

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Кафедра «Физика и химия»

**Л. А. Фишбейн**

**ПОДГОТОВКА К ИНТЕРНЕТ-ЭКЗАМЕНУ  
ПО ФИЗИКЕ В СФЕРЕ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Элементы ядерной физики и физики  
элементарных частиц**

Екатеринбург  
Издательство УрГУПС  
2012

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Кафедра «Физика и химия»

**Л. А. Фишбейн**

**ПОДГОТОВКА К ИНТЕРНЕТ-ЭКЗАМЕНУ  
ПО ФИЗИКЕ В СФЕРЕ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Элементы ядерной физики и физики  
элементарных частиц**

Сборник задач  
для студентов очной, заочной форм обучения  
и дистанционного образования

Екатеринбург  
Издательство УрГУПС  
2012

УДК 531  
Ф68

**Фишбейн, Л. А.**

Ф68 Подготовка к Интернет-экзамену по физике в сфере профессионального образования. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц : сб. задач / Л. А. Фишбейн. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. – 34, [2] с.

Пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов к Интернет-экзамену по элементам ядерной физики и физики элементарных частиц в сфере профессионального образования. Содержится теоретический материал и тестовые задания с решениями. Все тесты взяты с сайта [www.i-exam.ru](http://www.i-exam.ru). Материал разбит на отдельные темы в соответствии с тематической структурой АПИМ (аттестационно-педагогические и измерительные материалы).

УДК 531

*Печатается по решению редакционно-издательского совета университета.*

*Автор:* Л. А. Фишбейн, доцент кафедры «Физика и химия»,  
канд. физ.-мат. наук, УрГУПС

*Рецензент:* В. К. Першин, зав. кафедрой «Физика и химия»,  
д-р физ.-мат. наук, УрГУПС

## Оглавление

Требования ГОС к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы .....	4
Тематическая структура АПИМ.....	4
Кодификатор .....	4
Ядерные реакции. ....	6
Фундаментальные взаимодействия.....	9
Ядро. Элементарные частицы.....	10
Законы сохранения в ядерных реакциях.....	13
Тесты с решениями.....	14

**Требования ГОС к обязательному минимуму  
содержания основной образовательной программы**

Индекс	Дисциплина и ее основные разделы	Всего часов
ЕН.Ф	Федеральный компонент	
ЕН.Ф.03	Физика: основы ядерной физики	400

**Тематическая структура АПИМ**

№ ДЕ	Наименование дидактической единицы ГОС	№ задания	Тема задания
7	Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц	29	Ядро. Элементарные частицы
		30	Ядерные реакции
		31	Законы сохранения в ядерных реакциях
		32	Фундаментальные взаимодействия

**КОДИФИКАТОР**

Кодификатор элементов содержания дисциплины «Физика» цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин высшего профессионального образования

В кодификаторе зафиксирована преемственность между содержанием дисциплины «Физика» в государственных образовательных стандартах (ГОС) высшего профессионального образования (ВПО) и аттестационных педагогических измерительных материалах (АПИМ), используемых в рамках Интернет-экзамена в сфере профессионального образования. Кодификатор отражает содержание дисциплины в ГОС и содержит контролируемое содержание дисциплины, перечень контролируемых учебных элементов. Преемственность дидактических единиц, зафиксированных в кодификаторе, положена в основу содержания АПИМ единого Федерального банка заданий, используемого для проведения Интернет-экзамена в сфере профессионального образования.

**Контролируемое содержание дисциплины** включает код элемента содержания и наименование элемента содержания (темы задания). *Первый разряд в записи кода элемента содержания* указывает на номер группы заданий, связанный с объемом часов в ГОС, выделяемых на изучение дисциплины. В дисциплине «Физика» предложено выделить три группы (1 группа – от 100 до 279 часов, 2 группа – от 280 до 699 часов, 3 группа – от 700 до 1000 часов). *Второй разряд в записи кода элемента содержания* указывает на номер дидактической единицы (раздела) дисциплины, а *третий разряд в записи кода элемента содержания* идентифицирует номер темы задания. Все коды элементов содержания и их наименование распределяются в предложенном порядке для каждой дидактической единицы.

**Перечень контролируемых учебных элементов** отражает требования к знаниям, которые студент должен приобрести в результате освоения дисципли-

ны или отдельных ее разделов. При этом уровень сложности заданий должен быть БАЗОВЫМ, то есть, все предлагаемые задания должны контролировать обязательную подготовку студентов на уровне требований, задаваемом государственными образовательными стандартами.

Ниже приведен кодификатор для 2 группы заданий (от 280 до 699 часов).

Контролируемое содержание дисциплины		Перечень контролируемых учебных элементов Студент должен...
Код элемента содержания	Элементы содержания дисциплины (тема)	
<b>7. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ</b>		
2.7.1	Ядро. Элементарные частицы	<b>знать:</b> названия и обозначения элементарных частиц, их характеристики; состав атомного ядра
2.7.2	Ядерные реакции.	<b>знать:</b> названия и обозначения элементарных частиц; состав атомного ядра. Радиоактивные превращения. Период полураспада. Активность. <b>уметь:</b> определять ход ядерной реакции по составу исходных и конечных продуктов.
2.7.3	Законы сохранения в ядерных реакциях	<b>знать:</b> закон сохранения электрического, лептонного, барионного заряда, спинового момента импульса при превращениях элементарных частиц; <b>уметь:</b> применять закон сохранения заряда в условиях конкретной задачи.
2.7.4	Фундаментальные взаимодействия	<b>знать:</b> типы фундаментальных взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое; частицы, участвующие во взаимодействиях различных типов; переносчики фундаментальных взаимодействий.

## ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

### Ядро

Атом состоит из **ядра** и электронов ( $e^-$  или  ${}_{-1}^0e$ ).

Ядро состоит из нейтронов ( $n$  или  ${}_{0}^1n$ ) и протонов ( $p$  или  ${}_{1}^1p$ ), т. е. нуклонов.

Электрический заряд электрона равен  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, зарядовое число  $-1$ , спин электрона  $1/2$ .

Электрический заряд протона равен  $+1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, зарядовое число  $+1$ , масса протона составляет 1836,2 массы электрона, спин протона  $1/2$ . Нейтрон заряда не имеет, масса нейтрона – 1838,7 массы электрона. Спин нейтрона  $1/2$ .

Количество протонов и электронов в атоме совпадает, так как атом – электронейтрален.

Количество протонов в ядре определяет элемент в таблице Менделеева.

Нижний индекс  $Z$  в обозначении – зарядовое число, т. е. отношение данного заряда к заряду протона (для ядер – количество протонов). Верхний индекс  $A = N + Z$  – число нуклонов (массовое число), т. е. число нейтронов и протонов. Ядра (элементы) имеющие одинаковое количество протонов, но разное количество нейтронов называются **изотопами**.

В ядре водорода только один протон  ${}_{1}^1\text{H}$ , в изотопе дейтерии – один протон и один нейтрон  ${}_{1}^2\text{H}$ , в изотопе тритии – один протон и два нейтрона  ${}_{1}^3\text{H}$ .

Между нуклонами существует сильное взаимодействие, а между протонами и электромагнитное (см. ниже фундаментальные взаимодействия).

В стабильном атомном ядре **масса** (покоя) составляющих его **протонов и нейтронов больше массы** (покоя) **ядра**, т. е. масса не является аддитивной величиной.

**Дефект массы** – разность масс протонов и нейтронов в ядре и ядра

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}} > 0,$$

где  $Z$  и  $N$  – число протонов и нейтронов.

**Энергия связи ядра** – минимальная работа, которую нужно совершить, чтобы разделить ядро на составные части, т. е. чтобы разбить стабильное ядро на нейтроны и протоны ему нужно передать минимальную энергию, равную энергии связи. Эта же энергия выделяется при обратном процессе – соединении протонов и нейтронов в ядро.

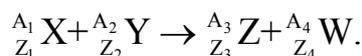
$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2 > 0.$$

**Удельная энергия связи** – энергия связи ядра в расчете на один нуклон

$$E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A} = \frac{\Delta mc^2}{A} = \frac{(Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2}{N + Z} > 0.$$

Наиболее **стабильны** (с большой энергией связи) ядра с **четным числом протонов и нейтронов**.

**Ядерная реакция** – процесс взаимодействия атомного ядра с элементарной частицей или другим ядром, приводящий к преобразованию ядер.



### Энергетический эффект ядерной реакции

Рассмотрим закон сохранения энергии в ядерной реакции

$$m_X c^2 + T_X + m_Y c^2 + T_Y = m_Z c^2 + T_Z + m_W c^2 + T_W,$$

где  $m_X c^2, T_X, m_Y c^2, T_Y, m_Z c^2, T_Z, m_W c^2, T_W$  – энергии покоя и кинетические энергии исходных ядер и ядер, продуктов реакции. Тогда величина

$$Q = T_Z + T_W - (T_X + T_Y) = c^2 [m_X + m_Y - (m_Z + m_W)]$$

называется **энергетическим эффектом ядерной реакции**.

Если  $Q > 0, T_Z + T_W > T_X + T_Y, m_X + m_Y > m_Z + m_W$ , то реакция **экзотермическая**. Такая реакция **может** идти самопроизвольно (спонтанно).

Если  $Q < 0, T_Z + T_W < T_X + T_Y, m_X + m_Y < m_Z + m_W$ , то реакция **эндотермическая**. Такая реакция **не может** идти самопроизвольно (спонтанно).

**Естественная радиоактивность** – явление самопроизвольного превращения одних ядер в другие с испусканием различных частиц. Такие превращения претерпевают только нестабильные (неустойчивые) ядра, имеющие или зарядовое число  $Z > 82$  или массовое число  $A > 200$ . (Указанные неравенства приведены на сайте [www.i-exam.ru](http://www.i-exam.ru)). Все самопроизвольные процессы идут только с выделением энергии.

### Обозначения и радиоактивные процессы

${}^0_0\gamma, {}^1_1p, {}^1_{-1}\tilde{p}, {}^1_0n, {}^1_0\tilde{n}, {}^0_{-1}e, {}^0_1e, {}^0_0\nu_e, {}^0_0\tilde{\nu}_e$  или  $\gamma, p, \tilde{p}, n, \tilde{n}, e^-, e^+, \nu_e, \tilde{\nu}_e$  – фотон, протон, антипротон, нейтрон, антинейтрон, электрон, позитрон, электронное нейтрино и антинейтрино.

**Альфа-распад** – спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с испусканием  $\alpha$ -частицы, т. е. ядер атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ .



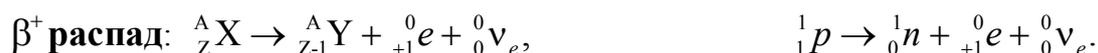
Распад идет с выделением энергии. Можно показать, что энергия  $\alpha$ -частицы составляет фиксированную часть от выделенной при распаде энергии, т. е. пучок  $\alpha$ -частиц является моноэнергетическим и **не может иметь любую энергию**.

**Бета (минус)-распад** – спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с испусканием электрона и электронного антинейтрино. (В ядре избыточное число нейтронов).



Распад идет с выделением энергии.

**Бета (плюс)-распад** – спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с испусканием позитрона и электронного нейтрино. (В ядре избыточное число протонов).



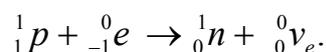
Распад идет с выделением энергии.

**Гамма-распад** – испускание возбужденным ядром гамма-кванта с переходом ядра в основное состояние.



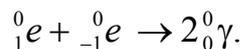
Звездочкой указано возбужденное ядро.

**K (электронный) захват:**



Захват идет с выделением энергии.

**Аннигиляция:**

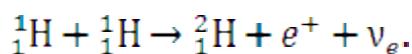
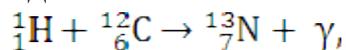


**Реакции ядерного деления** – деление одного более тяжелого ядра на два более легких.



Деление идет с выделением энергии.

**Реакции ядерного синтеза** – два легких ядра объединяются и образуют одно более тяжелое.



Объединение идет с выделением энергии.

## Закон радиоактивного распада

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}.$$

$\lambda$  – **постоянная** распада,  $N_0$  – начальное число ядер (атомов),

$N(t)$  – число **оставшихся** ядер (атомов) к моменту времени  $t$ ,

$N_0 - N(t)$  – число **распавшихся** ядер (атомов) к моменту времени  $t$ ,

$A(t) = |N'(t)| = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$  – **активность вещества**, т. е. число распадов за 1 с,  $A_0 = \lambda N_0$ .

Пусть  $N(t) = \frac{N_0}{2}$ . Тогда

$$N_0 e^{-\lambda t} = \frac{N_0}{2}$$

или

$$t = \frac{\ln 2}{\lambda} = T_{1/2},$$

где  $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$  – **период полураспада**, т. е. время, за которое распадается половина начального количества ядер (атомов). Тогда

$$N(t) = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}.$$

$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$  – **среднее время жизни** ядра (атома).

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

**Сильное взаимодействие (ядерные силы притяжения)**, ответственное за связь нуклонов в ядре,  $\alpha$ -распад, является:

- короткодействующим,
- нецентральным, зависящим от взаимной ориентации спинов частиц,
- зарядово инвариантным, т. е. не зависящим от заряда частиц,
- обладающим насыщением, т. е. при окружении нуклона со всех сторон определенным числом других нуклонов за счет ядерных сил притяжения, он не действует на нуклоны вне окружения.

**Слабое взаимодействие** ответственно за все виды  $\beta$ -распада ядер (включая К-захват), за все процессы взаимодействия нейтрино с веществом.

**Электромагнитное взаимодействие** ответственно за взаимодействие за счет наличия зарядов у частиц.

**Гравитационное взаимодействие** ответственно за взаимодействие за счет наличия массы у частиц.

**Интенсивность взаимодействий:** отношение энергий разных взаимодействий для двух одинаковых частиц (например, протонов), разделенных достаточно малым расстоянием.

**Время взаимодействия:** минимальное время жизни частиц, подверженных распадам в результате данного взаимодействия. Гравитационное взаимодействие не приводит к распадам.

**Радиусы** (в м) фундаментальных взаимодействий: сильное и слабое – короткодействующие, электромагнитное и гравитационное – далекодействующие взаимодействия (радиус – бесконечность).

(данные с сайта [www.i-exam.ru](http://www.i-exam.ru))

Вид взаимодействия	Интенсивность	Время жизни (с)	Радиус взаимодействия (м)
Сильное	1	$10^{-23}$	$10^{-15}$
Электромагнитное	$10^{-2}$	$10^{-20}$	–
Слабое	$10^{-10}$	$10^{-13}$	$10^{-18}$
Гравитационное	$10^{-38}$	–	–

## ЯДРО. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

**Элементарные частицы** – микробъекты, которые невозможно расщепить на составные части, но они могут обладать структурой, т. е. состоять из других элементарных (фундаментальных) частиц.

**Фундаментальные частицы** – бесструктурные элементарные частицы: 12 лептонов и 36 кварков.

**Переносчики взаимодействия** – частицы, отвечающие за взаимодействие между элементарными частицами.

### Квантовая статистика

Все элементарные частицы обладают собственным моментом вращения (импульса) или спиновым моментом и делятся на **бозоны**, имеющие спиновое число (спин)  $S = 0, 1$  и **фермионы**, имеющие спиновое число  $S = 1/2, 3/2$ .

Отметим, что все фундаментальные частицы – фермионы, а переносчики взаимодействия – бозоны.

ФЕРМИОНЫ ( $S=1/2, 3/2$ )				БОЗОНЫ ( $S=0,1$ )				
Фундаментальные частицы		Элементарные частицы (Адроны)		Переносчики взаимодействий				
Лептоны	Кварки	Барионы		Мезоны	Сильное	Электромагнитное	Слабое	Гравитационное
12 $S = 1/2$	36 $S = 1/2$	Нуклоны $S = 1/2$	Гипероны $S = 1/2$ $S = 3/2$	$S = 0$	Глюоны 8 $S = 1$	Фотон $S = 1$	Промежуточные бозоны 3 $S = 1$	Гравитон $S = 2$ (?)

**Лептоны** – фермионы со спином  $1/2$ . Лептоны **не участвующие в сильном** взаимодействии. Участвуют в остальных трех. Всего 6 частиц и 6 античастиц. Для электрона, мюона и таона античастицы имеют другой знак электрического заряда (частицы – **минус**, античастицы – **плюс**). Для всех видов нейтрино – противоположное направление спинового момента.

Частицы	Античастицы
электрон $e^-$ , электронное нейтрино $\nu_e$ ,	позитрон $e^+$ , электронное антинейтрино $\bar{\nu}_e$ ,
мюон $\mu^-$ , мюонное нейтрино $\nu_\mu$ ,	антимюон $\mu^+$ , мюонное антинейтрино $\bar{\nu}_\mu$ ,
таон $\tau^-$ , таонное нейтрино $\nu_\tau$ .	антитаон $\tau^+$ , таонное антинейтрино $\bar{\nu}_\tau$ .

**Кварки** – фермионы со спином  $1/2$  и дробным электрическим зарядом. Каждый кварк имеет три цвета. Всего  $12 \times 3 = 36$  кварков.

Кварки	Антикварки
$u$	$\bar{u}$
$d$	$\bar{d}$
$c$	$\bar{c}$
$s$	$\bar{s}$
$t$	$\bar{t}$
$b$	$\bar{b}$

**Адроны** участвуют в сильном взаимодействии (и остальных трех) и состоят из набора **кварков**. **Адроны** делятся на **барионы** (фермионы) и **мезоны** (бозоны). **Барионы** делятся на **нуклоны** и **гипероны**.

Нуклоны (фермионы со спином $1/2$ )	Гипероны (фермионы со спином $1/2$ )	Мезоны (бозоны со спином $0$ )
протон $p$ , антипротон $\bar{p}$ ,	$\Lambda^0, \tilde{\Lambda}^0$ , $\Sigma^+, \Sigma^-$ , $\Sigma^0, \tilde{\Sigma}^0$ ,	пи-плюс $\pi^+$ , пи-минус $\pi^-$ (пионы), пи-ноль $\pi^0$ ,
нейтрон $n$ , антинейтрон $\bar{n}$ , (другой знак собственного магнитного момента).	$\Xi^+, \Xi^-$ , $\Xi^0, \tilde{\Xi}^0$ , $\Omega^+, \Omega^-$ ( $3/2$ ).	Ка-плюс $K^+$ , Ка-минус $K^-$ (каоны), Ка-ноль $K^0$ , Анти ка-ноль $\tilde{K}^0$ , эта-ноль $\eta^0$ .

Если в названии частицы присутствует **плюс**, то это значит, что ее зарядовое число  $Q = 1$ , если **минус**, то  $Q = -1$ , если **ноль**, то  $Q = 0$ , т. е. нет заряда. Исключение в форме записи – протон  $p$  ( $Q = 1$ ) и антипротон  $\bar{p}$  ( $Q = -1$ ).

Все фундаментальные взаимодействия имеют обменный характер. В качестве элементарных актов каждого взаимодействия выступают процессы **испускания** и **поглощения** данной частицей  $a$  некоторой частицы  $X$ , определяющей тип данного взаимодействия. Сама частица  $a$  может остаться неизменной, а может превратиться в некоторую другую частицу:

испускание  $a \rightarrow a + X$ , поглощение  $a + X \rightarrow a$  ( $a \rightleftharpoons a + X$ ),  
 испускание  $a \rightarrow b + X$ , поглощение  $b + X \rightarrow a$  ( $a \rightleftharpoons b + X$ ).

Расположенная поблизости частица  $c$  также способна поглощать и испускать частицу  $X$ :

поглощение  $X + c \rightarrow c$ , испускание  $c \rightarrow c + X$  ( $c + X \rightleftharpoons c$ ),  
 поглощение  $X + c \rightarrow d$ , испускание  $d \rightarrow c + X$  ( $d + X \rightleftharpoons c$ ).

Пусть имеются две частицы  $a$  и  $c$ . Если  $a$  испустит  $X$  и превратится в  $b$

$$a \rightarrow b + X,$$

а  $c$  поглотит  $X$  и превратится в  $d$

$$X + c \rightarrow d,$$

то промежуточная частица  $X$  исчезнет. Получается, что до реакции были  $a$  и  $c$ , а после реакции –  $b$  и  $d$ , т. е. имела место реакция

$$a + c \rightarrow b + d.$$

**Пример.** Взаимодействие нуклонов в ядре (обмен пи-мезонами или пионами)

$$p \rightleftharpoons n + \pi^+, n \rightleftharpoons p + \pi^-, n \rightleftharpoons n + \pi^0, p \rightleftharpoons p + \pi^0.$$

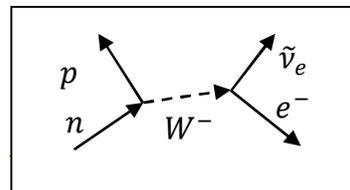
**Переносчики взаимодействия**  $X$  (13 частиц, все бозоны)

**Глюоны** – переносчики сильного взаимодействия между кварками, 8 частиц.

**Промежуточные (векторные) бозоны** ( $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$ ) – переносчики слабого взаимодействия, 3 частицы.

**Пример.**

$\beta^-$  распад:  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + {}^0_0\tilde{\nu}_e$   
 $n \rightarrow p + W^-, W^- \rightarrow e^-$



**Фотон**  $\gamma$  – переносчик электромагнитного взаимодействия (между всеми частицами, имеющими электрический заряд), не имеет ни заряда, ни массы покоя.

**Гравитон** – переносчик гравитационного взаимодействия (между частицами, имеющими массу), не имеет ни заряда, ни массы покоя (предположительно).

## ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Во всех фундаментальных взаимодействиях выполняются следующие законы сохранения: энергии, импульса, орбитального и собственного (спинового) момента импульса, электрического, лептонного и барионного заряда.

### Электрический заряд ( $Q$ )

Сумма электрических зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия. Сравниваются зарядовые числа, равные отношению данного заряда к заряду протона.

### Лептонный заряд ( $L$ )

Всем лептонам присписывается  $-1$ , антилептонам  $-(-1)$ , андронам  $-0$ . Сумма лептонных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия.

### Барионный заряд ( $B$ )

Всем барионам присписывается  $-1$ , антибарионам  $-(-1)$ , лептонам  $-0$ , мезонам  $-0$ . Сумма барионных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия. Частный случай – равенство числа нуклонов  $A$  до и после взаимодействия.

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4.$$

### Спин ( $S$ )

Спиновый момент импульса элементарной частицы – векторная величина. Ее модуль  $-L_S = \hbar\sqrt{S(S+1)}$ , проекции на выделенное направление  $-L_{Sz} = \hbar m_S$ , где  $m_S = \pm S$  – магнитное спиновое число, а  $S$  – спиновое число. В рассмотренных ниже задачах учитывается только закон сохранения вектора спинового момента (без орбитального).

Сумма проекций спинового момента импульса до равна сумме проекций спинового момента импульса после взаимодействия. При подсчете проекций величину  $\hbar$  можно не писать, т. е. (индекс  $s$  у  $m$  также не пишем)

$$m_1 + m_2 = m_3 + m_4.$$

Спины  $S$ , т. е. спиновые числа частиц всегда можно посмотреть по таблице. Все **лептоны**, **кварки** и **барионы** (нуклоны и гипероны) имеют спин  $S=1/2$ . Исключение  $\Omega^+, \Omega^- - S=3/2$ . Все **бозоны** имеют спин  $-S=0$ .

### Пример

$${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + {}^0_0\tilde{\nu}_e.$$

$Q:$	$0 =$	$1$	$-1$	$+0$
$L:$	$0 =$	$0$	$+1$	$-1$
$B:$	$1 =$	$1$	$+0$	$+0$
$m:$	$1/2 =$	$-1/2$	$1/2$	$1/2$

Возможны варианты:

$m:$	$1/2 =$	$1/2$	$-1/2$	$1/2$
$m:$	$1/2 =$	$1/2$	$1/2$	$-1/2$

и т.д.

## Тесты с решениями

### Ядерные реакции

1. Периодом полураспада называется ...

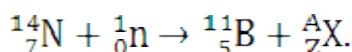
- время, в течение которого распадается половина наличного количества атомов радиоактивного элемента,
- время, в течение которого концентрация распавшихся ядер увеличивается в  $e$  раз,
- время, в течение которого распадаются все атомы радиоактивного элемента, время между моментами распада двух ядер атомов радиоактивного элемента.

2. При бомбардировке ядер изотопа азота  ${}^{14}_7\text{N}$  нейтронами образуются изотоп бора  ${}^{11}_5\text{B}$  и ...

- $\alpha$ -частица,
- нейтрон,
- протон,
- 2 протона.

#### Решение

Используя закон сохранения массового и зарядового числа, можно записать данную ядерную реакцию



Исходя из закона сохранения электрического заряда и числа нуклонов (частный случай закона сохранения барионного заряда) получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} 14 + 1 &= 11 + A, \\ 7 + 0 &= 5 + Z. \end{aligned}$$

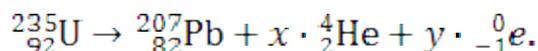
Из первого уравнения получаем  $A = 14 + 1 - 11 = 4$ , из второго –  $Z = 7 - 5 = 2$ . Следовательно,  ${}^4_2\text{He}$  или  $\alpha$ -частица.

3. Чтобы уран  ${}^{235}_{92}\text{U}$  превратился в стабильный изотоп свинца  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ , должно произойти ...

- 7  $\alpha$ -распадов и 4  $\beta^-$ -распада,
- 6  $\alpha$ -распадов и 5  $\beta^-$ -распадов,
- 8  $\alpha$ -распадов и 3  $\beta^-$ -распадов,
- 5  $\alpha$ -распадов и 6  $\beta^-$ -распадов.

#### Решение

По определению  $\alpha$ -частица – это ядро атома гелия, т. е.  ${}^4_2\text{He}$ , а  $\beta^-$ -частица – это электрон, т. е.  ${}^0_{-1}\text{e}$ . Тогда ядерная реакция имеет вид



Исходя из закона сохранения электрического заряда и числа нуклонов (частный случай закона сохранения барионного заряда) получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} 235 &= 207 + x \cdot 4 + y \cdot 0, \\ 92 &= 82 + x \cdot 2 - y \cdot 1. \end{aligned}$$

Из первого уравнения получаем  $x = (235 - 207)/4 = 7$ , из второго –  $y = 82 + 14 - 92 = 4$ . Следовательно, 7  $\alpha$ -распадов и 4  $\beta^-$ -распада.

4. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta^-$ -распадов должно произойти, чтобы америций  ${}^{241}_{95}\text{Am}$  превратился в стабильный изотоп висмута  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ ?

6  $\alpha$ -распадов и 5  $\beta^-$ -распада

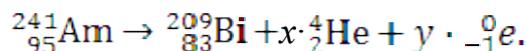
9  $\alpha$ -распадов и 3  $\beta^-$ -распадов

**8  $\alpha$ -распадов и 4  $\beta^-$ -распадов**

7  $\alpha$ -распадов и 3  $\beta^-$ -распадов

**Решение**

По определению  $\alpha$ -частица – это ядро атома гелия, т. е.  ${}^4_2\text{He}$ , а  $\beta^-$ -частица – это электрон, т. е.  ${}^0_{-1}e$ . Тогда, ядерная реакция имеет вид

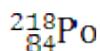
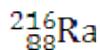
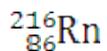
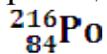


Исходя из закона сохранения электрического заряда и числа нуклонов (частный случай закона сохранения барионного заряда) получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} 241 &= 209 + x \cdot 4 + y \cdot 0, \\ 95 &= 83 + x \cdot 2 - y \cdot 1. \end{aligned}$$

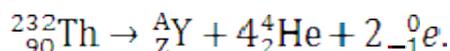
Из первого уравнения получаем  $x = (241 - 209)/4 = 8$ , из второго –  $y = 83 + 16 - 95 = 4$ . Следовательно, 8  $\alpha$ -распадов и 4  $\beta^-$ -распада.

5. Из радиоактивного тория  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  в результате четырех  $\alpha$ -распадов и двух  $\beta^-$ -распадов образуется ...



**Решение**

По определению  $\alpha$ -частица – это ядро атома гелия, т. е.  ${}^4_2\text{He}$ , а  $\beta^-$ -частица – это электрон, т. е.  ${}^0_{-1}e$ . Тогда ядерная реакция имеет вид



Исходя из закона сохранения электрического заряда и числа нуклонов (частный случай закона сохранения барионного заряда) получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} 232 &= A + 4 \cdot 4 + 2 \cdot 0, \\ 90 &= Z + 4 \cdot 2 - 2 \cdot 1. \end{aligned}$$

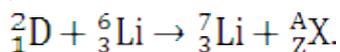
Из первого уравнения получаем  $A = 232 - 16 = 216$ , из второго –  $Z = 90 + 2 - 8 = 84$ . Следовательно,  ${}_{84}^{216}\text{Po}$ .

6. Тяжелый изотоп водорода  ${}^2_1\text{D}$  может вызвать превращение легкого изотопа лития  ${}^6_3\text{Li}$  в тяжелый изотоп  ${}^7_3\text{Li}$ . Такого рода превращения сопровождаются ...

- протоны
- нейтроны
- позитроны
- $\alpha$ -частицы

**Решение**

Рассматриваемую ядерную реакцию можно представить следующим образом:



Исходя из закона сохранения электрического заряда и числа нуклонов (частный случай закона сохранения барионного заряда) получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} 2 + 6 &= 7 + A, \\ 1 + 3 &= 3 + Z. \end{aligned}$$

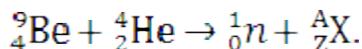
Из первого уравнения получаем  $A = 1$ , из второго –  $Z = 1$ . Это – характеристики протона  ${}^1_1\text{p}$ .

7. Произошло столкновение  $\alpha$ -частицы с ядром бериллия  ${}^9_4\text{Be}$ . В результате образовался нейтрон и изотоп ...

- ${}^{12}_6\text{C}$
- ${}^8_3\text{Li}$
- ${}^{12}_5\text{B}$
- ${}^{13}_6\text{C}$

**Решение**

Рассматриваемую ядерную реакцию можно представить следующим образом:



Исходя из закона сохранения электрического заряда и числа нуклонов (частный случай закона сохранения барионного заряда) получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} 9 + 4 &= 1 + A, \\ 4 + 2 &= 0 + Z. \end{aligned}$$

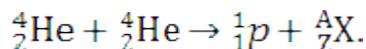
Из первого уравнения получаем  $A = 12$ , из второго –  $Z = 6$ . Это – характеристики  $^{12}_6\text{C}$ .

8. Два ядра гелия  $^4_2\text{He}$  слились в одно, при этом был излучен протон. В результате этой реакции образовалось ядро...



**Решение**

Рассматриваемую ядерную реакцию можно представить следующим образом:



Исходя из закона сохранения электрического заряда и числа нуклонов (частный случай закона сохранения барионного заряда) получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} 4 + 4 &= 1 + A, \\ 2 + 2 &= 1 + Z. \end{aligned}$$

Из первого уравнения получаем  $A = 7$ , из второго –  $Z = 3$ . Это – характеристики  $^7_3\text{Li}$ .

9. Для  $\alpha$ -распада **несправедливым** является утверждение, что ...

**вылетающие из ядра  $\alpha$ -частицы могут иметь любую энергию  $E < E_{\alpha\text{max}}$ ,**

$\alpha$ -распад идет с выделением энергии,

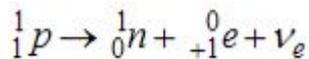
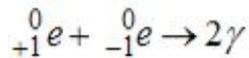
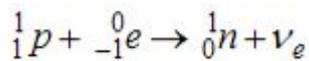
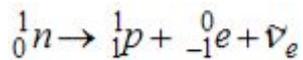
$\alpha$ -распаду подвержены тяжелые ядра с массовыми числами  $A > 200$  и зарядовыми числами  $Z > 82$ ,

уравнение  $\alpha$ -распада имеет вид:  $^A_Z\text{P} \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}\text{D} + ^4_2\text{He}$ , где **P** – «родительское» ядро, **D** – «дочернее» ядро.

**Решение**

Смотри свойства  $\alpha$ -распада.

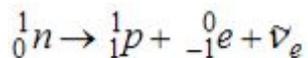
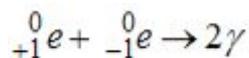
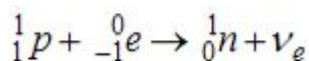
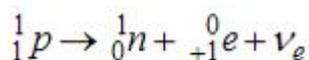
10.  $\beta^-$ -распадом является ядерное превращение, происходящее по схеме ...



### Решение

При  $\beta^-$ -распаде в ядре происходит превращение нейтрона в протон с испусканием электрона и электронного антинейтрино, т. е.  ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e + {}_0^0\bar{\nu}_e$ .

11.  $\beta^+$ -распадом является ядерное превращение, происходящее по схеме ...



### Решение

При  $\beta^+$ -распаде в ядре происходит превращение протона в нейтрон с испусканием позитрона и электронного нейтрино, т. е.  ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_{+1}^0e + \nu_e$ .

12. Внутри атомного ядра произошло самопроизвольное превращение нейтрона в протон:  $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$ . С ядром в результате такого превращения произошёл...

ядерная реакция деления,

$\alpha$ -распад,

ядерная реакция синтеза,

$\beta^+$ -распад,

$\beta^-$ -распад.

### Решение

При  $\beta^-$ -распаде в ядре происходит превращение нейтрона в протон с испусканием электрона и электронного антинейтрино, т. е.  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$ .

13. Установить соответствие процессов взаимопревращения частиц:

1	$\beta^-$ -распад	А	${}^0_{-1}e + {}^0_{+1}e \rightarrow 2\gamma$
2	K-захват	Б	${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}e + \nu_e$
3	$\beta^+$ -распад	В	${}^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + \nu_e$
4	аннигиляция	Г	${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \nu_e$
		Д	${}^1_0n + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_1p + \nu_e$

1 – А, 2 – Б, 3 – Г, 4 – Д,

1 – Г, 2 – В, 3 – Б, 4 – А,

1 – Б, 2 – В, 3 – А, 4 – Д,

1 – Б, 2 – Г, 3 – А, 4 – Д.

#### Решение

Смотри ядерные реакции, радиоактивные процессы.

14. Возраст любого предмета, изготовленного из некогда живой ткани, например из дерева, можно приблизительно определить по удельной активности (активности единицы массы) радиоактивного изотопа углерода  ${}^{14}_6\text{C}$ , период полураспада которого составляет примерно 5700 лет. Если удельная активность  ${}^{14}_6\text{C}$  в деревянном предмете равна 1/4 от удельной активности растущего дерева, то дерево, из которого было изготовлено орудие, было срублено примерно ... лет назад.

11400,

2850,

22800,

1425.

#### Решение

По определению

$$A(t) = |N'(t)| = \lambda N(t) = \lambda N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}},$$

то

$$\frac{A(t)}{A_0} = \frac{\lambda N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}}{\lambda N_0} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = \frac{1}{4} = 2^{-2}.$$

Отсюда  $t = 2T_{1/2} = 2 \cdot 5700 = 11400$  лет.

15. Из  $10^{10}$  атомов радиоактивного изотопа с периодом полураспада 20 минут через 60 минут не испытывают превращения примерно ..... атомов.

- 1,25 · 10<sup>9</sup>,
- 5 · 10<sup>9</sup>,
- 2,5 · 10<sup>9</sup>,
- 7,5 · 10<sup>9</sup>.

**Решение**

Не испытывают превращения, т. е. останутся нераспавшимися. Период полураспада  $T_{1/2}$  – это время, в течение которого первоначальное количество ядер данного радиоактивного вещества распадается наполовину. Через время, равное одному периоду полураспада, останется 50% нераспавшихся радиоактивных ядер, то есть  $5 \cdot 10^9$ . Еще через 20 мин –  $2,5 \cdot 10^9$ . После следующих 20 мин (всего с начало распада 60 мин) не испытывают превращения примерно  $1,25 \cdot 10^9$  атомов.

$$N(3T_{1/2}) = N_0 2^{-\frac{3T_{1/2}}{T_{1/2}}} = \frac{N_0}{8} = \frac{1}{8} 10^{10} = 1,25 \cdot 10^9.$$

16. Если через интервал времени  $\tau$  осталось нераспавшимся 25% первоначального количества радиоактивных ядер, то это время равно ... периодам(-у) полураспада.

- 2,
- 1,
- 1/2,
- 4.

**Решение**

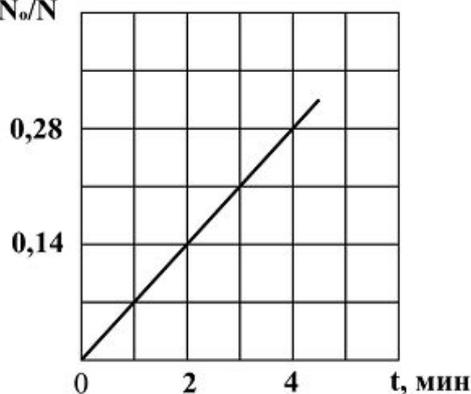
Период полураспада  $T_{1/2}$  – это время, в течение которого первоначальное количество ядер данного радиоактивного вещества распадается наполовину. Через время, равное одному периоду полураспада, останется 50% радиоактивных ядер данного сорта, а еще через такой же промежуток времени – 25%. Следовательно, интервал времени  $\tau$  равен двум периодам полураспада.

$$N(\tau) = N_0 2^{-\frac{\tau}{T_{1/2}}} = 0,25 N_0.$$

Тогда

$$2^{-\frac{\tau}{T_{1/2}}} = 2^{-2} \text{ или } \tau = 2T_{1/2}.$$

17.  
lnN<sub>0</sub>/N



На графике в полулогарифмическом масштабе показана зависимость изменения числа радиоактивных ядер изотопа  ${}^{27}_{12}\text{Mg}$  от времени. Среднее время жизни данного изотопа равно ..... мин. Ответ округлите до целого числа.

14,

20

- 10,
- 2,
- 4.

**Решение**

По определению среднее время жизни изотопа равно

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}.$$

Так как

$$N(t) = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}},$$

то

$$\frac{N_0}{N(t)} = 2^{\frac{t}{T_{1/2}}} \text{ и } \ln \frac{N_0}{N(t)} = \ln 2^{\frac{t}{T_{1/2}}} = \frac{t}{T_{1/2}} \ln 2.$$

Следовательно,

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{t}{\ln \frac{N_0}{N(t)}} = \frac{2}{0,14} \approx 14 \text{ мин.}$$

**Фундаментальные взаимодействия**

**18.** Установите соответствие между сравнительной интенсивностью фундаментальных взаимодействий и их видами.

- 1)  $10^{-38}$ ,
- 2)  $10^{-2}$ ,
- 3) 1.

- 1  гравитационное,
- 2  электромагнитное,
- 3  сильное,  
 слабое.

**19.** Установите соответствие между видами фундаментальных взаимодействий и их сравнительной интенсивностью.

- 1) гравитационное,
- 2) электромагнитное,
- 3) сильное,
- 4) слабое.

- 1   $10^{-38}$
- 2   $10^{-2}$
- 3  1

- 4   $10^{-10}$   
  $10^{-23}$

20. Установите соответствие между видом фундаментального взаимодействия и характерным для него временем взаимодействия.

- 1) электромагнитное,  
 2) сильное,  
 3) слабое.

- 1   $10^{-20} c$   
 2   $10^{-23} c$   
 3   $10^{-13} c$   
  $10^{-10} c$

21. Установите соответствие между радиусами  $R_i$  (в м) фундаментальных взаимодействий и их видами.

- 1)  $10^{-18}$ ,  
 2)  $10^{-15}$ .

- 1  слабое,  
 2  сильное,  
 гравитационное,  
 электромагнитное.

22. Установите соответствие между видами фундаментальных взаимодействий и радиусами (в м) их действия.

- 1) гравитационное  
 2) слабое  
 3) сильное

- 1   $\infty$ ,  
 2   $10^{-18}$ ,  
 3   $10^{-15}$ ,  
  $10^{-10}$ .

23. Установите соответствие между типами фундаментальных взаимодействий и группами элементарных частиц, для которых данное взаимодействие является наиболее характерным.

- 1) электромагнитное,  
 2) сильное,

3) слабое.

- 1  1 заряженные частицы и фотоны,
- 2  2 адроны,
- 3  3 лептоны,
- все частицы.

24. Установите соответствие между видами фундаментальных взаимодействий и переносчиками этих взаимодействий:

- 1) электромагнитное,
- 2) сильное,
- 3) слабое,
- 4) гравитационное.

- 1  1 фотоны,
- 2  2 глюоны,
- 3  3 бозоны,
- 4  4 гравитоны,
- нейтроны.

25. Установите соответствие между группами элементарных частиц и характерными типами фундаментальных взаимодействий:

- 1) фотоны,
- 2) лептоны,
- 3) адроны.

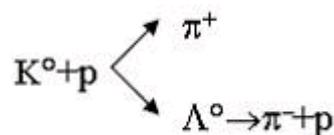
- 1  1 электромагнитное,
- 2  2 слабое,
- 3  3 сильное,
- гравитационное.

26. Установите соответствие между переносчиками фундаментальных взаимодействий и видами этих взаимодействий:

- 1) фотоны,
- 2) глюоны,
- 3) бозоны.

- 1  1 электромагнитное,
- 2  2 сильное,
- 3  3 слабое,
- гравитационное.

27. Взаимодействия  $K^0$ -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме



Если спин  $\pi$ -мезона  $S_\pi = 0$ , то спин  $\Lambda^0$ -гиперона будет равен

$$S = 0,$$

$$S = 1/2,$$

$$S = 1.$$

**Решение**

Спин протона  $p - S = 1/2$  (нуклон), спин  $\Lambda^0 - S = 1/2$  (гиперон), спин  $K^0 - S = 0$  (мезон). Проверим

$$K^0 + p \rightarrow \Lambda^0,$$

$$m: 0 + 1/2 = 1/2,$$

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^+ + p,$$

$$m: 1/2 = 0 + 1/2.$$

#### Элементарные частицы

28. В ядре изотопа свинца  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$  содержится ...

**82 протона и 125 нейтронов,**

125 протонов и 82 нейтрона,

82 протона и 207 нейтронов,

207 протонов и 125 нейтронов.

29. В ядре изотопа углерода  ${}^{14}_6\text{C}$  содержится ...

**6 протонов и 8 нейтронов,**

6 протонов и 14 нейтронов,

14 протонов и 6 нейтронов,

8 протонов и 6 нейтронов.

30. Заряд в единицах заряда электрона равен +1; масса равна массе электрона; спин в единицах  $\hbar$  составляет 1/2. Это основные характеристики ...

**позитрона,**

нейтрона,

мюона,

протона.

**Решение**

Электрический заряд протона и позитрона равен +1 в единицах заряда электрона. Заряд мюона  $-1$  (античастицы мюона +1), нейтрон заряда не имеет. Масса мюона составляет 206,8 массы электрона. Масса протона составляет 1836,2 массы электрона, а нейтрона – 1838,7 массы электрона. Масса позитрона равна массе электрона. Все представленные частицы имеют полуцелый спин, равный  $1/2$ , и являются фермионами. Следовательно, указанные характеристики имеет позитрон. Позитрон – античастица по отношению к электрону, т. е. только другой знак заряда.

**31.** Заряд в единицах заряда электрона равен +1; масса в единицах массы электрона составляет 1836,2; спин в единицах  $\hbar$  равен  $1/2$ . Это основные характеристики ...

**протона,**  
нейтрона,  
мюона,  
позитрона.

#### **Решение**

Электрический заряд протона и позитрона равен +1 в единицах заряда электрона. Заряд мюона  $-1$  (античастицы мюона +1), нейтрон заряда не имеет. Масса мюона составляет 206,8 массы электрона. Масса протона составляет 1836,2 массы электрона, а нейтрона – 1838,7 массы электрона. Масса позитрона равна массе электрона. Все представленные частицы имеют полуцелый спин, равный  $1/2$ , и являются фермионами. Следовательно, указанные характеристики имеет протон.

**32.** Для ядерных сил справедливым является утверждение, что они ...

**проявляются лишь на малых расстояниях (короткодействие),**  
являются центральными, то есть действуют по линии, соединяющей центры, взаимодействующих нуклонов,  
обладают зарядовой зависимостью,  
не зависят от взаимной ориентации спинов взаимодействующих нуклонов.

**33.** Для ядерных сил **не справедливым** является утверждение, что они ...

зависят от типа взаимодействующих нуклонов, т. е. ядерные силы **между протонами отличаются от сил между нейтронами и от сил между протоном и нейтроном,**  
являются силами притяжения,  
являются короткодействующими,  
не являются центральными.

34. В центральной части атома, занимая небольшой объем и обладая его основной массой, находится положительно заряженное ядро. **Неверным** является утверждение, что ...

**масса ядра равна сумме масс образующих ядро нуклонов,**

ядерные силы, удерживающие ядро, обладают зарядовой независимостью,

наиболее устойчивы ядра с четными числами протонов и нейтронов,

ядра с одинаковыми зарядовыми, но разными массовыми числами называются изотопами,

35. Кварковый состав характерен для ...

**нейтронов,**

электронов,

мюонов,

нейтрино.

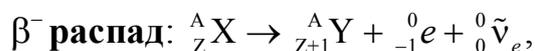
**Решение**

Для адронов, куда входят из приведенного списка только нейтроны.

36. Значение зарядового числа  $Z$  при  $\beta^-$ -распаде меняется...

не меняется, **на единицу,** на три, на четыре.

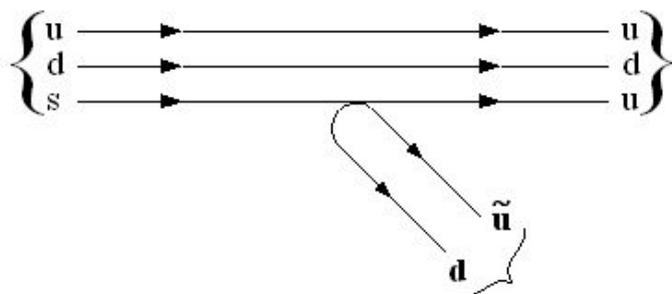
**Решение**



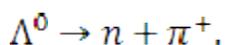
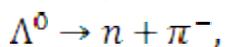
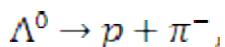
37. Позитрон является античастицей по отношению к ...

нейтрону, **электрону,** нейтрино, фотону, протону.

38. На рисунке показана кварковая диаграмма распада  $\Lambda^0$ -гиперона.



Эта диаграмма соответствует реакции ...



$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^0.$$

### Решение

Во всех ядерных реакциях выполняются законы сохранения. Проверим варианты реакций на закон сохранения электрического, лептонного и барионного заряда.  $\Lambda^0, \pi^0, n$  имеет  $Q = 0$ ,  $p, \pi^+$  имеют  $Q = 1$ ,  $\pi^-$  имеет  $Q = -1$ .

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-,$$

$$Q: 0 = 1 - 1,$$

$$\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^-,$$

$$Q: 0 \neq 0 - 1,$$

$$\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^+,$$

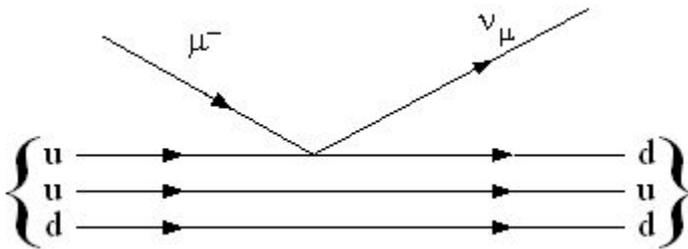
$$Q: 0 \neq 0 + 1,$$

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^0,$$

$$Q: 0 \neq 1 + 0.$$

Таким образом, заряд сохраняется только в **первом** уравнении.

39. На рисунке показана кварковая диаграмма захвата нуклоном  $\mu^-$ -мезона.



Эта диаграмма соответствует реакции ...

$$\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu,$$

$$\mu^- + n \rightarrow p + \nu_\mu,$$

$$\mu^- + p \rightarrow \tilde{p} + \nu_\mu,$$

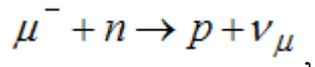
$$\mu^- + n \rightarrow \tilde{n} + \nu_\mu.$$

### Решение

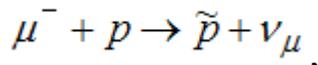
Во всех ядерных реакциях выполняются законы сохранения. Проверим варианты реакций на закон сохранения электрического, лептонного и барионного заряда.  $p$  имеет  $Q = 1$ ,  $\tilde{p}, \mu^-$  имеют  $Q = -1$ . Остальные частицы имеют зарядовое число  $Q = 0$ .

$$\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu,$$

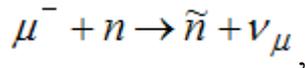
$$Q: -1 + 1 = 0 + 0,$$



$$Q: -1 + 0 \neq 1 + 0,$$



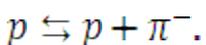
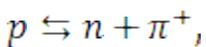
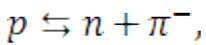
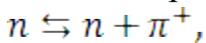
$$Q: -1 + 1 \neq -1 + 0,$$



$$Q: -1 + 0 \neq 0 + 0.$$

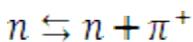
Таким образом, заряд сохраняется только в **первом** уравнении.

**40.** Нуклоны в ядре взаимодействуют посредством обмена виртуальными частицами. Процесс их образования соответствует схеме...

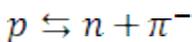


### Решение

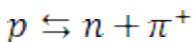
Во всех ядерных реакциях выполняются законы сохранения. Проверим варианты реакций на закон сохранения электрического, лептонного и барионного заряда. Начнем с сохранения электрического заряда



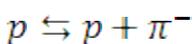
$$Q: 0 \neq 0 + 1,$$



$$Q: 1 \neq 0 - 1,$$

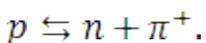


$$Q: 1 = 0 + 1,$$



$$Q: 1 \neq 1 - 1.$$

Единственная реакция, удовлетворяющая закону сохранения заряда,



**41.** Для ядер атомов **не справедливым** является утверждение: ...

**масса ядра равна сумме масс составляющих его нуклонов,**

ядра всех атомов, за исключением обычного водорода, состоят из протонов и нейтронов, называемых нуклонами,

протон – положительно заряженная частица с зарядом, равным элементарному электрическому заряду; нейтрон – электрически нейтральная частица,

между нуклонами в ядрах существует особое ядерное (сильное) взаимодействие.

42. Для энергии связи ядра **не справедливым** является утверждение, что ...

**энергия связи ядра  $E_{св}$  может быть как положительной, так и отрицательной величиной,**

энергией связи ядра называется минимальная энергия, необходимая для расщепления ядра на составляющие его нуклоны,

удельная энергия связи ядра – это энергия связи, приходящаяся на один нуклон

$E_{св} = c^2 \Delta m$ , где  $\Delta m$  – дефект массы, равный разности суммы масс нуклонов, составляющих ядро, и массы ядра.

43. Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Ядерные силы притяжения действуют между парами частиц...

протон – протон, нейтрон – нейтрон,

протон – нейтрон, нейтрон – нейтрон,

только нейтрон – нейтрон,

только протон – протон,

только протон – нейтрон ,

**протон – протон, нейтрон – нейтрон, протон – нейтрон.**

44. В процессе гравитационного взаимодействия принимают участие...

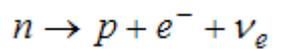
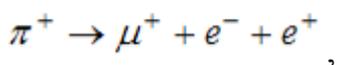
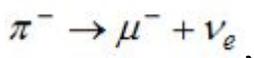
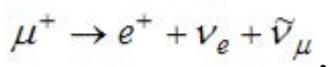
только частицы, имеющие нулевую массу покоя,

только нуклоны,

**все элементарные частицы.**

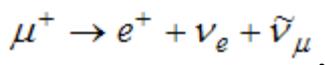
#### Законы сохранения в ядерных реакциях

45. Законом сохранения лептонного заряда **разрешен** процесс, описываемый уравнением ...



#### Решение

Всем лептонам присписывается  $-1$ , антилептонам  $-(-1)$ , андронам  $-0$ . Сумма лептонных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия.



$$L: -1 = -1 + 1 - 1,$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_e,$$

$$L: 0 \neq 1 + 1,$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + e^- + e^+$$

$$L: 0 \neq -1 + 1 - 1,$$

$$n \rightarrow p + e^- + \nu_e,$$

$$L: 0 \neq 0 + 1 + 1.$$

**Разрешен первый** процесс  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$ .

46. Законом сохранения лептонного заряда **запрещен** процесс, описываемый уравнением ...

$$n \rightarrow p + e^- + \nu_e,$$

$$p + e^- \rightarrow n + \nu_e,$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu,$$

$$\tilde{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+.$$

**Решение**

Всем лептонам приписывается  $-1$ , антилептонам  $-(-1)$ , андронам  $-0$ . Сумма лептонных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия.

$$n \rightarrow p + e^- + \nu_e,$$

$$L: 0 = 0 + 1 + 1,$$

$$p + e^- \rightarrow n + \nu_e,$$

$$L: 0 + 1 \neq 0 + 1,$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu,$$

$$L: -1 = -1 + 1 - 1,$$

$$\tilde{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$$

$$L: -1 + 0 = 0 - 1.$$

**Запрещен второй** процесс  $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$ .

47. Взаимодействие протона с нейтроном по схеме  $p + n \rightarrow e^+ + \nu_e$  **не может** идти из-за нарушения закона сохранения ...

**барионного заряда,**  
электрического заряда,

спина,  
лептонного заряда.

### Решение

Сумма электрических зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия.

$$p + n \rightarrow e^+ + \nu_e,$$
$$Q: 1 + 0 = 1 + 0.$$

Сумма лептонных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия. Всем лептонам приписывается  $-1$ , антилептонам  $-(-1)$ , андронам  $-0$ .

$$p + n \rightarrow e^+ + \nu_e,$$
$$L: 0 + 0 = -1 + 1.$$

Сумма барионных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия. Всем барионам приписывается  $-1$ , антибарионам  $-(-1)$ , лептонам  $-0$ , мезонам  $-0$ .

$$p + n \rightarrow e^+ + \nu_e,$$
$$B: 1 + 1 \neq 0 + 0.$$

Сумма проекций спинового момента импульса до равна сумме проекций спинового момента импульса после взаимодействия. При подсчете проекций величину  $\hbar$  можно не писать.

$$p + n \rightarrow e^+ + \nu_e,$$
$$m: 1/2 + 1/2 = 1/2 + 1/2 \text{ -- такой вариант возможен.}$$

Нарушается закон сохранения **барионного** заряда.

**48.** Взаимодействие протона с нейтрино по схеме  $\nu_e + p \rightarrow n + e^+$  не может идти из-за нарушения закона сохранения ...

лептонного заряда,  
электрического заряда,  
спина,  
барионного заряда.

### Решение

Сумма электрических зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия.

$$\nu_e + p \rightarrow n + e^+$$
$$Q: 0 + 1 = 0 + 1.$$

Сумма лептонных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия. Всем лептонам приписывается  $-1$ , антилептонам  $-(-1)$ , андронам  $-0$ .

$$\nu_e + p \rightarrow n + e^+$$
$$L: 1 + 0 \neq 0 - 1.$$

Сумма барионных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия. Всем барионам присписывается  $-1$ , антибарионам  $-(-1)$ , лептонам  $-0$ , мезонам  $-0$ .

$$\nu_e + p \rightarrow n + e^+$$

$$B: 0 + 1 = 1 + 0.$$

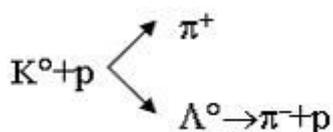
Сумма проекций спинового момента импульса до равна сумме проекций спинового момента импульса после взаимодействия. При подсчете проекций величину  $\hbar$  можно не писать.

$$\nu_e + p \rightarrow n + e^+$$

$m: 1/2 + 1/2 = 1/2 + 1/2$  – такой вариант возможен.

Нарушается закон сохранения **лептонного** заряда.

**49.** Взаимодействие  $K^0$ -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме



Если спин  $\pi^-$ -мезона  $S = 0$ , то характеристиками лямбда-гиперона  $\Lambda^0$  будут ...

$$Q = 0, S = 1/2,$$

$$Q = 0, S = 0,$$

$$Q = +1, S = 0,$$

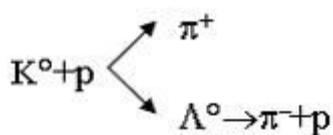
$$Q = +1, S = 1/2.$$

**Решение**

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p.$$

Так как в названии частицы ноль, то ее заряд  $Q = 0$ . Так как частица – гиперон, то  $S = 1/2$ .

**50.** Взаимодействие  $K^0$ -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме



Если спин лямбда-гиперона  $\Lambda^0$  равен  $S = 1/2$ , то характеристиками  $\pi^-$ -мезона будут ...

$$Q = -1, S = 0,$$

$$Q = 0, S = 1/2,$$

$$Q = +1, S = 0,$$

$$Q = -1, S = 1/2.$$

**Решение**

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p.$$

Так как в названии частицы минус, то ее заряд  $Q = -1$ . Так как частица мезон, то  $S = 0$ .

**Примечание.** Если не знать, что это мезон, но знать, что спин протона  $S = 1/2$ , то возможно равенство

$$1/2 = m + 1/2, \text{ т. е. } m = S = 0.$$

**51.** Законом сохранения барионного заряда запрещена реакция ...

$$p + n \rightarrow e^+ + \nu_e,$$

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e,$$

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e,$$

$$p + e^- \rightarrow n + \nu_e.$$

**Решение**

Всем барионам присписывается  $-1$ , антибарионам  $-(-1)$ , лептонам  $-0$ , мезонам  $-0$ . Сумма барионных зарядов до равна сумме зарядов после взаимодействия. Частный случай – равенство числа нуклонов  $A$  до и после взаимодействия.

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4.$$

$$p + n \rightarrow e^+ + \nu_e,$$

$B: 1 + 1 \neq 0 + 0$  – реакция запрещена.

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e,$$

$$B: 1 = 1 + 0 + 0,$$

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e,$$

$$B: 1 = 1 + 0 + 0,$$

$$p + e^- \rightarrow n + \nu_e,$$

$$B: 1 + 0 = 1 + 0.$$

**52.** Законом сохранения электрического заряда запрещен процесс, описываемый уравнением ...

$$n + \nu_e \rightarrow p + e^+$$

$$n + \bar{\nu}_e \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e,$$

$$\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

**Решение**

$$n + \nu_e \rightarrow p + e^+$$

$$Q: 0 + 0 \neq 1 + 1,$$

$$n + \tilde{p} \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e$$

$$Q: 0 - 1 \neq -1 + 0,$$

$$\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$$

$$Q: 0 + 0 = 1 - 1,$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$Q: -1 = -1 + 0 + 0.$$

**53.** Реакция  $e^- \rightarrow \gamma + \gamma + \nu$  не может идти из-за нарушения закона сохранения..

электрического заряда,

лептонного заряда,

барионного заряда,

момента импульса.

**Решение**

$$e^- \rightarrow \gamma + \gamma + \nu$$

$$Q: -1 \neq 0 + 0 + 0,$$

$$L: 1 = 0 + 0 + 1,$$

$$B: 0 = 0 + 0 + 0,$$

$m: 1/2 = 1 - 1 + 1/2$  – такой вариант возможен. Напомним, что  $m = \pm S$ .

*Учебное издание*

**Фишбейн Лев Абрамович**

**ПОДГОТОВКА К ИНТЕРНЕТ-ЭКЗАМЕНУ  
ПО ФИЗИКЕ В СФЕРЕ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Элементы ядерной физики и физики  
элементарных частиц**

Сборник задач  
для студентов очной, заочной форм обучения  
и дистанционного образования

Редактор *С. В. Пилюгина*

Подписано в печать 12.12.12. Формат 60x84/16.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,1.  
Тираж 130 экз. Заказ 337.

Издательство УрГУПС  
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66