числа он не упоминал, зато выстроил на его основе свои таблицы логарифмов.
- Одновременно кандидатами в авторы константы считаются Якоб Бернулли, Лейбниц, Гюйгенс и Эйлер.
- Достоверно известно только то, что символ e взялся из фамилии Леонарда Эйлера.
- **Когда и как праздновать день e :** После возврата банковского кредита



Время

Число Непера e

- Число e — своего рода двойник π .
- Если π отвечает за пространство, то e — за время, и тоже проявляет себя почти всюду.
- Например, радиоактивность полония-210 уменьшается в e раз за средний срок жизни одного атома, а раковина моллюска Nautilus — это график степеней e , обернутый вокруг оси.
- Число e встречается и там, где природа заведомо ни при чем. Банк, обещающий 1% в год, за 100 лет увеличит вклад примерно в e раз.
- Якоб Бернулли, знаток и теоретик азартных игр, вывел e , рассуждая о том, сколько зарабатывают ростовщики.

Время

Число Непера e

- e — трансцендентное число, его нельзя выразить через дроби и корни.
- Это было доказано в 1873 году французским математиком Шарлем Эрмитом.
- Есть гипотеза, что у таких чисел в бесконечном «хвосте» после запятой встречаются все комбинации цифр, какие только возможны. Например, там можно обнаружить и текст этой статьи, записанный двоичным кодом.
- В 1884 г. Бурман вычислил 346 знаков числа.
- В 1887 г. Адамс вычислил 272 цифры десятичного логарифма .

Постоянная тонкой структуры α = 1/137,0369990...

- **Открыл** немецкий физик Арнольд Зоммерфельд, аспирантами которого были сразу два нобелевских лауреата — Гейзенберг и Паули.
- В 1916 году, еще до появления настоящей квантовой механики, Зоммерфельд ввел константу в статье про «тонкую структуру» спектра атома водорода. Роль константы вскоре переосмыслили, а вот название осталось прежним.
- **Когда праздновать день α :**
в День электрика



Свет

Постоянная тонкой структуры α

- Скорость света — величина исключительная. Быстрее, показал Эйнштейн, не могут двигаться ни тело, ни частица, ни гравитационная волна.
- Скорость света — не фундаментальная константа. ее нечем измерить. Т.е, если скорость света изменится во всей Вселенной, человечество об этом не узнает.
- Величина, связывающая скорость света с атомными свойствами — константа α — это деленная на скорость света «скорость» электрона в атоме водорода.
- Она безразмерна, то есть не привязана ни к метрам, ни к секундам, ни к каким-либо еще единицам.



Свет

Постоянная тонкой структуры α

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = \frac{e^2 c \mu_0}{2h}$$

где

- e – элементарный заряд;
- h – постоянная Планка;
- $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Дирака;
- c – скорость света в вакууме;
- ϵ_0 – электрическая постоянная;
- μ_0 – магнитная постоянная;

Свет

Постоянная тонкой структуры α

- Эта константа имеет именно такое значение, потому что иначе было бы невозможным существование стабильной материи и, следовательно, жизнь и разумные существа не смогли бы возникнуть.
- Например, известно, что, будь α всего на 4 % больше, производство углерода внутри звёзд было бы невозможным.
- Если бы α была больше, чем 0,1, то внутри звёзд не смогли бы протекать процессы термоядерного синтеза.
- Все основные свойства и характеристики объектов микромира: размеры электронных орбит в атомах, энергии связи, т.е. все физические и химические свойства вещества, определяются величиной этой константы.

Свет

Постоянная тонкой структуры α

- Теперь нельзя утверждать, что Вселенная однородна и результат эксперимента на Земле будет таким же, как и в других ее частях.
- Даже если изменения константы на протяжении 10 млрд лет малы, это все равно говорит, что наши теории и представления об окружающем мире неверны.
- Но еще более масштабным и даже пугающим является предположение, что человечество возникло именно в тот момент, в который возможно его существование, и нам отведен лишь маленький отрезок времени и крохотная часть Вселенной, которая на самом деле намного большее и выглядит совсем по-другому.

Добавка к реальности

Мнимая единица $i = \sqrt{-1}$

- **Открыл** итальянский математик Джероламо Кардано, друг Леонардо да Винчи, в 1545 году. Карданный вал назван так именно в его честь.
- **Когда праздновать день i :** Мартобря 86 числа
- Число i ни константой, ни даже настоящим числом назвать нельзя.
- Это сторона квадрата с отрицательной площадью. В реальности такого не бывает.



Мнимая единица i

История открытия

- Математик Джероламо Кардано, решая уравнения с кубами, ввел мнимую единицу.
- Это был просто вспомогательный трюк — в итоговых ответах i не было: результаты, которые его содержали, выбраковывались.
- Но позже, присмотревшись к своему «мусору», математики попробовали пустить его в дело: умножать и делить обычные числа на мнимую единицу, складывать результаты друг с другом и подставлять в новые формулы. Так родилась теория комплексных чисел.
- Если воспользоваться комплексными числами, неразрешимых уравнений практически не остается.

Добавка к реальности

Мнимая единица i

- Мнимая единица требуется для расшифровки томограммы мозга.
- В физике можно считать, что волны и поля существуют в комплексном пространстве, а то, что мы видим, — только тень «настоящих» процессов.
- Квантовая механика, где и атом, и человек — волны, делает такую трактовку еще убедительнее.
- Число i позволяет свести в одной формуле главные математические константы и действия. Формула выглядит так: $e^{\pi i} + 1 = 0$, и некоторые говорят, что такой сжатый свод правил математики можно отправлять инопланетянам, чтобы убедить их в нашей разумности.

Микромир

Масса протона $\mu = 1836,152\dots$

- Открыл американский физик Эрнест Резерфорд в 1918 году.
- Когда и как праздновать день μ : В День борьбы с лишним весом, если такой введут
- μ — это соотношение масс двух базовых элементарных частиц, протона и электрона.
- Как и в случае скорости света, важна не сама величина, а ее безразмерный эквивалент, не привязанный к каким-то единицам, то есть во сколько раз масса протона больше массы электрона.



Микромир

Масса протона μ

- Как и α , μ подозревают в медленной эволюции.
- Физики изучали свет квазаров, дошедший до нас через 12 млрд лет, и обнаружили, что протоны со временем тяжелеют: разница между доисторическим и современным значениями μ составила 0,012%.
- Проведённые измерения показали, что отношение масс протона и электрона семь миллиардов лет назад отличалось от сегодняшнего не более, чем на 0,00001 %.

Темная материя

Космологическая константа

$$\Lambda = 110^{-23} \text{ г/м}^3$$

- **Открыл** Альберт Эйнштейн в 1915 году. Сам Эйнштейн называл ее открытие своим «главным промахом»
- **Когда и как праздновать день**
 Λ : Ежесекундно: Λ , согласно определению присутствует всегда и везде.
- Можно сказать, что Λ дополняет константу Хаббла H . Они соотносятся как скорость и ускорение. Если H описывает равномерное расширение Вселенной, то Λ — непрерывно ускоряющийся рост.



Темная материя

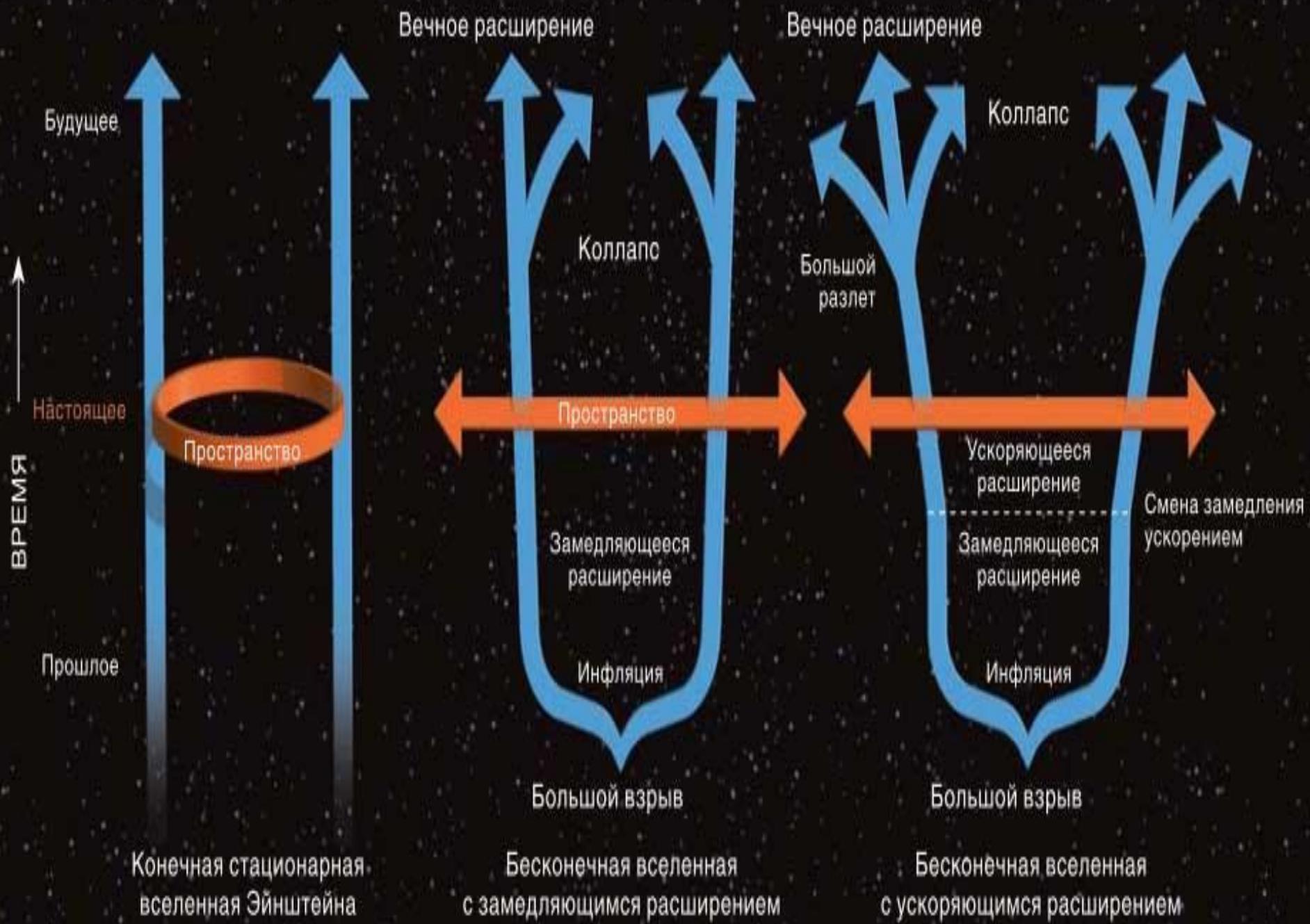
Космологическая константа Λ

Первым ее ввел в уравнения общей теории относительности Эйнштейн, когда заподозрил у себя ошибку.

Его формулы указывали, что космос либо расширяется, либо сжимается, а в это было сложно поверить. Новый член понадобился, чтобы устранить выводы, казавшиеся неправдоподобными.

После открытия Хаббла Эйнштейн от своей константы отказался.

Вторым рождением, в 90-х годах прошлого века, постоянная обязана идее темной энергии, «спрятанной» в каждом кубическом сантиметре пространства.



Темная материя

Космологическая константа Λ

- Как следовало из наблюдений, энергия неясной природы должна «расталкивать» пространство изнутри. Грубо говоря, это микроскопический Большой взрыв, происходящий каждую секунду и повсеместно. Плотность темной энергии — это и есть Λ .
- Гипотезу подтвердили наблюдения за реликтовым излучением. Это волны, родившиеся в первые секунды существования космоса. Астрономы считают их чем-то вроде рентгена, просвечивающего Вселенную насквозь. «Рентгенограмма» и показала, что темной энергии в мире 74% — больше, чем всего остального. Однако так как она «размазана» по всему космосу, получается всего 110^{-23} грамма на кубический метр.

Темная материя

Космологическая константа Λ

Космологическая постоянная может быть измерена благодаря своему влиянию на процесс разбегания галактик. Эти измерения были проделаны в 1998 году двумя группами астрономов, изучавших сверхновые звёзды и было получено очень малое значение для космологической постоянной.

Искажения Вселенной становятся ощутимы лишь при масштабах, сравнимых с размером наблюдаемой части Вселенной.

За эти измерения Сол Перлмуттер, Брайан П. Шмидт и Адам Рисс получили Нобелевскую премию по физике за 2011 год.

Темная материя

Космологическая константа Λ

- Теория Большого взрыва неизбежно подразумевает вопрос: и чем всё это представление завершится?
- Либо разбегающиеся галактики в какой-то момент повернут вспять под воздействием сил гравитационного притяжения, и Вселенная сожмется обратно в точку в момент того, что иногда называют *большой крах*, по аналогии с большим взрывом.
- Либо Вселенная так и будет расширяться до бесконечности во тьму пространства, пока не обратится в рассеянный холодный прах в результате *тепловой смерти*.

Темная материя

Космологическая константа Λ

- Одним из методов получения ответа на этот вопрос явилось измерение скорости удаления галактик, отстоящих от Земли на самые большие расстояния — в миллиарды световых лет.
- Поскольку свет от них шел до Земли миллиарды лет, по доплеровскому смещению в их спектрах мы можем вычислить, с какой скоростью они удалялись миллиарды лет тому назад.
- Сравнив эту скорость с современной скоростью разбегания ближайших галактик, мы узнаем, насколько силы гравитационного притяжения успели замедлить расширение Вселенной.

Темная материя

Космологическая константа Λ

- В 1990-е годы астрофизикам удалось наконец найти подходящую стандартную свечу — на эту роль идеально подошли сверхновые типа Ia.
- Использование этого метода дало озадачивающие результаты. Расширение Вселенной ускоряется!
- Судя по всему, имеется какая-то неизвестная нам сила, которая буквально растаскивает Вселенную на куски, — какая-то антигравитация, под воздействием которой галактики разлетаются с неуклонно возрастающей скоростью.

Темная материя

Космологическая константа Λ

- На основании космологической модели Фридмана сформировалась **современная модель Вселенной**, под названием Лямбда-CDM, где космологическая постоянная является неотъемлемой частью теоретической конструкции и описывает свойства темной энергии.
- Однако, несмотря на свой вклад, точное значение космологической константы остается под вопросом. Данная проблема даже имеет устоявшееся выражение в физике – «проблема космологической постоянной». Она состоит в том, что значение Лямбда-члена получается теоретически предсказать при помощи квантовой физики, но это значение будет немислимо большим.

Темная материя

Космологическая константа Λ

- При такой космологической константе энергия вакуума привела бы Вселенную к столь быстрому расширению, что не смогли бы сформироваться даже структуры вроде галактик. Для формирования последних значение Лямбда-члена должно быть как минимум на 120 порядков меньше (то есть в 10^{120} раз).
- Еще большую путаницу вносит относительно низкое значение космологической постоянной, получаемое при изучении эффекта разлета галактик.
- Одним из решений данной проблемы является предположение о том, что кроме энергии вакуума в космологическую постоянную вносит вклад еще какое-то неизученное слагаемое, некая неизвестная величина.

Большой взрыв

Постоянная Хаббла $H = 77$ км/с /Мпс

- Открыл Эдвин Хаббл, отец-основатель всей современной космологии, в 1929 году.
- В 1925-м он первым доказал существование других галактик за пределами Млечного пути.
- **Когда и как праздновать день H:** 0 января. С этого несуществующего числа астрономические календари начинают отсчет Нового года.



Большой взрыв

Постоянная Хаббла H

Постоянная Хаббла — мера скорости, с которой расширяется Вселенная в результате Большого взрыва. Галактики в любом месте Вселенной разбегаются друг от друга и делают это тем быстрее, чем больше расстояние между ними.

Постоянная H — коэффициент, на который умножают дистанцию, чтобы получить скорость. Со временем она меняется, но довольно медленно.

Единица, деленная на H, дает 13,8 млрд лет — время, прошедшее с момента Большого взрыва. Эту цифру первым получил сам Хаббл (он ошибся меньше чем на процент, если сравнивать с современными данными).

Ошибка Хаббла состояла в том, что он считал число H постоянным с начала времен.

Большой взрыв

Постоянная Хаббла H

- Сферу вокруг Земли радиусом 13,8 млрд световых лет — скорость света, деленная на константу Хаббла, — называют хаббловской сферой.
- Галактики за ее границей должны «убегать» от нас со сверхсветовой скоростью.
- За хаббловской сферой видимая Вселенная не заканчивается, ее радиус примерно втрое больше.



Большой взрыв

Постоянная Хаббла H

Под руководством нобелевского лауреата по физике 2011 года Адама Рисса, одного из первооткрывателей ускоренного расширения Вселенной и темной энергии, используя данные космического телескопа «Хаббл», астрономы уточнили постоянную Хаббла и обнаружили, что Вселенная расширяется еще быстрее, чем считалось ранее.

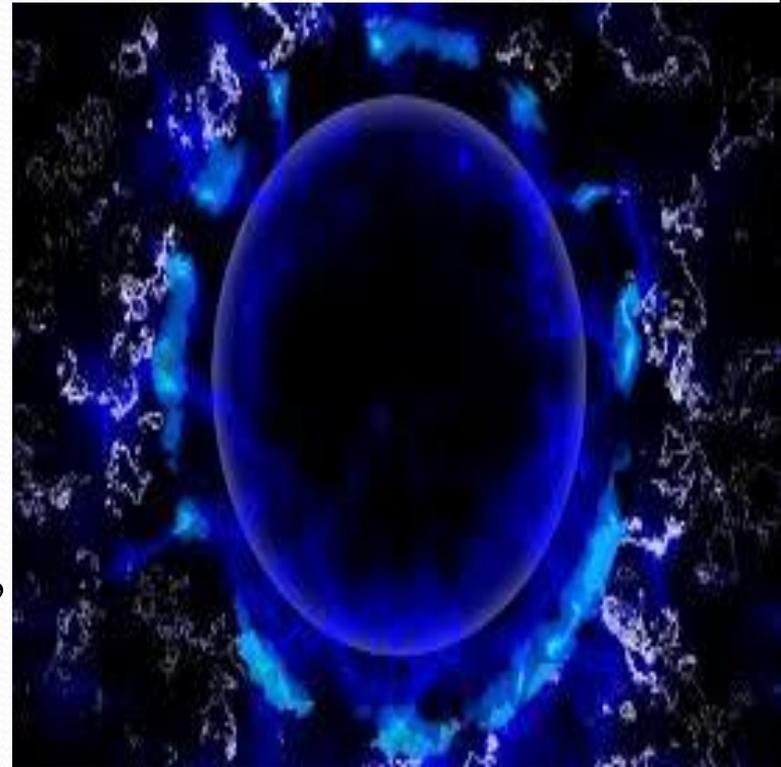
Точность определения постоянной Хаббла улучшена с 3,3% до 2,4 %, ее значение составляет 73,2 километров в секунду на мегапарсек (3,26 миллиона световых лет).

Это означает, что удаленные на один мегапарсек галактики будут удаляться друг от друга со скоростью 73,2 км/с, а расстояние между ними удвоится через 9,8 миллиардов лет.

Большой взрыв

Постоянная Хаббла H

- Однако полученная величина H на 5-9% выше, чем было рассчитано ранее, исходя из представлений о начальном этапе развития Вселенной после большого взрыва.
- Существует несколько возможных объяснений увеличенной скорости расширения Вселенной.
- Один из них заключается в том, что темная энергия расталкивает галактики друг от друга с большей, или даже растущей, силой.



Большой взрыв

Постоянная Хаббла H

- Другая идея состоит в том, что на ранней истории Вселенной она содержала «темное излучение» — новые субатомные частицы, движущиеся со скоростями близкими к скорости света. Дополнительная энергия, полученная от этих частиц, позволит объяснить полученный результат.
- Возможно, какими-то характеристиками обладает темная материя, основная составляющая Вселенной.



Гравитация

Планковская масса $M_p = 21,76... \text{ мкг}$

- **Открыл** немецкий физик Макс Планк, создатель квантовой механики, в 1899 году.
- Планковская масса — это всего-навсего одна из набора величин, предложенных Планком в качестве «системы мер и весов» для микромира.
- **Когда и как праздновать день M_p :** В день открытия Большого адронного коллайдера: микроскопические черные дыры собираются получать именно там.



Гравитация

Планковская масса M_P

- Планковская масса — величина минимальной массы чёрной дыры или максимально тяжелой элементарной частицы.
- В отличие от большинства других планковских величин, масса Планка близка к привычным для человека масштабам: так, блоха имеет массу от 4000 до 5000 M_P .
- Гипотетическая частица, масса которой равна планковской массе, называется *максимон*.
- Такие частицы могут обладать электрическим зарядом, а могут оставаться нейтральными. Внутренняя температура их может быть предельно большой, или же они могут оставаться холодными.

Гравитация

Планковская масса M_p

Планковская масса в 10^{19} раз тяжелее протона.

Важно: планковская энергия (которую можно получить, поместив планковскую массу в $E = mc^2$) – это масштаб, при котором квантово-гравитационные эффекты начинают приобретать важность и значимость.

Это значит, что при энергии такой величины наши нынешние законы физики должны нарушаться, в игру вступают эффекты квантовой гравитации, и предсказания общей теории относительности перестают быть надежными.

Гравитация

Планковская масса M_p

Для нашей Вселенной это не проблема. Эти энергетические масштабы в 10^{15} раз выше, чем те, которых может достичь Большой адронный коллайдер, и в 100 000 000 раз больше самых энергетических частиц, которые создает сама Вселенная (космические лучи высокой энергии), и даже в 10 000 раз выше показателей, которых достигла Вселенная сразу после Большого Взрыва.

Но если бы мы хотели исследовать эти пределы, есть одно место, где они могут быть важны: в сингулярностях, расположенных в центрах черных дыр.

В этих местах массы, значительно превосходящие планковскую массу, сжимаются в размер, теоретически меньший длины Планка.

Бесконечность

Число Грэхема G

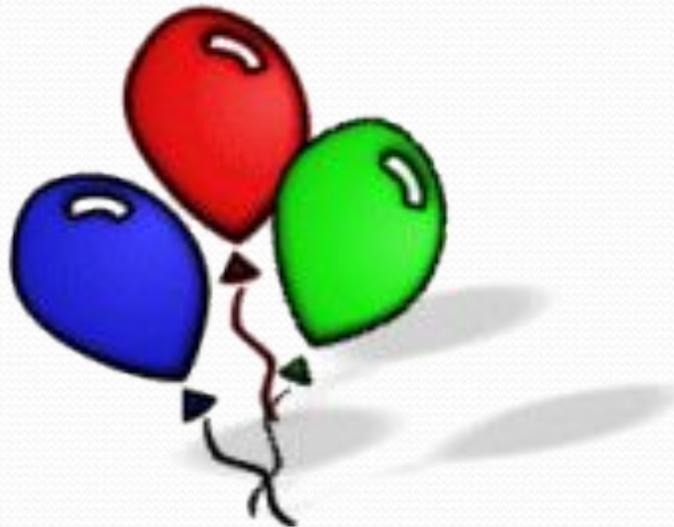
- **Открыли** Рональд Грэхем и Брюс Ротшильд в 1971 году.
- **Когда и как праздновать день G :**
Очень нескоро, зато очень долго.
- Константу Грэхема принято считать самым большим числом, когда-либо встречавшимся в научном доказательстве. Если попытаться полностью выписать G , используя привычные методы, то на бумагу не хватит всего вещества Вселенной.



Бесконечность

Число Грэхема G

- Ключевая для этой конструкции операция — стрелки Кнута. $3 \uparrow 3$ — это три в третьей степени.
- $3 \uparrow \uparrow 3$ — это три, возведенное в три, которое в свою очередь возведено в третью степень, то есть 3^{27} , или 7625597484987.
- Три стрелки — это уже число $3 \uparrow \uparrow 7625597484987$, где тройка в лестнице степенных показателей повторяется именно столько — 7625597484987 — раз. Это уже больше числа атомов во Вселенной: тех всего 3^{168} .
- А в формуле для числа Грэхема с такой же скоростью растет даже не сам результат, а количество стрелок на каждой стадии его подсчета.



***Спасибо за
внимание!***