

# Лекция № 1

## Вводная лекция

### **Предмет физики. Иерархическая структура устойчивого вещества. Фундаментальные взаимодействия. Важнейшие задачи физики**

Предмет физики. Связь физики с другими науками. Основные методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Физика и научно-техническая революция. Иерархия объектов в природе. Фундаментальные взаимодействия. Универсальный механизм взаимодействия частиц в природе. Важнейшие проблемы современной физики. Макрофизика: управляемый термоядерный синтез, высокотемпературная сверхпроводимость. Микрофизика: свободные кварки, монополю Дирака, создание единой теории поля. Нанотехнология. Астрофизика: проверка ОТО, нейтронные звезды, гравитационные волны, черные дыры. Стандартная модель. Бозон Хиггса. Суперколлайдеры: БАК, Тэватрон, ЭПК. Тайна Большого Взрыва. Темная материя и темная энергия. Лауреаты Нобелевской премии по физике (СССР, Россия).

### **Предмет физики. Связь физики с другими науками**

Физика – наука о природе (от греческого слова «фузик»). Современная физика рассматривается как наука, изучающая общие свойства материи (вещества и поля).

Материя – объективная реальность, данная нам в ощущениях, восприятиях, наблюдениях (В.И. Ленин). Материя вечна и неуничтожима и находится в непрерывном движении, переходя из одного вида в другой.

Вещество – форма материи, состоящая из частиц, имеющих собственную массу (массу покоя).

Поле – форма материи, обуславливающая взаимодействие частиц вещества.

Существуют две концепции передачи взаимодействий:

Концепция близкодействия (Декарта) – взаимодействия передаются от точки к точке с конечной скоростью, равной скорости света в вакууме.

Концепция дальнего действия (Ньютона) – взаимодействия передаются от точки к точке с бесконечной скоростью.

Современная физика принимает концепцию близкодействия.

Поле и вещество неразрывно связаны между собой. Деление условно:



Язык физики – математика.

Как говорил акад. Артоболевский – физика и математика – 1/2 инженера.

Физика – основа современного естествознания, тесно связана с другими науками, также техникой, философией.

На стыке физики и других наук возникли другие естественные науки:

- 1) химическая физика – изучение электронного строения атомов и молекул, химической кинетики;
- 2) астрофизика – физика Вселенной;
- 3) биофизика – физические и химические процессы в живых организмах;
- 4) геофизика – процессы и внутреннее строение Земли;
- 5) агрофизика – физические процессы в почве и растениях.

## **Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Физика и научно-техническая революция**

Физика – основа научно-технической революции (постиндустриального общества).

Основные достижения НТР (научно-технической революции) базируются в значительной степени на квантовой физике и теории относительности:

- 1) Ядерный реактор (1942 г. – Ферми), 1946 г. – Курчатов – основа атомной энергетики.
- 2) Транзистор (1948 г. – Бардин и Шокли) – современные средства передачи информации – микросхемы, компьютеризация.

Эра микроэлектроники была начата работами американского инженера Дж. Килби из фирмы «Texas instruments», создавшего в 1958 г. первую интегральную микросхему. В 2000 г. получил Нобелевскую премию по физике.

1962 г. – массовый выпуск микросхем.

1971 г. – фирма «Интел» создала интегральную схему для выполнения арифметических и логических операций – микропроцессор. Это повлекло грандиозный прорыв микроэлектроники в вычислительную технику.

Далее Интернет и персональный компьютер.

Отметим, что еще в 1952 году Г. У. Даммер, английский специалист в области радиолокации, выдвинул смелое предложение размещать всю схему целиком – транзисторы, резисторы и другие компоненты – в сплошном блоке полупроводникового материала. Но реализовать свою идею не смог.

Электронные лампы и транзисторы вытеснены, потребление электроэнергии уменьшилось в десятки тысяч раз.

3) Лазеры (1960 г. – Таунс, Басов и Прохоров) – качественно новые технологии в обработке материалов и медицине, системы связи, «звездные войны», управляемый «термояд».

4) Космические аппараты (Королев, Браун – 1957 г. – первый спутник, 1961 г. запуск первого космонавта, 1969 г. высадка космонавта на Луне – Нил Армстронг, 21.07.1969 г.) – освоение космоса. 30 лет как лунная программа закрыта. «Место занято». О. Браун: «есть более могущественные силы, чем наши». Июль 2008 г. – посадка марсохода «Феникс» вблизи Северного полюса Красной планеты. Если иметь в виду не саму ракету, а систему управления то квантовая физика играет главную роль.

После достижений СССР в этой области американцы изменили систему преподавания физики. Появились новые учебники: «Фейнмановские лекции по физике», написанные нобелевским лауреатом Р.Фейнманом, и Берклевский курс физики.

**Физика – важнейший компонент человеческой культуры. Планетарное мышление.**

### **Основные методы исследования физических явлений. Единицы физических величин**

1. Основной метод исследований в физике – **опыт (эксперимент)** – наблюдение исследуемых явлений в точно учитываемых условиях. Опыт позволяет следить за ходом явления и многократно его воспроизводить при повторении этих условий.
2. Гипотезы – для объяснения экспериментальных фактов. Гипотезы – научные предположения, выдвигаемые для объяснения какого-либо явления и требуют проверки на опыте и теоретического обоснования, чтобы стать достоверной физической теорией.
3. В результате обобщения экспериментальных фактов и их объяснения устанавливаются физические законы – устойчиво повторяющиеся объективные закономерности, существующие в природе. Законы, как правило, связывают характеристики процесса – физические величины, которые необходимо измерить.

4.В результате создается физическая теория – система основных идей, обобщающих опытные факты и гипотезы и отражающие объективные закономерности в природе.

В основе теории – система аксиом (постулатов)

Физические величины измеряются в определенных единицах.

**Основные единицы системы СИ.** Изложение курса ведется в единицах системы СИ. Основные единицы системы СИ: м, кг, с (механика), моль, кельвин (статистическая физика), ампер (электричество), кандела (оптика) и две дополнительных: радиан истерадиан.

**Механика.** Метр (м) – длина пути, проходимого светом в вакууме за  $1/299792458$  с.

Килограмм (кг) – масса, равная массе международного прототипа килограмма (платиновый цилиндр, хранящийся в Международном бюро мер и весов во Франции).

Секунда (с) – время, равное  $9\,192\,631\,770$  периодам излучения, соответствующим переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома  $\text{Cs}^{133}$  (цезия-133).

**Кельвин** (обозначение: **К**) — [единица измерения температуры в СИ](#), предложена в [1848 году](#). Один кельвин равен  $1/273,16$  [термодинамической температуры тройной точки воды](#). Начало шкалы (0 К) совпадает с [абсолютным нулём](#). Пересчёт в [градусы Цельсия](#):  $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$  (температура тройной точки воды —  $0,01^{\circ}\text{C}$ ).

**Моль** (обозначение: **моль**, международное: **mol**) — единица измерения [количества вещества](#). Соответствует количеству вещества, в котором содержится  $N_A$  частиц ([молекул](#), [атомов](#), [ионов](#), или любых других тождественных структурных частиц)<sup>[1]</sup>.  $N_A$  это [постоянная Авогадро](#), равная количеству атомов в  $12$  [граммах нуклида](#) углерода  $^{12}\text{C}$ . Таким образом, количество частиц в одном моле любого вещества постоянно и равно числу Авогадро  $N_A$ .

$$N_A = 6,02214179(30) \times 10^{23}.$$

1. **Ампером** называется сила тока, при которой через проводник проходит заряд  $1$  [Кл](#) за  $1$  [сек](#), или плотность тока при которой через  $1$  [м<sup>2</sup>](#) рассматриваемой поверхности проходит заряд  $1$  [Кл](#) за  $1$  [сек](#).

2. Ампером называется сила постоянного тока, текущего в каждом из двух параллельных бесконечно длинных бесконечно малого кругового сечения проводников в вакууме на расстоянии  $1$  [метр](#), и создающая силу взаимодействия между ними  $2 \times 10^{-7}$  [ньютонов](#) на каждый метр длины проводника.

**Кандела** ([сокр.](#): **cd**, **кд**; от [лат.](#) *candela* — свеча) — одна из семи основных единиц измерения [СИ](#), равна [силе света](#), испускаемого в заданном направлении источником монохроматического излучения частотой  $540 \times 10^{12}$  [герц](#), энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $(1/683)$  [Вт/ср](#). До 1970 г. называлась *свечой*.

Радиан – угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Телесный угол – часть пространства, ограниченная конической поверхностью. Стерадиан – телесный угол, вырезающий из сферы единичного радиуса поверхность площадью  $1$  [м<sup>2</sup>](#).

Производные единицы находятся с помощью законов, в которые они входят.

**Остановимся на анализе современной физики.** Теория относительности (СТО и ОТО) и квантовая механика – основа современной физики. Эти теории построены в первой половине XX века. Об этом в школе обычно рассказывают. Основные достижения –

XIX и первая половина XX века. Остановимся на достижениях второй половины XX века, о которых обычно не упоминают,

## Иерархия объектов в природе

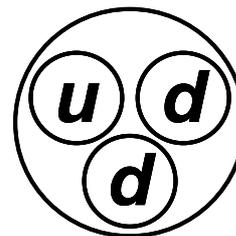
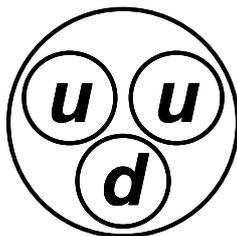
1) Несомненным достижением современной физики являются ясные представления о иерархической структуре **устойчивого** вещества от простейших фундаментальных частиц до Вселенной. Устойчивое вещество построено всего из трех фундаментальных частиц: двух кварков –  $u$ ,  $d$  и электрона  $e$ .

**Первая ступень иерархической структуры вещества – фундаментальные частицы:**



Название	$u$ -кварк	$d$ -кварк	электрон
Электрический заряд в единицах $ e $	$+2/3$	$-1/3$	$-1$

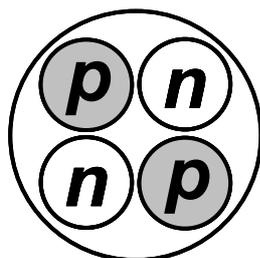
**Вторая ступень иерархической структуры вещества – частицы, состоящие из кварков, в частности, нуклоны:**



Название	$P = u u d$ – протон	$n = u d d$ – нейтрон
Электрический заряд в единицах $ e $	$+1$	$0$

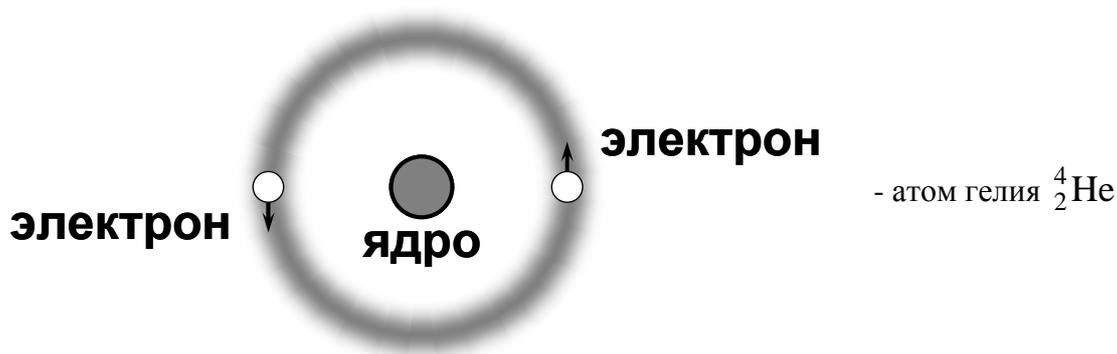
**Третья ступень иерархической структуры вещества – ядра, состоят из нуклонов – нейтронов и протонов (относятся к группе адронов – барионов).**

Примеры. Ядра: гелия  ${}^4_2\text{He}$ , углерода  ${}^{12}_6\text{C}$ , урана  ${}^{238}_{92}\text{U}$ . Обозначение ядра:  ${}^A_Z\text{X}$ . Верхний индекс  $A$  – число нуклонов, нижний индекс  $Z$  – число протонов,  $(A - Z)$  – число нейтронов.

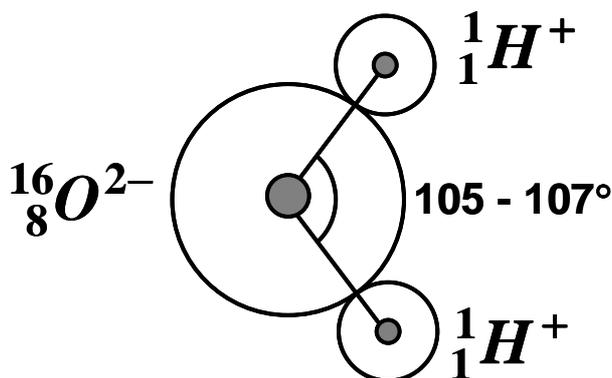


- ядро гелия  ${}^4_2\text{He}$ ,  $Z = 2$ ,  $A = 4$ ,  $A - Z = 2$

**Четвертая ступень иерархической структуры вещества – атомы. Состоят из ядер и электронов.**



**Пятая ступень иерархической структуры вещества – молекулы.** Состоят из атомов. Пример: молекула воды  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  и т. д.

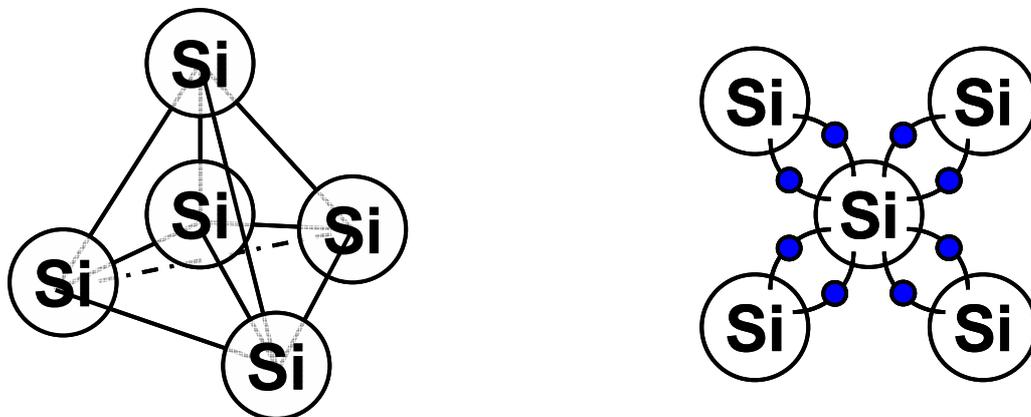


**Шестая ступень иерархической структуры вещества – газы.** Состоят из молекул, в том числе одноатомных. Пример: земная атмосфера, которой мы дышим. Состоит из молекул  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и других.

**Седьмая ступень иерархической структуры – конденсированные вещества.** К ним относятся жидкости и твердые тела, которые являются плотными упаковками молекул. Например, вода – плотная упаковка молекул  $\text{H}_2\text{O}$ . Медь – плотная упаковка одноатомных молекул или просто атомов  $\text{Cu}$ . Конденсированные вещества бывают двух главных типов – упорядоченные и неупорядоченные. Упорядоченные вещества называют кристаллами. Бывают жидкие и твердые кристаллы. В кристаллах ядра атомов и молекул расположены в строгом геометрическом порядке, который транслируется по всему объему. В неупорядоченных веществах такого дальнего порядка в расположении ядер атомов нет. Например, из молекул  $\text{SiO}_2$  – двуокиси кремния состоит кристалл кварца (упорядоченное вещество) и кварцевое стекло (неупорядоченное вещество). Вода – неупорядоченное жидкое вещество. Но есть жидкие кристаллы. Некоторые из них широко используют в жидкокристаллических экранах: мониторах компьютеров, телевизоров и т.д.

В качестве примера рассмотрим структуру кристалла кремния  $\text{Si}$ , который является абсолютным рекордсменом среди материалов по масштабам применения в

микрoэлектронике. Элементарная ячейка кристалла Si представляет собой тетраэдр, все четыре грани которого – правильные треугольники. В вершинах тетраэдра и в его центре расположено по одному атому Si. Таким образом, центральный атом имеет четыре ближайших соседа, с которыми устанавливает ковалентную химическую связь путем обмена электронами.



**Восьмая ступень иерархической структуры вещества – объекты астрофизики.** К ним относятся метеориты, астероиды, планеты (земля –  $3 \cdot 10^9$  лет) , звезды, галактики, скопления галактик, Вселенная (время существования  $\sim 13,7$  млрд. лет; время жизни Солнца  $\sim 10 \cdot 10^9$  лет, из палеонтологии известно, что жизнь на Земле возникла примерно  $3 \cdot 10^9$  лет тому назад, что составляет всего 30 % от времени жизни Солнца; цивилизация же возникла в Междуречье примерно  $10^4$  лет тому назад, что составляет ничтожную долю  $\sim (10^{-6})$  от времени существования Солнца).

Таковы восемь основных ступеней иерархической структуры вещества.

Примеры: человек – 2 м, Эверест – 10 км, радиус Земли 6400 км, радиус Солнца  $7 \cdot 10^8$  м, радиус галактики  $10^{21}$  м, радиус доступной Вселенной (Метагалактики)  $10^{26}$  м.

В устойчивой системе частицы связаны силами взаимодействия. Чтобы разрушить связанную систему материальных объектов необходимо затратить энергию против сил взаимодействия материальных объектов.

### **Фундаментальные взаимодействия. Универсальный механизм взаимодействия частиц в природе**

Все взаимодействия могут быть сведены к четырем фундаментальным, то есть все процессы и явления в природе осуществляются в результате четырех фундаментальных взаимодействий, основные характеристики которых представлены в таблице 1. Достижение физики XX века – установление обменного механизма фундаментальных взаимодействий.

**Таблица 2**

NN	<i>Тип взаимодействия</i>	<i>Механизм взаимодействия</i>	<i>Константа взаимодействия</i>	<i>Время жизни <math>\tau</math>, с</i>	<i>Радиус взаимод., м.</i>

1	Цветовое Сильное	Обмен глюонами Обмен $\pi$ -мезонами	10	$10^{-23}$	$10^{-15}$
2	Электромагнитное	Обмен фотонами	1/137	$10^{-16}$	$\infty$
3	Слабое	Обмен промежуточными векторными бозонами $W^\pm, Z^0$	$10^{-14}$	$10^{-8}$	$10^{-18}$
4	Гравитационное	Обмен гравитонами	$10^{-39}$	–	$\infty$

Одни частицы (фермионы) создают поле, другие (бозоны) являются переносчиками взаимодействий. При этом переносчики взаимодействий – виртуальные частицы, то есть частицы, которые не могут быть обнаружены за время их существования.  $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ . Энергия микрочастицы может быть определена с точностью, не превышающей  $\Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t}$ . Чтобы энергия была измерена точно, то есть  $\Delta E = 0$ , время измерения должно быть бесконечным:  $\Delta t = \infty$ . Точно измерить изменение энергии  $\Delta E$  за время  $\Delta t$  не можем, то есть закон сохранения энергии может быть проверен лишь с конечной точностью. Энергия замкнутой системы может измениться на величину  $\Delta E$  за время  $\tau \sim \hbar / \Delta E$  и это не противоречит закону сохранения энергии.

Согласно соотношению неопределенностей  $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ , испущенный, например, нуклоном виртуальный  $\pi$ -мезон с энергией  $m_\pi c^2$  ( $m_\pi c^2 = \Delta E$ ), если поблизости нет других частиц, может существовать только конечное время, не превышающее  $\Delta t = \hbar / (m_\pi c^2)$ . В течение этого временного интервала нарушение закона сохранения энергии на величину  $\Delta E = m_\pi c^2$  не может быть обнаружено.

Другой пример: в физическом вакууме может родиться виртуальная электрон-позитронная пара, но она существует лишь время  $\tau \sim \hbar / 2mc^2$ , а затем исчезнет (проаннигилируют частицы). По теории, виртуальные частицы рождаются только в момент взаимодействия, после чего либо распадаются, либо поглощаются др. элементарными частицами. В классической механике такой процесс запрещен.

Разделение взаимодействий на четыре типа связано с характерной величиной вероятности (интенсивности) процессов, которые вызываются этими взаимодействиями. Интенсивность взаимодействия определяется безразмерной константой взаимодействия, характеризующей силу взаимодействия частиц и полей и скорость процессов при кинетических энергиях сталкивающихся частиц  $\sim 1$  ГэВ, характерных для физики элементарных частиц. При других энергиях эти соотношения могут несколько измениться.

**1. Сильное (цветовое, адронное) взаимодействие** является короткодействующим и обуславливает ядерные силы притяжения, связывающие нуклоны в ядре. Сильное взаимодействие ранее отождествлялось с ядерным взаимодействием между нуклонами. Начиная с 70-х гг., доминирует концепция, что сильное взаимодействие – взаимодействие между кварками. Взаимодействие нуклонов отождествляется взаимодействием двух систем кварков, составляющих нуклоны.

**2. Электромагнитное взаимодействие** является далекодействующим и обуславливает силы притяжения и отталкивания между заряженными частицами, которые действуют в атомах и молекулах. Электромагнитное взаимодействие играет основную роль в окружающем нас макроскопическом мире: к электромагнитным взаимодействиям сходятся все силы в природе (кроме тяготения): упругие, вязкие, молекулярные, химические и т.д. Если сильное взаимодействие на расстоянии  $\geq 10^{-15}$  м исчезает, то электромагнитное взаимодействие является далекодействующим и характеризуется бесконечным радиусом взаимодействия.

**3. Слабое взаимодействие** является короткодействующим и ответственно за все виды  $\beta$ -распада частиц (включая  $K$ -захват) и все процессы взаимодействия нейтрино с веществом. Слабое взаимодействие определяет также безнейтринные процессы распада, характеризующиеся относительно большим временем жизни распадающейся частицы – порядка  $\sim 10^{-18}$  с и больше. К таким распадам относятся распады каонов и гиперонов. Поэтому слабое взаимодействие иногда называют «распадным». В отличие от гравитационного взаимодействия, которое изменяет состояние движения частиц, слабое взаимодействие изменяет внутреннюю структуру частиц. Слабым взаимодействиям подвержены все частицы кроме фотонов. Большая масса промежуточных бозонов ( $m = 80$  ГэВ) обуславливает очень малый радиус их переброски ( $\leq 10^{-18}$  м). Слабые взаимодействия наименее исследованы. Например, до сих пор неизвестно могут ли они иметь характер сил притяжения и, следовательно, удерживать частицы вместе.

Интересной иллюстрацией указанных фундаментальных взаимодействий может служить радиоактивный распад атомного ядра:

**$\alpha$ -распад – проявление сильного взаимодействия.**

**$\beta$ -распад – проявление слабого взаимодействия.**

**$\gamma$ -излучение – проявление электромагнитного взаимодействия**

В настоящее время электромагнитное и слабое взаимодействия рассматриваются как различные проявления единого электрослабого взаимодействия, подобно тому как электрическое и магнитное поля объединены в единое электромагнитное поле. Слабые силы на малых расстояниях (порядка радиуса их действия) одного порядка с электромагнитными. Но они очень быстро (по экспоненте) убывают с расстоянием, так что на больших расстояниях оказываются много меньше электромагнитных.

**4. Гравитационное взаимодействие** универсально, действует между всеми элементарными частицами и является дальнодействующим. Однако, в процессах микромира вследствие его малости оно не играет существенной роли и не принимается во внимание. Гравитоны – кванты гравитационного поля – безмассовые фундаментальные частицы, образно говоря, существуют только в уравнениях теоретической физики, так как из-за исключительной слабости гравитационного взаимодействия экспериментальное наблюдение гравитонов превосходит возможности современной экспериментальной физики. Здесь заметим, что гравитационные волны, идущие из центра Галактики, фиксировались американским физиком Вебером (1969 – 1970 г.г.), но опыты других групп физиков даже на более чувствительных установках не подтвердили этот результат и поэтому результаты Вебера не приняты современной физикой.

### **Важнейшие проблемы современной физики (по В.Л. Гинзбургу), требующие своего решения**

**Макрофизика – область действия законов классической физики.**

Деление на микро- и макрофизику да и астрофизику в определенной степени условно.

#### **1. Управляемый термоядерный синтез.**

Типовая реакция:  ${}^2_1d + {}^2_1d \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0n + 3,27 \text{ МэВ}$ .

Пока не достигнут выход термоядерной реакции, превышающей внутреннюю энергию плазмы (затраты на нагрев плазмы). Необходимое условие: выполнение критерия Лоусона

$$n\tau > 10^{14} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с при } T = 10^8 \text{ К.}$$

Токамаки ( $T = 15$ , тороидальная камера с магнитными катушками), ТФТР (TETR), ДЖЕТ (JET).

Проблемы: стойкость первой стенки реактора, проблема нагрева плазмы.

Исследовательский экспериментальный термоядерный реактор – ИТЭР 2015 г. (Интернациональный **Термоядерный Экспериментальный Реактор**), после которого ожидаются эксперименты в течение 20 лет. Затем проект будет закрыт.

Коммерческий термоядерный реактор – 2020 г. – 2040 г. Запасы дейтерия практически безграничны (на каждые 7000 атомов водорода в обычной воде приходится атом дейтерия). ДТ-энергетика, по оценкам экспертов, будет безопасней примерно на два порядка энергетике деления урана.

## **2. Высокотемпературная сверхпроводимость.**

В настоящее время подразделяют на низкотемпературные (НТСП) и высокотемпературные (ВТСП). Для первых значения  $T_{кр}$  имеет порядок  $1 \div 10$  К, вторые – несколько десятков кельвин. Наиболее высокая у купрата  $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+x}$ . У него  $T_{кр}$  – 135 К при нормальных условиях, при всестороннем сжатии – 164 К (заметно выше температуры кипения жидкого азота, равной 77 К. Широко используются, например, в БАКе (~ 1,9 К).

В 86-87 гг. бум вокруг сверхпроводимости достиг фантастических размеров. Газеты трубили: наступает новая эра. Ежегодные инвестиции: в США, Японии и СССР составили 270, 220 и 100 млн. долларов соответственно; в девяностые годы в СССР инвестиции снизились в сто раз.

## **3. Нанотехнология.**

Нанотехнология может изменить лицо цивилизации. Элементы нанотехнологии – объекты, хотя бы один размер которого измеряется в нанометрах. Размер превышает атомный.

Подавляющее большинство явлений на наномасштабах исходит из волновых свойств частиц, поведение которых подчиняется законам квантовой механики. Перспективы – создание совершенно новых квантовых устройств, в частности, квантовых компьютеров. Реализация заветной мечты – одноэлектронные устройства. Пока лучшие электронные устройства затрачивают сотни и тысячи электронов на одну операцию. Преимущества – быстроедействие порядка терагерц –  $10^{12}$  операций в секунду, энергосберегаемость.

**4. Квантовый компьютер. Ансамбль связанных между собой квантовых битов или кубитов, каждый из которых представляет собой набор атомов.**

## **Микрофизика – область действия квантовых законов.**

1. Свободные кварки.
2. Монополю Дирака.
3. Создание единой теории поля, объединяющего все четыре фундаментальных взаимодействия. Есть теория электромагнитного поля Максвелла, есть теория электрослабого взаимодействия, объединяющего слабое и электромагнитное взаимодействия (Бардин, Глэшоу, Вайнберг). Сразу заметим, что все взаимодействия сливаются в одно при  $10^{16}$  ГэВ, а сейчас достижима энергия  $10^3 - 10^4$  ГэВ. С ней тесно связана самая главная проблема современной физики.

## **Астрофизика. Тайна «Большого Взрыва»**

### **1. Проверка ОТО.**

### **2. Гравитационные волны.**

**3. Нейтронные звезды, черные дыры, пульсары, квазары** – образование в центре Галактики сравнительно небольшого по размерам, но гигантского по массе ядра.

### **4. Поиски бозона Хиггса.**

Как ни странно, но астрофизика и физика элементарных частиц оказываются неразделимыми. Определяющей в физике элементарных частиц является

**Стандартная модель физики элементарных частиц** — теоретическая конструкция в [физике элементарных частиц](#), описывающая [электромагнитное](#), [слабое](#) и [сильное взаимодействие](#) всех [элементарных частиц](#). В ее основе лежит математическая функция,

называемая лангражианом, которая показывает как взаимодействуют частицы. По правилам квантовой теории, физики с помощью лангражиана могут описать поведение элементарных частиц и, в частности, описать, как они образуют протоны и нейтроны. Функция Лагранжа вместе с вторым законом Ньютона позволяет рассчитать массу частиц. Все эксперименты в области физики элементарных частиц либо подтверждали теоретические предсказания СМ, либо новые экспериментальные знания требовали косметических изменений в [лагранжиане](#) СМ. Стандартная модель не включает в себя [гравитацию](#).

В Стандартной модели — единственной на сегодня теории, которая хорошо описывает мир элементарных частиц, — до сих пор не проверено на опыте одно очень важное явление — хиггсовский механизм нарушения электрослабой симметрии. Иначе: почему частицы обладают массой и почему у разных частиц она разная. Это позволит и решить проблему темной материи (25 %).

В 1983 г. были сенсационно открыты предсказанные Стандартной моделью физики элементарных частиц  $W^\pm$  (80 ГэВ)-бозоны и  $Z^0$ - бозон (90 ГэВ). Без механизма Хиггса они были бы безмассовыми. Была поставлена задача найти  $t$ -кварк и бозон Хиггса.

Были спроектированы:

1. Ускорительно-накопительный комплекс (УНК) в Протвино с энергией сталкивающихся протонов 3 ТэВ;
- 2) Суперколлайдер SSC под Далласом с энергией протонов 20 ТэВ;
- 3) Большой электрон-позитронный коллайдер LEP в ЦЕРНе (Европейская организация по ядерным исследованиям) с энергией пучков до 114 ГэВ;
- 4) Большой адронный коллайдер LHC в ЦЕРНе с энергией протонных пучков 7 ТэВ.

Из них (первые два не были профинансированы и от них остались одни туннели) БАК, призванный проникнуть в самые глубины строения вещества, введен в действие 10 сентября 2008 г. Большой адронный коллайдер – самый мощный в истории ускоритель элементарных частиц, созданный ЦЕРНом при участии физиков из 80-и стран, в том числе России, и расположенный на границе Швейцарии и Франции. В его 27-километровом кольце с помощью 120 мощных электромагнитов при температуре, близкой к абсолютному нулю -  $\sim 1,9$  К, предполагается разогнать до близкой к световой скорости (99,9 процента) встречные пучки протонов (7 ТэВ) и ядра свинца, разогнанные до почти световой скорости. Состоит из линейного ускорителя, протонного ускорителя на 28 ГэВ, протонного синхрофазотрона на 450 ГэВ, затем попадают в 27-км кольцо и ускоряются в сумме до 14 ТэВ. *Стоимость: 6 млрд. долл.*

До БАКа в туннеле размещался Большой Электрон-Позитронный Коллайдер, ЭПК, имевший энергию 104 ГэВ на пучок против 14 ТэВ у современного БАК. *Были зафиксированы три события-кандидата на роль «частицы Бога».*

До этих ускорителей был в 1983 г. построен

**Теватрон** ([англ. Tevatron](#)) — кольцевой ускоритель-[коллайдер](#), расположенный в [национальной ускорительной лаборатории им. Энрико Ферми](#) в городке Батавия штата [Иллинойс](#), недалеко от [Чикаго](#). Теватрон — [синхротрон](#), ускоряющий заряженные частицы — [протоны](#) и [антипротоны](#) в подземном кольце длиной 6,3 км до энергии 980 [ГэВ](#) ( $\sim 1$  [ТэВ](#)), отсюда машина получила свое имя — Теватрон<sup>[1]</sup>. Строительство Теватрона было закончено в [1983 году](#). Основное достижение – [1995](#) коллаборации [CDF](#) и [D0](#) объявили об открытии последнего кварка, предсказанного в Стандартной Модели —  [\$t\$ -кварка](#) (170 ГэВ), в 2007 году точность измерения его массы достигла 1 %. 200 млн. долл. *Был ограничен диапазон энергий нахождения бозона Хиггса.*

**Бозон Хиггса.** Предполагается, что бозон Хиггса сыграл основную роль в механизме, посредством которого некоторые частицы (кварки, лептоны) во время Большого взрыва

приобрели массу, а другие остались безмассовыми (фотоны). Существует строгое математическое доказательство, что в рамках Стандартной модели бозон Хиггса обязателен. Шотландский профессор Питер Хиггс в 1964 году предложил гипотезу о существовании бозона, изящно решив одну из сложнейших задач в так называемой "стандартной модели" теоретической физики. Помимо полей, "отвечающих" за тройку фундаментальных взаимодействий (электромагнитное, сильное и слабое), в Стандартной модели предполагается наличие еще одного квантового скалярного поля, которое неотделимо от пустого пространства, не совпадает с гравитационным и называется полем Хиггса, присутствующим всюду во Вселенной. Считается, что все фундаментальные частицы приобретают массу в результате взаимодействия с этим вездесущим полем (тяжелые частицы взаимодействуют с полем Хиггса сильнее, легкие – слабее). Полю Хиггса должна соответствовать по крайней мере одна частица – посредник, собственно, бозон Хиггса. Сам **бозон Хиггса** может существовать везде, во всем пространстве и не материализоваться нигде.

Иногда объясняют так. Хиггс выдвинул гипотезу, что Вселенная пронизана незримым полем (физический вакуум наполнен скалярными полями Хиггса), состоящим из бозонов – частиц, с помощью которых частицы обретают массу. Когда элементарные частицы движутся сквозь это поле, бозоны фактически "прилипают" к некоторым из них, увеличивая их массу, а другим позволяют лететь, не обременяя их. Например, фотоны – частицы света, не имеющие массы, – не испытывают на себе влияния поля Хиггса. Другими словами, те частицы, которые сильно взаимодействуют с полем Хиггса, являются тяжелыми, а слабо взаимодействующие – легкими.

Теоретики утверждают, что обнаружение этой частицы поможет получить ответы на многие вопросы. Например: что именно произошло во время Большого взрыва? Как во Вселенной появился свет? И почему у материи есть масса?

Масса бозона Хиггса лежит в пределах: от 135 до 251 ГэВ.

Напомним массы самых тяжелых из известных частиц: *b*-кварк — 5 ГэВ, *W*-бозон — 80 ГэВ, *Z*-бозон — 91 ГэВ, *t*-кварк — 170 ГэВ.

Поэтому для обнаружения бозона Хиггса нужны высокие энергии и такие мощные ускорители, так как только часть энергии идет на образование новых частиц.

**Центральная задача.** Проверка этого механизма — одна из [центральных задач БАК и физики элементарных частиц](#). Эту задачу можно разбить на три этапа:

- 1) найти частицу, похожую на хиггсовский бозон,
- 2) проверить, что эта частица обладает свойствами, которые ожидаются от хиггсовского бозона,
- 3) выяснить, какой из вариантов хиггсовского механизма согласуется с экспериментальными данными.

Бозон Хиггса нестабилен, поэтому его ищут будут по продуктам распада.

Показано, что

Легкий бозон: от 135 до 200 ГэВ → распадается на пары *W*-бозонов

Тяжелый бозон: от 200 ГэВ и выше на пары *Z*-бозонов, а те на электроны и четыре мюона. Мюоны были зарегистрированы. Нужно разобраться.

Это значит, что хиггсовский бозон с массой, например, 120 ГэВ, будет преимущественно распадаться на пары  $b$ -анти- $b$ , бозон с массой 250 ГэВ будет в основном распадаться на  $WW$ - и на  $ZZ$ -пары, более тяжелый бозон будет распадаться на  $WW$ -,  $ZZ$ - и  $t$ -анти- $t$ -пары.

Близко подходили на Тэватроне, а также четыре мюона.

**5. Разгадка тайны «Большого взрыва» тесно связана с бозоном Хиггса.** Вначале – сингулярность ( $D \rightarrow \infty$ ). К моменту ( $10^{-43}$  с) Вселенная же, согласно теории Фридмана и теории горячей Вселенной, представляла собой крохотный раскаленный шарик диаметром  $d = 10^{-35}$  м, температурой  $T = 10^{32}$  К (соответствует энергии  $10^{19}$  ГэВ) и плотностью  $D = 10^{90}$  кг/м<sup>3</sup>. Для сравнения размеры ядра атома  $10^{-15}$  м, а плотность  $10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>. Все фундаментальные взаимодействия были объединены, распались потом.

В настоящее время радиус Вселенной  $\sim 10^{26}$  м ( $ct = 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{10} \cdot 365 \cdot 86400 = 3 \cdot 10^{25}$  м или  $10^{10}$  световых лет) и масса  $10^{53}$  кг.

1. Открыта Вселенная или замкнута?
2. Как появилась Вселенная?
3. Что было до Большого Взрыва?

Европейские ученые смоделировали в миниатюре Большой взрыв, в результате которого возникла наша Вселенная. Чтобы воспроизвести условия, которые существовали буквально через несколько мгновений после взрыва, в Большой адронный коллайдер запустили ионы свинца. Получена кварк-глюонная плазма. (8.11. 1910 г.)

[Эксперименты](#) с ионами свинца будут продолжаться целый месяц. Это совершенно новое направление в работе с коллайдером. Прежде в ускорителе частиц сталкивали только пучки протонов, передает НТВ.

Поля Хиггса тесно связаны с такими астрофизическими наблюдениями как темная материя и темная энергия (или, на языке теоретиков, с космологической постоянной).

## 6. Темная материя (скрытая масса) и темная энергия

**Темная материя (скрытая масса).** Примерно 4 % – 5 % – это обычное вещество. Еще 23 % приходится на **темную материю (скрытая масса)**. Первое слово в термине «темная энергия» указывает на то, что эта форма материи не испускает никакого электромагнитного излучения и не отражает, естественно, свет. С обычным веществом оно взаимодействует только через гравитацию. Присутствие темной материи обнаруживается по ее гравитационному воздействию на движение звезд и галактик. К таким видам материи на сегодняшний день относят элементарные частицы, которые называются – [нейтрино](#) (реликтовые). Эти частицы участвуют лишь в слабом и гравитационном взаимодействиях и обнаружить их чрезвычайно тяжело. Согласно последним наблюдениям, в число объектов составляющих скрытую массу входят также остывшие [белые карлики](#), [нейтронные звезды](#), межгалактический газ, возможно [черные дыры](#). Однако, по оценкам теоретиков, и этих объектов существенно недостаточно. Другими словами, темная материя состоит из новых не открытых в природе частиц. Физическая природа невидимого вещества пока не установлена.

Тем не менее достаточно точно установлено, что ее физическим носителем являются некие слабовзаимодействующие частицы. Известны даже некоторые свойства этих частиц, например, что у них есть масса, а движутся они много медленнее света. Но они еще никогда не регистрировались искусственными детекторами. Частицы должны быть массивными, потому что под действием сил тяготения они образуют сгустки размером с галактикой.

Кандидаты: **суперпартнёры**. **Нейтраліно** — одна из гипотетических частиц, предсказываемых теориями, включающими [суперсимметрию](#).

Так как суперпартнёры [Z-бозона](#), [фотона](#) и [бозона Хиггса](#) (соответственно: зино, фотино и хиггсино) имеют одинаковые [квантовые числа](#), они смешиваются, образуя собственные состояния массового оператора, называемые нейтраліно. Свойства нейтраліно зависят от того, какая из составляющих (зино, фотино, хиггсино) доминирует.

Легчайшее нейтраліно стабильно, если оно легче [гравитино](#), а [R-чётность](#) сохраняется. Нейтраліно участвует только в слабом и гравитационном взаимодействиях. Если нейтраліно является стабильной или долгоживущей частицей, то при рождении в ускорительных экспериментах оно будет ускользать от детекторов частиц; однако большие потери энергии и импульса в событии такого рода могут служить экспериментальным проявлением рождения этой частицы. Стабильные реликтовые нейтраліно могут быть обнаружены по рассеянию на ядрах в неускорительных экспериментах по поиску частиц тёмной материи.

Легчайшее нейтраліно массой 30-5000 ГэВ является основным кандидатом в составляющие [холодной тёмной материи](#) из слабодействующих массивных частиц ([вимпов](#)).

Впервые к существованию скрытой массы пришел астроном Фриц Шввикки в 1937 году. Он проводил наблюдения за вращением скопления [Галактик](#). Как известно, из законов гравитации, скорость вращения галактических объектов и скоплений Галактик зависит от расстояния до центра масс и распределения массы внутри. Сопоставив известные формулы и астрономические наблюдения, был получен парадоксальный результат. Массы Галактик намного больше чем мы видим.

**Темная материя.** Вопрос о природе темной энергии еще туманнее. Но этот тип энергии, который не взаимодействует ни с веществом, ни с излучением и проявляет себя исключительно гравитационно можно было бы и не узнать, если бы не последние достижения космологии.

На так называемую **темную энергию** приходится оставшиеся 73 % состава [Вселенной](#) Дело в том, что согласно измерениям, наша Вселенная расширяется ускоренно, то есть имеет место нарушение закона Хаббла. Ускорение расширения Вселенной – главный признак темной энергии. Такое ускоренное расширение Вселенной объясняется лямбда-членом – специальным параметром уравнений гравитации. Физически интерпретировать этот параметр можно как некую форма энергии, какое то скалярное поле, имеющее отрицательное давление и равномерно заполняющее всё пространство Вселенной. Иногда понятие темной энергии включают в понятие скрытой массы, трудно сказать правильно это или нет.

Один из кандидатов на роль темной энергии — физический вакуум. Под физическим вакуумом в современной физике понимают полностью лишённое [вещества](#) пространство. Даже если бы удалось получить это состояние на практике, оно не было бы [абсолютной пустотой](#). [Квантовая теория поля](#) утверждает, что, в согласии с [принципом неопределённости](#), в физическом вакууме постоянно рождаются и исчезают [виртуальные частицы](#): происходят так называемые [нулевые колебания](#) полей. Плотность энергии вакуума не изменяется при расширении Вселенной, а это и означает отрицательное давление вакуума<sup>7</sup>. Но идея приписать темную энергию вакууму не принимается, в первую очередь, исследователями,

работающими на стыке физики элементарных частиц и радиоизлучением. Причина в том, что такой разновидности вакуума должна соответствовать энергия частиц всего около тысячной доли электронвольта. Но этот энергетический диапазон, лежащий на границе между инфракрасным и радиоизлучением, уже, как говорится, вдоль и поперек изучен физиками и ничего аномального там не обнаружено.

Поэтому исследователи склоняются к тому, что темная энергия – это проявление нового и пока не обнаруженного в лабораторных условиях сверхслабого поля, пронизывающего всю Вселенную; для него употребляют термин «квинтэссенция». Эта идея аналогична той, что лежит в основе современной инфляционной космологии. Там тоже сверхбыстрое расширение Вселенной происходит под действием так называемого скалярного поля, только его плотность энергии выше той, что ответственна за нынешнее неспешное расширение Вселенной. Можно предположить, что поле, являющееся носителем темной энергии, осталось как реликт Большого взрыва и долгое время находилось в состоянии «спячки», пока длилось доминирование сначала излучения, а потом темной материи.

Есть и другие кандидаты, но в любом случае темная энергия представляет собой что-то совершенно необычное.

Другой путь объяснения ускоренного расширения Вселенной состоит в том, чтобы предположить, что сами законы гравитации видоизменяются на космологических расстояниях и космологических временах. Такая гипотеза далеко не безобидна: попытки обобщения общей теории относительности в этом направлении сталкиваются с серьезными трудностями.

По-видимому, если такое обобщение вообще возможно, то оно будет связано с представлением о существовании дополнительных размерностей пространства, помимо тех трех измерений, которые мы воспринимаем в повседневном опыте.

К сожалению, сейчас не видно путей прямого экспериментального исследования темной энергии в земных условиях. Это, конечно, не означает, что в будущем не может появиться новых блестящих идей в этом направлении, но сегодня надежды на прояснение природы темной энергии (или, более широко, причины ускоренного расширения Вселенной) связаны исключительно с астрономическими наблюдениями и с получением новых, более точных космологических данных. Нам предстоит узнать в деталях, как именно расширялась Вселенная на относительно позднем этапе её эволюции, и это, надо надеяться, позволит сделать выбор между различными гипотезами.

Итак, темная энергия – важнейшее свидетельство существования явлений, которые не описываются современной физикой.

---

## Лауреаты Нобелевской премии по физике (СССР, Россия)

Престижная [награда](#) за научные достижения в области [физики](#). Премия присуждается Нобелевским комитетом ежегодно, [10 декабря](#) в [Стокгольме](#), в день смерти [Альфреда Нобеля](#).

Всего 190 ученых за 110 лет

1. [Павел Алексеевич Черенков](#)

1958. «За открытие и истолкование [эффекта Вавилова — Черенкова](#)».

2. [Илья Михайлович](#)

[Франк](#)

3. [Игорь Евгеньевич Тамм](#)

4. [Лев Давидович Ландау](#) 1962. «За пионерские теории [конденсированных сред](#), в особенности [жидкого гелия](#)».

5. [Николай Геннадиевич Басов](#) (1/4 премии)

6. [Александр Михайлович Прохоров](#) (1/4 премии) 1964. «За фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию [излучателей](#) и [усилителей](#) на [лазерно-мазерном](#) принципе».

7. [Пётр Леонидович Капица](#) (1/2 премии)

1977. «За его базовые исследования и открытия в [физике низких температур](#)».

8. [Алексей Алексеевич Абрикосов](#)

9. [Виталий Лазаревич Гинзбург](#)

2003. «За создание теории [сверхпроводимости](#) второго рода и теории [сверхтекучести](#) жидкого [гелия-3](#)».

10. [Жорес Иванович Алфёров](#) (1/4 премии)

1999. «За разработки в [полупроводниковой](#) технике».

11. [Андрей Гейм](#) (1/2 премии)

12. [Константин Новосёлов](#) 2010. «За новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала [графена](#)»[1].

(1/2 премии)

Подводя итоги, еще раз отметим, основу современной физики составляет квантовая физика – самая фундаментальная теория XX в. и теория относительности, в первую, очередь специальная теория относительности. Понятно, что в практической деятельности выпускники технических вузов используют классическую физику.

## Приложение.

**Квантовый компьютер – голубая мечта человечества. Если его когда-нибудь построят, то по сравнению с ним сегодняшние суперкомпьютеры покажутся обыкновенными счетами. Несмотря на то, что за последние двадцать лет в понимании того, как он работает и как его можно сделать, он по-прежнему остается недостижимой целью. Однако, похоже, сегодня одно из важнейших препятствий, стоящих перед создателями квантового компьютера, удалось преодолеть.**

---

Говоря совсем уже упрощенно, квантовый компьютер – это ансамбль связанных (переплетенных) между собой квантовых битов или кубитов, каждый из которых представляет собой набор атомов или элементарных частиц наподобие электронов. Если поменять квантовое состояние одного из них (например, изменить спин), то поменяются и квантовые состояния остальных – так, чтобы общее квантовое состояние осталось прежним. Изменение состояния одного кубита можно сравнить со вводом данных, а реакцию остальных кубитов – выдачей результата вычислений. Утверждают, что когда квантовый компьютер наконец создадут, он коренным образом изменит наши представления не только о компьютере, но даже и о самой математике

**Квантовый компьютер** — вычислительное устройство, работающее на основе квантовой механики. Квантовый компьютер принципиально отличается от классических компьютеров, работающих на основе классической механики. Полномасштабный квантовый компьютер является пока гипотетическим устройством, сама возможность построения которого связано с серьезным развитием квантовой теории в области многих частиц и сложных экспериментов; эта работа лежит на переднем крае современной физики. Ограниченные (до 10 кубит) квантовые компьютеры уже построены; элементы квантовых компьютеров могут применяться для повышения эффективности вычислений уже на существующей приборной базе.

Идея построения квантового компьютера принадлежит Р. Фейнману (она также высказывалась в менее определенной форме Ю.Маниным и П.Бениофом). Необходимость в квантовом компьютере возникает тогда, когда мы пытаемся исследовать методами физики сложные многочастичные системы, подобные биологическим. Пространство квантовых состояний таких систем растет как экспонента от числа  $n$  составляющих их реальных частиц, что делает невозможным моделирование их поведения на классических компьютерах уже для  $n = 10$ . Поэтому Фейнман и предложил построение квантового компьютера.

Квантовый компьютер использует для вычисления не обычные (классические) алгоритмы, а процессы квантовой природы, так называемые квантовые алгоритмы, использующие квантовомеханические эффекты, такие как квантовый параллелизм и квантовая запутанность.

Если классический процессор в каждый момент может находиться ровно в одном из состояний  $|0\rangle, |1\rangle, \dots, |N-1\rangle$ , (обозначения Дирака) то квантовый процессор в каждый момент находится одновременно во всех этих базисных состояниях, при этом в каждом состоянии  $|j\rangle$  со своей комплексной амплитудой  $\lambda_j$ . Это квантовое состояние называется «квантовой суперпозицией» данных классических состояний и обозначается как

$$|\Psi\rangle = \sum_{j=0}^{N-1} \lambda_j |j\rangle.$$

Базисные состояния могут иметь и более сложный вид. Тогда квантовую суперпозицию можно проиллюстрировать, например, так: «Вообразите атом, который мог бы подвергнуться радиоактивному распаду в определённый промежуток времени. Или не мог бы. Мы можем ожидать, что у этого атома есть только два возможных состояния: «распад» и «не распад», /.../ но в квантовой механике у атома может быть некое объединённое состояние — «распада — не распада», то есть ни то, ни другое, а как бы между. Вот это состояние и называется «суперпозицией»<sup>[1]</sup>.