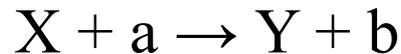


ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Ядерной реакцией называется процесс сильного взаимодействия атомного ядра с элементарной частицей или с другим ядром, приводящий к преобразованию ядра (или ядер). Взаимодействие реагирующих частиц возникает при их сближении до расстояний порядка 10^{-15} м благодаря действию ядерных сил.

Наиболее распространенным видом ядерной реакции является взаимодействие легкой частицы **a** с ядром **X**, в результате которого образуется легкая частица **b** и ядро **Y**:



Уравнение таких реакций принято записывать сокращенно в виде



В качестве легких частиц **a** и **b** могут фигурировать нейтрон (**n**), протон (**p**), дейтрон (**d**), α -частица (**α**) и γ -фотон (**γ**).

Ядерные реакции могут сопровождаться как выделением, так и поглощением энергии. Количество выделяющейся энергии **Q** называется энергией реакции. Она определяется разностью масс исходных и конечных ядер (частиц):

$$Q = (\Sigma m_1 - \Sigma m_2)c^2 ,$$

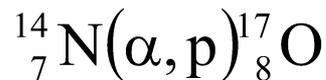
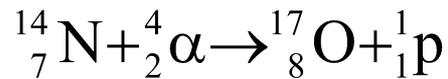
где

$\sum m_1$ - сумма масс ядер, вступающих в реакцию;

$\sum m_2$ - сумма масс ядер, получившихся в результате реакции.

Если сумма масс, образующихся ядер, превосходит сумму масс исходных ядер, реакция идет с поглощением энергии и энергия реакции будет отрицательной ($Q < 0$).

Первая ядерная реакция (Резерфорд, 1919 г.):



В 1936 г. Н. Бор установил, что реакции, вызываемые быстрыми частицами, протекают в 2 этапа:

1. Ядро X захватывает частицу a и образуется промежуточное ядро Π (составное ядро). Энергия частицы a за короткое время перераспределяется между нуклонами ядра и ядро переходит в возбужденное состояние.

2. Ядро испускает частицу b .



ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И КЛАССЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.

Взаимодействия элементарных частиц делят на несколько классов (**фундаментальных типов**) взаимодействия:

- 1) гравитационное;
- 2) слабое;
- 3) электромагнитное;
- 4) сильное (ядерное).

Фундаментальными называются такие взаимодействия, которые не могут быть сведены к другим, более простым видам взаимодействия. Для всех типов взаимодействий элементарных частиц выполняются законы сохранения энергии, импульса, момента импульса и заряда.

Кратко охарактеризуем виды взаимодействий по степени возрастания их интенсивности.

Гравитационное взаимодействие – наиболее слабое из всех фундаментальных взаимодействий в микромире. Гравитационные силы действуют между любыми телами, в том числе и между элементарными частицами. Однако в физике элементарных частиц, массы которых ничтожно малы, гравитационные силы играют незначительную роль.

Релятивистской теорией гравитационного взаимодействия является общая теория относительности, которая в пределе (нерелятивистский случай для слабых гравитационных полей) переходит в теорию гравитации Ньютона. Квант гравитационного поля получил название **«гравитон»**, однако экспериментально пока не обнаружен.

Слабое взаимодействие вызывает медленно протекающие процессы с элементарными частицами, в том числе распады частиц с малыми временами жизни. В слабом взаимодействии участвуют любые элементарные частицы, кроме фотонов. Слабое взаимодействие по величине значительно меньше всех взаимодействий, кроме гравитационного. Радиус слабого взаимодействия очень мал ($\sim 10^{-18}$ м).

В электромагнитном взаимодействии участвуют любые электрически заряженные частицы и тела, а также фотоны - кванты электромагнитного поля. Электромагнитное взаимодействие ответственно за существование атомов и молекул, обуславливая взаимодействие в них положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов. Фотон выступает квантом (переносчиком) электромагнитного взаимодействия. Теория электромагнитного взаимодействия представлена **квантовой электродинамикой**, созданной в середине XX в. Квантовая электродинамика удовлетворяет основным принципам как квантовой теории, так и теории относительности.

Сильное взаимодействие вызывает процессы, протекающие наиболее интенсивно по сравнению с другими процессами. Именно сильное взаимодействие (ядерные силы) связывает протоны и нейтроны в атомном ядре. При столкновениях ядер и нуклонов, обладающих высокой энергией, сильное взаимодействие приводит к ядерным реакциям.

Гравитационные и электромагнитные силы являются далекодействующими, а остальные (слабые и сильные) - короткодействующими.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

№	Взаимодействие	Источник	Относит. интенсивность	Радиус действия
1	Гравитационное	Масса	$\sim 10^{-38}$	Дальнодействующее
2	Слабое	Все элементарные частицы	$\sim 10^{-15}$	Короткодействующее ($\sim 10^{-15}$ м)
3	Электромагнитное	Все электрически заряженные тела и частицы	$\sim 10^{-2}$	Дальнодействующее
4	Сильное	Адроны (нейтроны, протоны, мезоны)	1	Короткодействующее ($\sim 10^{-15}$ м)

Элементарные частицы и их античастицы принято подразделять на три группы.

Первая группа – **фотоны**. Это группа, состоящая только из одной частицы – фотона (кванта электромагнитного взаимодействия).

Вторая группа – **лептоны** (от греческого “лептос” – легкий), участвующие в электромагнитном и слабом взаимодействиях. К группе лептонов относятся электрон (e), мюон (μ), таон (τ) и соответствующие им нейтрино.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕПТОНОВ

Семейство лептонов*	Частица	Спин, \hbar	Масса, МэВ	Среднее время жизни, с
Электронный дублет E	ЭЛЕКТРОН E^-	1/2	0,511	∞
	электронное нейтрино ν_e		$<46 \cdot 10^{-6}$	∞
Мюонный дублет M	мюон μ^-		105,66	$2,2 \cdot 10^{-6}$
	мюонное нейтрино ν_μ		$<0,25$	∞
Таонный дублет T	таон τ^-		1784	$3,5 \cdot 10^{-13}$
	таонное нейтрино ν_τ		<70	∞

* Примечание: каждому дублету соответствует дублет антилептонов.

Третья группа – **адроны** (от греческого “адрос” – крупный, сильный), которые составляют основную часть элементарных частиц. Эта группа состоит из подгруппы **мезонов** (от греческого “мезос” – средний: пионы π , каоны K , эта-мезон η) и **барионов** (от греческого “барис” – тяжёлый: нуклоны, гипероны). Адроны участвуют в сильном, электромагнитном и слабом взаимодействиях.

В 60-е гг. XX в. была сформулирована **гипотеза кварков** (М. Гелл-Ман и Г. Цвейг). Согласно этой гипотезе, барионы состоят из кварков, а антибарионы - из антикварков. Все известные в то время адроны можно было построить из трех типов кварков: u , d , s . В дальнейшем количество типов кварков было увеличено: были введены “очарованный” кварк и “красивый” кварк. Соответственно было предположено существование новых типов адронов, часть из которых обнаружена к настоящему времени.

Переносчиками сильного взаимодействия между кварками являются **ГЛЮОНЫ**, связывающие кварки попарно или тройками. Область физики элементарных частиц, изучающая взаимодействие кварков и глюонов, носит название квантовой хромодинамики. В современной физике допускается существование и других типов кварков. Гипотеза кваркового строения адронов оказалась важной для понимания процессов с участием адронов. На сегодняшний день, несмотря на многочисленные попытки обнаружить кварки на ускорителях элементарных частиц, в космических лучах, кварки по-прежнему не обнаружены.

Группа	Название частицы	Символ		Масса (в электронных массах)	Электрический заряд	Спин	Время жизни (с)
		Частица	Античастица				
Фотоны	Фотон	γ		0	0	1	Стабилен
Лептоны	Нейтрино электронное	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	1/2	Стабильно
	Нейтрино мюонное	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	1/2	Стабильно
	Электрон	e^-	e^+	1	-1 1	1/2	Стабилен
	Мю-мезон	μ^-	μ^+	206,8	-1 1	1/2	$2,2 \cdot 10^{-6}$

Группа		Название частицы	Символ		Масса (в электронных массах)	Электрический заряд	Спин	Время жизни (с)
			Частица	Античастица				
Адроны	Мезоны	Пи-мезоны	π^0		264,1	0	0	$0,87 \cdot 10^{-16}$
			π^+	π^-	273,1	1 -1	0	$2,6 \cdot 10^{-8}$
		К-мезоны	K^+	K^-	966,4	1 -1	0	$1,24 \cdot 10^{-8}$
			K^0	\tilde{K}^0	974,1	0	0	$\approx 10^{-10} - 10^{-8}$
		Эта-нуль-мезон	η^0		1074	0	0	$\approx 10^{-18}$
	Барionyны	Протон	p	\tilde{p}	1836,1	1 -1	1/2	Стабилен
		Нейтрон	n	\tilde{n}	1838,6	0	1/2	898
		Лямбда-гиперон	Λ^0	$\tilde{\Lambda}^0$	2183,1	0	1/2	$2,63 \cdot 10^{-10}$
		Сигма-гипероны	Σ^+	$\tilde{\Sigma}^+$	2327,6	1 -1	1/2	$0,8 \cdot 10^{-10}$
			Σ^0	$\tilde{\Sigma}^0$	2333,6	0	1/2	$7,4 \cdot 10^{-20}$
			Σ^-	$\tilde{\Sigma}^-$	2343,1	-1 1	1/2	$1,48 \cdot 10^{-10}$
		Кси-гипероны	Ξ^0	$\tilde{\Xi}^0$	2572,8	0	1/2	$2,9 \cdot 10^{-10}$
			Ξ^-	$\tilde{\Xi}^-$	2585,6	-1 1	1/2	$1,64 \cdot 10^{-10}$
		Омега-минус-гиперон	Ω^-	$\tilde{\Omega}^-$	3273	-1 1	1/2	$0,82 \cdot 10^{-11}$

Способность элементарных частиц к взаимным превращениям с соблюдением законов сохранения позволяет предполагать наличие единого общего поля, различными «квантовыми состояниями» которого и являются эти частицы.

Первый шаг в направлении описания различных типов взаимодействий с единых позиций был сделан еще Дж. Максвеллом: создание теории электромагнетизма в 60-х гг. XIX в., которая объединила электрическое и магнитное взаимодействия.

В 70-е гг. XX в. была создана единая теория слабых и электромагнитных взаимодействий (**теория электрослабого взаимодействия**).

С созданием квантовой хромодинамики и теории электрослабого взаимодействия появилась надежда на построение единой теории всех (или хотя бы трёх из четырёх) фундаментальных взаимодействий.

Модели, единым образом описывающие хотя бы три из четырёх фундаментальных взаимодействий, называются **моделями Великого объединения (великого синтеза)**. В настоящее время на роль такой модели претендует **теория суперструн**.

В основе большинства этих моделей лежит гипотеза об увеличении константы электрослабого взаимодействия, с одной стороны, и уменьшение константы сильного взаимодействия, с другой стороны, при малых расстояниях и больших энергиях. При сверхвысоких энергиях это может привести к равенству констант электромагнитного, сильного и слабого взаимодействий. Теоретические схемы, в рамках которых объединяются все известные типы взаимодействий (сильное, слабое, электромагнитное и гравитационное), называются моделями **супергравитации**.

Новое поколение физиков надеется, что объединённая теория объяснит известные типы взаимодействий с позиций единства мироздания.