

# Многообразиe и единство мира

# Структурная иерархия материального мира

Объект (структура)	Тип взаимодействия
<b>МЕГАМИР</b>	
Метагалактика	гравитационное
Ячеистая структура (воиды, стены, сверхскопления галактик)	гравитационное
Скопления и группы галактик	гравитационное
Галактики, квазары и ядра галактик	гравитационное
Звездные скопления в галактиках	гравитационное
Звезды, планетные системы	гравитационное
Космические тела (планеты, кометы, астероиды)	гравитационное

<b>МАКРОМИР</b>	
<b>Макроскопические тела (в т.ч. человек)</b>	<b>эл.-магн.</b>
<b>МИКРОМИР</b>	
<b>Микроскопические тела (ядро, ген, рибосома, ДНК, РНК, магнитный домен и т.п.)</b>	<b>эл.-магн.</b>
<b>Молекулы</b>	<b>эл.-магн.</b>
<b>Атомы</b>	<b>эл.-магн.</b>
<b>Ядра и элементарные частицы</b>	<b>сильное, эл.-слабое</b>
<b>Кварки, лептоны; частицы-переносчики взаимодей.</b>	<b>сильное, эл.-слабое</b>
<b>Физический вакуум</b>	

# Элементарные частицы

Это первичные, неделимые частицы, из которых состоит вся материя.

XIX-XX вв – молекулы и атомы

30-е гг. XX в. – протон, нейтрон, электрон и фотон.

Современный каталог эл-х частиц содержит более 300 наименований

- В ядерной физике под термином «элементарные частицы» понимается общее название для всех субатомных частиц, отличных от атомов и атомных ядер.

Они обладают способностью к рождению и взаимопревращению.

Например распад нейтрона:



т.е. нейтрон превращается в протон, электрон и нейтрино.

Продукты распада нейтрона возникают только в самом этом процессе!

До распада их не было совсем и они не входили в состав нейтрона!

// Открытие **нейтрино** — частицы, почти не взаимодействующей с веществом, ведёт своё начало от теоретической догадки В. Паули (1930), позволившей за счёт предположения о рождении такой частицы устранить трудности с законом сохранения энергии в процессах бета-распада радиоактивных ядер. Экспериментально существование нейтрино было подтверждено лишь в 1953 (Ф. Райнес и К Коуэн, США). //

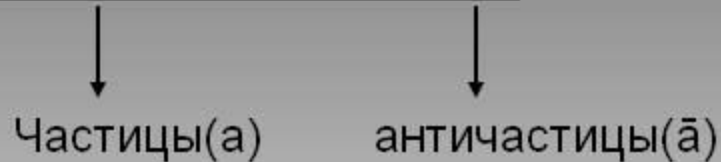
- Все элементарные частицы являются объектами исключительно малых масс и размеров. У большинства из них массы имеют порядок величины массы протона, равной  $1,6 \times 10^{-24}$  г (заметно меньше лишь масса электрона:  $9 \times 10^{-28}$  г).
- Определённые из опыта размеры протона, нейтрона, р-мезона по порядку величины равны  $10^{-13}$  см.
- Размеры электрона и мюона определить не удалось, известно лишь, что они меньше  $10^{-15}$  см.



# Характеристики частиц

- Масса частиц – от 0 (фотон) до 90 ГэВ (Z-бозон);
- Время жизни -  $\tau$ , В зависимости от  $\tau$  делятся на стабильные (электрон, протон) и нестабильные ( $\pi$ -мезон);
- Спин – может принимать значения равное 0, полуцелое и целое значение;
- Электрический заряд – является величиной кратной заряду электрона;
- Внутренняя чётность – характеризует свойство симметрии волновой функции;
- «Аромат» и «цвет» – для описания 6-ти типов кварков.

# Элементарные частицы существуют в $2^x$ разновидностях



Античастицы ( $\bar{a}$ ) – элементарная частица имеющая (по отношению к  $a$ ) равную массу покоя, одинаковый спин, время жизни и противоположный заряд.

Первая античастица обнаружена в 1932г. Американским физиком К. Андерсоном в космическом излучении.

Основой классификации элементарных частиц является деление их на два больших класса- адронов и лептонов.

Адроны - это элементарные частицы, принимающие участие в сильных взаимодействиях, в то время как лептоны участвуют в слабых и электромагнитных взаимодействиях (о взаимодействиях см. ниже в этом разделе). Класс адронов в свою очередь делится на два семейства (барионы и мезоны).

Барионы - это такие адроны, которые в реакциях между элементарными частицами могут превращаться в протоны или получаться из них. К семейству барионов относятся протон и нейтрон- основа атомного ядра. Протоны и нейтроны часто объединяют одним названием - *нуклоны* (от лат. **nucleus**- ядро).

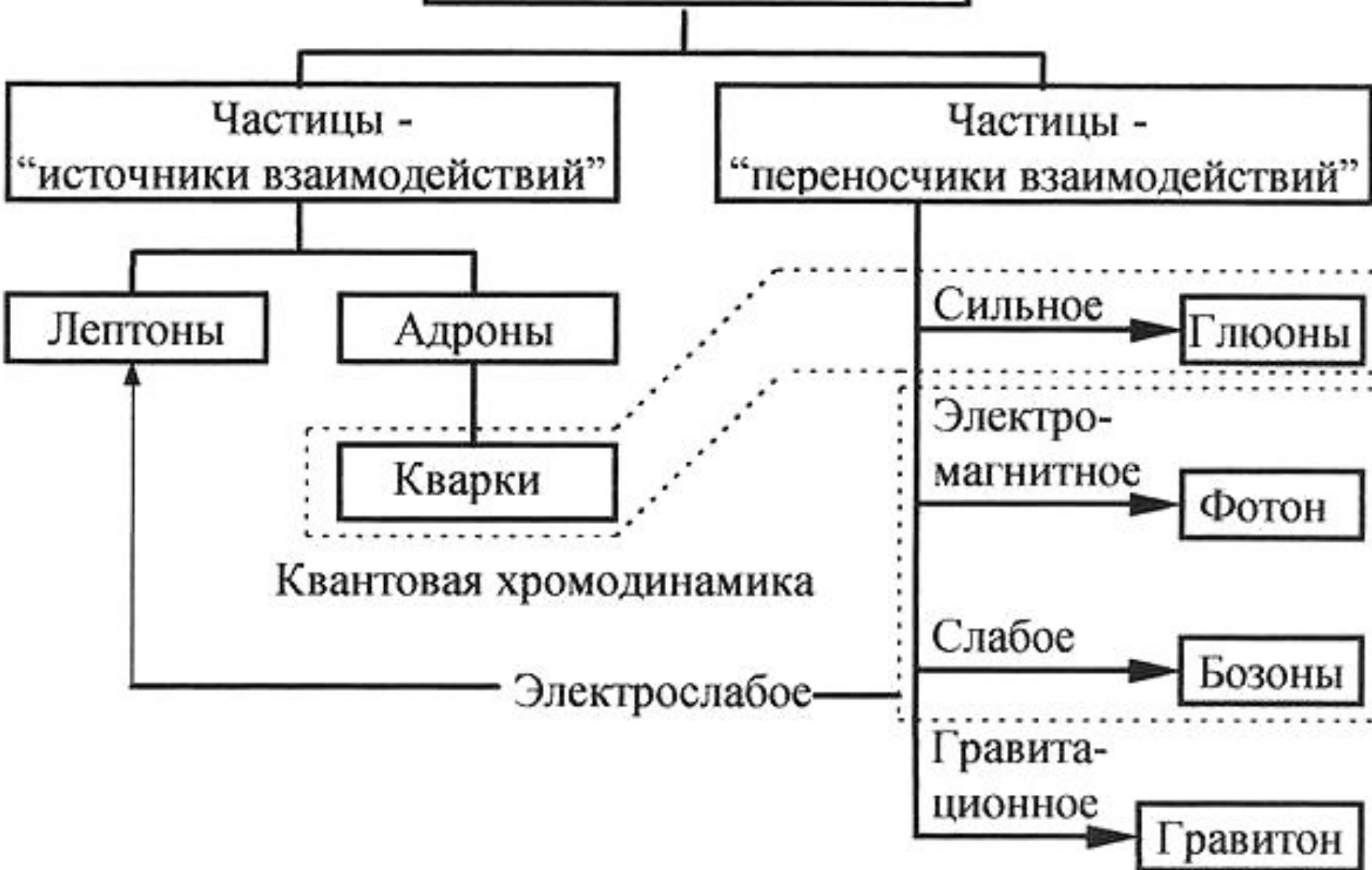
# Классификация элементарных частиц

Наименование частицы		Символ		Масса МэВ	Электрический заряд	Время жизни, (секунды)		
		Частица	Анти-частица					
Фотон		$\gamma$	$\bar{\gamma}$	0	0	Стабилен		
Лептоны	Нейтрино электронное	$\nu_e$	$\bar{\nu}_e$	0	0	Стабильно		
	Нейтрино мюонное	$\nu_\mu$	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	Стабильно		
	Нейтрино тау-лептонное	$\nu_\tau$	$\bar{\nu}_\tau$	0	-1	Стабильно		
	Электрон	$e^-$	$e^+$	0.511	-1	Стабилен		
	Мюон	$\mu^-$	$\mu^+$	105.66	0	$2,2 \cdot 10^{-6}$		
	Тау-лептон	$T^-$	$T^+$	1782	0	$3,4 \cdot 10^{-13}$		
Адроны	Мезоны	Пи-мезоны (пионы)	$\pi^0$ $\pi^+$ $\pi^-$	134,96 139,57	0 1	$8 \cdot 10^{-17}$ $2,6 \cdot 10^{-8}$		
		Ка-мезоны (каоны)	$K^+$ $K^0$	$K^-$ $\bar{K}^0$	493,67 497,7	1 0	$1,24 \cdot 10^{-8}$ $K_S^0 - 8,9 \cdot 10^{-8}$	
		Эта-нуль мезон	$\eta^0$	$\eta^0$	548,8	0	$K_L^0 - 5,18 \cdot 10^{-8}$ $10^{-18}$	
	Барионы	Нуклоны	Протон	$p$	$\bar{p}$	938,28	1	Стабилен
			Нейтрон	$n$	$\bar{n}$	939,57	0	918
		Гипероны	Лямбда-гиперон	$\lambda^0$	$\bar{\lambda}^0$	1115,6	0	$2,6 \cdot 10^{-10}$
			Сигма-гипероны	$\Sigma^+$	$\bar{\Sigma}^+$	1189,37	1	$8 \cdot 10^{-11}$
				$\Sigma^0$	$\bar{\Sigma}^0$	1192,48	0	$5,8 \cdot 10^{-20}$
				$\Sigma^-$	$\bar{\Sigma}^-$	1197,35	-1	$1,48 \cdot 10^{-10}$
			Кси-гипероны	$\Xi^0$	$\bar{\Xi}^0$	1314,9	0	$2,90 \cdot 10^{-10}$
$\Xi^-$	$\bar{\Xi}^-$	1321,3		-1	$1,64 \cdot 10^{-10}$			
Омега-минус-частица	$\Omega^-$	$\bar{\Omega}^-$	1672,2	-1	$8,2 \cdot 10^{-11}$			

Атом состоит из электронов (по классификации это лептоны) и ядра, состоящего из протонов и нейтронов (по классификации - это адроны, точнее барионы, а еще точнее нуклоны).

В масштабах микромира фактически теряется разница между частицами вещества и частицами (квантами) поля, поэтому в соответствии с общепринятой в настоящее время стандартной моделью все известные на сегодняшний день элементарные частицы делятся на два больших класса: частицы - источники взаимодействий и частицы - переносчики взаимодействий.

# Элементарные частицы





**Калибровочные бозоны** - частицы, посредством обмена которыми осуществляются взаимодействия:

- фотон – переносчик э/магнитного взаимодействия;
- восемь глюонов - переносчики сильного взаимодействия;
- три промежуточных векторных бозона - переносчики слабого взаимодействия;
- гравитон – гипотетическая частица переносчик гравитационного взаимодействия (существование пока не доказано)



Каждая элементарная частица, наряду со спецификой присущих ей взаимодействий, описывается набором дискретных значений определённых физических величин, или своими характеристиками.

В ряде случаев эти дискретные значения выражаются через целые или дробные числа и некоторый общий множитель — единицу измерения; об этих числах говорят как о квантовых числах.

Примером может служить спин.

По величине спина все элементарные частицы делятся на 2 класса:

- фермионы – частицы с полуцелым спином (электрон, протон, нейтрон, нейтрино);
- бозоны – частицы с целым спином (фотон, глюон, мезон).

# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

фермионы

бозоны

кварки

лептоны

гравитоны

фотоны

глюоны

слабые бозоны

электроны

мюоны

нейтрино

# По видам взаимодействия элементарные частицы делятся на

- ◎ **СОСТАВНЫЕ** ЧАСТИЦЫ
- ◎ **Фундаментальные** (бесструктурные)  
ЧАСТИЦЫ

# Составные частицы

адроны (от греческого *hadros* — большой, сильный) - участники всех видов фундаментальных взаимодействий, они состоят из кварков и подразделяются, в свою очередь, на мезоны (бозоны) и барионы (фермионы, протоны, нейтроны).

# Фундаментальные (бесструктурные) частицы

ЛЕПТОНЫ (от греческого *leptos* — мелкий, тонкий, лёгкий) — фермионы, которые имеют вид точечных частиц порядка  $10^{-18}$ , не участвуют в сильных взаимодействиях, участие в электромагнитных взаимодействиях наблюдалось только для заряженных лептонов (электроны, мюоны, тау-лептоны), не наблюдалось для нейтрино. Известны 6 типов лептонов.



Элементарная частица — это частица без внутренней структуры, то есть не содержащая других частиц. Элементарные частицы — фундаментальные объекты квантовой теории поля. Элементарные частицы могут быть классифицированы по спину: **фермионы** имеют полуцелый спин, а **бозоны** — целый спин.

Каждый фермион имеет свою собственную античастицу.

**Фермионы** являются базовыми кирпичиками всей материи. Они классифицируются по своему участию в сильном взаимодействии. Согласно Стандартной модели, существует 12 ароматов элементарных фермионов: шесть **кварков** и шесть **лептонов**. **Кварки** имеют цветовой заряд и участвуют в сильном взаимодействии. Их античастицы называются антикварками (u- c- t- d- s- b- кварки). **Лептоны** не участвуют в сильном взаимодействии. Их античастицы — антилептоны (античастица электрона называется позитрон по историческим причинам) (Электрон, Мюон, Тау-лептон и их нейтрино).

**Бозоны** имеют целочисленные спины. По Стандартной модели, элементарными бозонами являются следующие частицы: Фотон, W, Z, Глюон, Бозон Хиггса.

**Адроны** определяются как сильно взаимодействующие составные частицы. Адроны являются либо Фермионами, тогда они называются барионами, либо Бозонами, тогда они называются мезонами.

**Кварковые модели**, впервые предложенные в 1964 г. независимо Мюрреем Гелл-Манном и Джорджем Цвейгом (который назвал кварки «тузами»), описывают известные адроны как составленные из свободных (валентных) кварков и/или антикварков, крепко связанных сильным взаимодействием, которое переносится глюонами. В каждом адроне также содержится «море» виртуальных кварк-антикварковых пар.

Обычные **барионы** (фермионы) содержат каждый три валентных кварка или три валентных антикварка (Протоны, Нейтроны и т.д.). Обычные **мезоны** содержат валентный кварк и валентный антикварк. В их число входят пион, каон, J/ψ-мезон и многие другие типы мезонов. В моделях ядерных сил взаимодействие между нуклонами переносится мезонами (Пион, Каон и т.д.)

Кварки – дробнозаряженные частицы, входящие в состав адронов;

- в свободном состоянии не наблюдались;
- как и лептоны делятся на 6 типов и являются бесструктурными, участвуют в сильном взаимодействии.

барионы состоят из 3 кварков;  
мезоны из кварка и антикварка.



В современном представлении атомное ядро - это уже не набор протонов и нейтронов.

Атомное ядро - это совокупность соответствующего числа кварков, связанных между собой.

Скажем, ядро гелия (2 протона и 2 нейтрона) - это совокупность шести  $u$ -кварков и шести  $d$ -кварков.

# Квантово-механическая модель атома

Современная модель атома является развитием планетарной модели Бора-Резерфорда.

Согласно современной модели, ядро атома состоит из положительно заряженных протонов и не имеющих заряда нейтронов и окружено отрицательно заряженными электронами.

Однако представления квантовой механики не позволяют считать, что электроны движутся вокруг ядра по сколько-нибудь определённым траекториям (неопределённость координаты электрона в атоме может быть сравнима с размерами самого атома).

Химические свойства атомов определяются конфигурацией электронной оболочки и описываются квантовой механикой.

Положение атома в таблице Менделеева определяется электрическим зарядом его ядра (то есть количеством протонов), в то время как количество нейтронов принципиально не влияет на химические свойства; при этом нейтронов в ядре, как правило, больше, чем протонов (см.: атомное ядро).

Если атом находится в нейтральном состоянии, то количество электронов в нём равно количеству протонов. Основная масса атома сосредоточена в ядре, а массовая доля электронов в общей массе атома незначительна (несколько сотых процента массы ядра).

# Вопросы теста

# Чем меньше масса элементарной частицы, тем, как правило, ...

- больше ее время жизни
- меньше ее время жизни
- больше шансов, что она состоит из других частиц
- меньше ее электрический заряд

Закон сохранения энергии запрещает такие способы распада нестабильной частицы, при которых суммарная масса продуктов распада превышает ее массу. Поэтому чем больше масса частицы, тем больше разрешенных для нее способов распада и тем быстрее, вообще говоря, она распадается. И наоборот, чем меньше масса частицы, тем медленнее она распадается, тем больше ее время жизни.

Самые легкие в своих классах частицы, как правило, вообще являются стабильными, например электрон в классе заряженных лептонов, протон в классе барионов. Кроме того, самые легкие элементарные частицы — обычно фундаментальные, не составные (фотон, нейтрино, электрон). Систематической же связи между массой частицы и величиной ее электрического заряда нет.

Установите соответствие между критериями классификации элементарных частиц и парами частиц, различающихся только по данному критерию из трех приведенных.

- |                                       |                           |
|---------------------------------------|---------------------------|
| 1. электрический заряд                | ○ 1 электрон и антипротон |
| 2. участвует в сильном взаимодействии | ○ 2 протон и антипротон   |
| 3. спин                               | ○ 3 фотон и нейтрино      |
|                                       | ○ электрон и нейтрон      |

# Распад свободного нейтрона на электрон и антипротон запрещен законом ...

- сохранения электрического заряда
- единства и борьбы противоположностей
- сохранения энергии
- сохранения массы

## Ответ:

Антипротон имеет электрический заряд, противоположный заряду протона, поэтому такой распад нарушал бы, как минимум, закон сохранения электрического заряда.



Электрический заряд электрона такой же, как у антипротона, то есть  $-1$ . Свободный электрон, так же как свободный протон (и, следовательно, антипротон) устойчив, то есть живет бесконечно долго.

А вот в сильном взаимодействии электрон, в отличие от протона (и, следовательно, антипротона), участия не принимает. Протон и антипротон являются античастицами по отношению друг к другу. Это означает, что все их заряды имеют противоположные знаки, если это возможно. Поскольку электрический заряд протона равен  $+1$ , то у антипротона он должен быть  $-1$ . В остальном античастицы идентичны друг другу: время жизни, масса и способность антипротона принимать участие в любом взаимодействии должны быть такими же, как у протона.

Фотон и нейтрино не участвуют в сильном взаимодействии, оба не имеют электрического заряда, а различаются только спином: фотон относится к бозонам с целочисленным спином, а нейтрино из группы фермионов с полуцелым спином. Электрон и нейтрон являются фермионами, то есть имеют полуцелый спин, а различаются и электрическим зарядом, и способностью участвовать в сильном взаимодействии.

## Установите соответствие между классом элементарных частиц и общим свойством всех частиц, принадлежащих к этому классу.

1. частицы-переносчики
  2. Адроны
  3. Лептоны
- 1 являются бозонами, то есть имеют целочисленный спин
  - 2 состоят из кварков
  - 3 являются фермионами, то есть имеют полуцелый спин
  - имеют ненулевой электрический заряд

# ОТВЕТ

Среди всех трех указанных классов имеются частицы, как электрически заряженные, так и нейтральные. Таким образом, суждение о ненулевом электрическом заряде является лишним неверным ответом.

Все частицы-переносчики взаимодействий являются бозонами, то есть имеют целочисленный спин.

Адроны состоят из кварков.

Лептоны являются фермионами, то есть имеют полуцелый спин.

# Мегамир, макромир, микромир – это ...

1. три независимые друг от друга системы материальных тел
2. одна и та же природная система – Вселенная
3. разные иерархические уровни материального мира
4. не являющиеся системами совокупности объектов примерно одинакового размера
5. умозрительные понятия, не имеющие отношения к вопросу о системности Вселенной

**Установите соответствие между масштабными уровнями организации материи и объектами, которые к ним принадлежат.**

- Микромир
- Макромир
- Мегамир

1. планеты и звезды
2. атомы и молекулы
3. сосны и атомные ядра
4. люди и айсберги

# Изотопы уран-232 и уран-238 имеют одинаковое ... (2)

- ЧИСЛО ПРОТОНОВ
- ЗАРЯДОВОЕ ЧИСЛО
- ЧИСЛО НУКЛОНОВ
- ЧИСЛО НЕЙТРОНОВ

# Установите соответствие между частицей и ее свойством.

- Гравитон
- Кварк
- Фотон

1. не способен существовать поодиночке, в свободном виде
2. гипотетическая частица, пока не обнаруженная в экспериментах
3. является составной частицей
4. переносит электромагнитное взаимодействие

При реакции аннигиляции медленного электрона со своей античастицей – позитроном (тоже медленным) чаще всего возникают два фотона. Учитывая, что энергия покоя электрона равна 0,51 МэВ, ...

1. суммарная энергия этих фотонов не превышает 1,02 МэВ
2. суммарная энергия этих фотонов не может быть меньше 1,02 МэВ
3. энергии этих фотонов должны быть абсолютно одинаковы и равны 0,51 МэВ
4. суммарная энергия этих фотонов должна быть меньше 1,02 МэВ

○ Ответ:

«Медленный» в данном случае означает, что кинетическая энергия электрона очень мала по сравнению с его энергией покоя. Поскольку позитрон – античастица электрона, он обладает точно такой же массой и энергией покоя. Таким образом, полная энергия системы до аннигиляции составляет  $0,51 + 0,51 = 1,02$  (МэВ).

Закон сохранения энергии требует, чтобы полная энергия системы (то есть, суммарная энергия двух образовавшихся фотонов) и после реакции оставалась такой же. А вот распределяться между фотонами она может как угодно, это дело случая.



# Очень существенно, в десятки и сотни тысяч раз, различаются размеры ...

1. атомов и атомных ядер

Атомное ядро представляет собой образование из нескольких сотен (максимум) вплотную прилегающих друг к другу протонов и нейтронов.

2. атомов и неорганических молекул

Поэтому его размеры не более чем в несколько раз превышают размеры отдельного протона или нейтрона.

3. разных неорганических молекул

По аналогичным соображениям невелико различие размеров атомов и неорганических молекул: ведь в состав последних входит небольшое число тесно прилегающих друг к другу атомов. Понятно, что различие размеров между разными неорганическими молекулами еще меньше.

4. атомных ядер и протонов

А вот размеры атома, определяемые радиусом его электронных оболочек, действительно, на много порядков больше размеров атомного ядра.

Снимается фантастический боевик, по сценарию которого враждебно настроенные пришельцы выкрадывают наше Солнце. Учитывая, что расстояние от Земли до Солнца составляет около 8 световых минут, для согласования фильма с современными представлениями о взаимодействии следует показать, что после того как пришельцы туннелируют Солнце в свою систему, наша Земля ...(2)

- ⦿ еще 8 минут будет оставаться освещенной солнечным светом
- ⦿ еще 8 минут будет испытывать силу тяготения Солнца, заставляющую ее двигаться по эллиптической орбите
- ⦿ сразу перестанет притягиваться к Солнцу и полетит по прямолинейной траектории
- ⦿ сразу погрузится во тьму

**Установите соответствие между классами элементарных частиц и критерием, по которому эти классы различаются.**

**1** спин

**2** способность  
участвовать в сильном  
взаимодействии

**3** время жизни  
размер и форма