21.29. Определить период полураспада изотопа, если известно, что через время t после начала распада осталось $k = \frac{2}{3}$ первоначального количества изотопов ядер.

21.72. Какое количество теплоты выделится в ходе реакции

$$^{6}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{4}_{2}He,$$

Элементарные частицы

§74. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Элементарная частица — микрообъект, который невозможно расщепить на составные части.

Ряд элементарных частиц (например, нуклоны) имеет сложную внутреннюю структуру, но разделить их на части невозможно. Другие элементарные частицы являются бесструктурными и могут рассматриваться как первичные

фундаментальные частицы — бесструктурные элементарные частицы, которые до настоящего момента времени не удалось описать как составные.

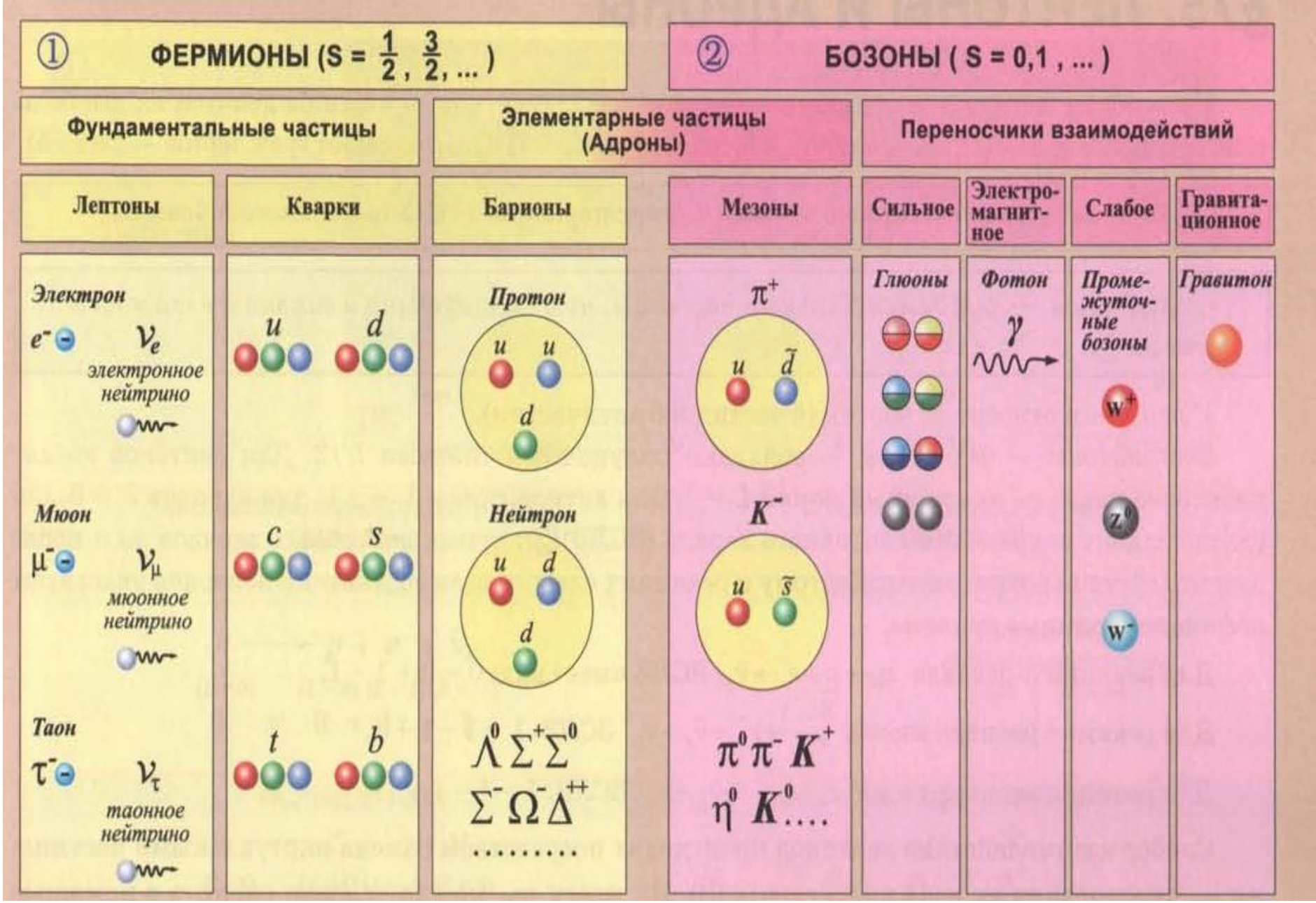
По величине спина (собственного момента количества движения) все частицы делятся на два класса: ***фермионы*** ① и ***бозоны*** ②.

- В настоящее время известно около 400 субъядерных частиц, которые принято называть элементарными. Подавляющее большинство этих частиц являются нестабильными. Исключение составляют лишь фотон, электрон, протон и нейтрино. Все остальные частицы через определенные промежутки времени испытывают самопроизвольные превращения в другие частицы

Таблица элементарных частиц

Наименование частиц				Символ: частица	Символ: античастица	Масса в электронных массах	Электрический заряд	Время жизни, с
Фотон				γ	γ	0	0	Стабилен
Лептоны			Нейтрино электронное	ν_e	$\tilde{\nu}_e$	0	0	Стабильно
			Нейтрино мюонное	ν_μ	$\tilde{\nu}_\mu$	0	0	Стабильно
			Тау-нейтрино	ν_τ	$\tilde{\nu}_\tau$	0	0	Стабильно
			Электрон	e^-	e^+	1	−1	Стабилен
			Мюон	μ^-	μ^+	207	−1	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$
			Тау-лептон	τ^-	τ^+	3492	−1	$1{,}46 \cdot 10^{-12}$
Андроны	Мезоны		Пи-мезоны (пионы)	π^0	π^0	264,1	0	$1{,}83 \cdot 10^{-16}$
				π^+	π^-	273,1	1	$2{,}6 \cdot 10^{-8}$
			Ка-мезоны (каоны)	K^+	K^-	966,4	1	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$
				K^0	K^0	974,1	0	K_S^0 — $8{,}9 \cdot 10^{-11}$ K_L^0 — $5{,}2 \cdot 10^{-8}$
			Эта-нуль-мезон	η^0	η^0	1074	0	$2{,}4 \cdot 10^{-19}$
	Барионы	Нуклоны	Протон	p	$\tilde{p}$	1836,1	1	Стабилен (?)
			Нейтрон	n	$\tilde{n}$	1838,6	0	10^3
		Гипероны	Гиперонлямбда	Λ^0	$\tilde{\Lambda}^0$	2183,1	0	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$
			Гиперонсигма	Σ^+	$\tilde{\Sigma}^+$	2327,6	1	$8 \cdot 10^{-11}$
				Σ^0	$\tilde{\Sigma}^0$	2333,6	0	$5{,}8 \cdot 10^{-30}$
				Σ^-	$\tilde{\Sigma}^-$	2343,1	−1	$1{,}48 \cdot 10^{-10}$
			Гиперонкси	Ξ^0	$\tilde{\Xi}^0$	2572,8	0	$2{,}9 \cdot 10^{-10}$
				Ξ^-	$\tilde{\Xi}^-$	2586,6	−1	$1{,}64 \cdot 10^{-10}$
			Омегаминус-гиперон	Ω	$\tilde{\Omega}$	3273	−1	$8{,}2 \cdot 10^{-11}$

- Элементарные частицы объединяются в три группы: фотоны, лептоны и адроны.
- К группе фотонов относится единственная частица – фотон, которая является носителем электромагнитного взаимодействия.
- Следующая группа состоит из легких частиц – лептонов. В эту группу входят два сорта нейтрино (электронное и мюонное), электрон и μ-мезон.


① ФЕРМИОНЫ (S = 1/2, 3/2, ...)
② БОЗОНЫ (S = 0,1 , ...)
Фундаментальные частицы
Элементарные частицы (Адроны)
Переносчики взаимодействий
Лептоны
Кварки
Барионы
Мезоны
Сильное
Электро-магнит-ное
Слабое
Гравита-ционное
Электрон
e^-
ν_e
электронное нейтрино
Мюон
μ^-
ν_μ
мюонное нейтрино
Таон
τ^-
ν_τ
таонное нейтрино
u d
c s
t b
Протон
u u d
Нейтрон
u d d
$\Lambda^0 \Sigma^+ \Sigma^0$
$\Sigma^- \Omega^- \Delta^{++}$
.....
π^+
u $\bar{d}$
K^-
u $\bar{s}$
$\pi^0 \pi^- K^+$
$\eta^0 K^0$....
Глюоны
Фотон
γ
Промежуточные бозоны
W^+
Z^0
W^-
Гравитон

Фермионы — частицы с полуцелым спином: $\hbar/2$, $3\hbar/2$, ...

(например, лептоны: e^-, μ^-, τ^-, ν_e, ν_μ, ν_τ, барионы: p, n...).

Бозоны — частицы с целым спином: 0, $\hbar$, $2\hbar$, ...

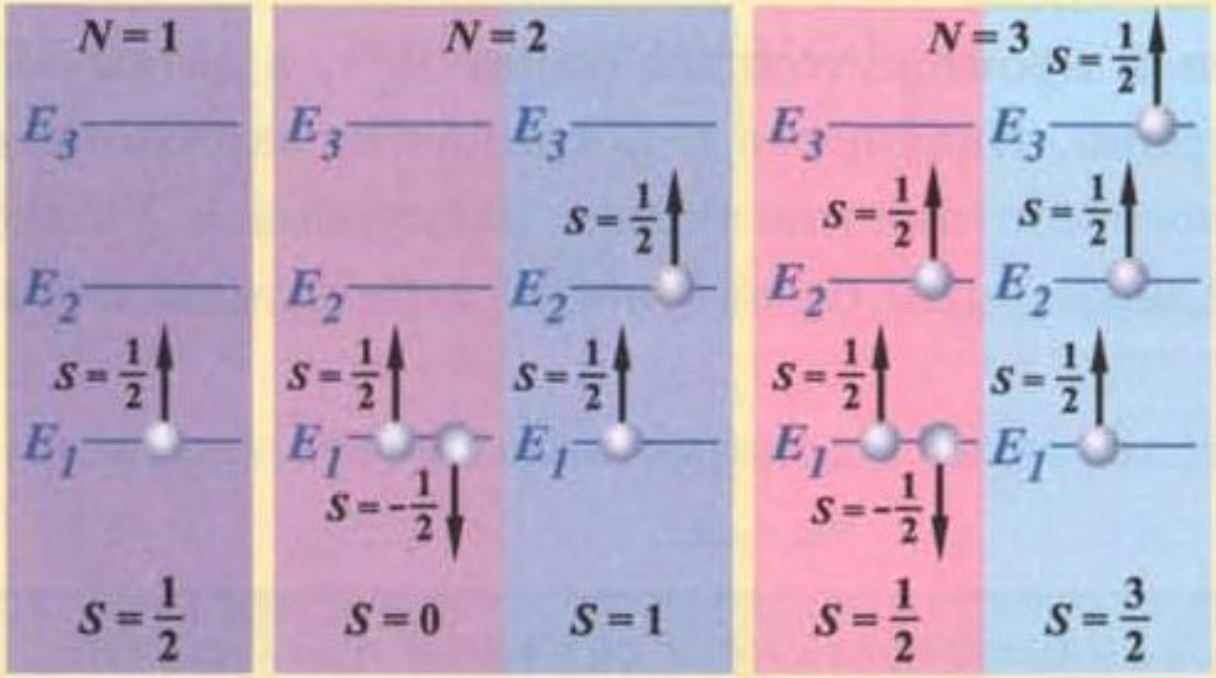
(например, мезоны: π^+, K^-,..., переносчики взаимодействий γ, W^+, Z^0, W^-, ...).

Для распределения фермионов по возможным энергетическим состояниям справедлив ***принцип Паули***:

в одном и том же энергетическом состоянии могут находиться не более двух фермионов с противоположными спинами (3).

③ ПРИНЦИП ПАУЛИ

Распределение фермионов по энергетическим уровням



В одном и том же энергетическом состоянии могут находиться не более двух фермионов с противоположными спинами

- Третью большую группу составляют тяжелые частицы, называемые адронами. Эта группа делится на две части. Более легкие частицы составляют подгруппу мезонов. Наиболее легкие из них – положительно и отрицательно заряженные, а также нейтральные π-мезоны с массами порядка 250 электронных масс

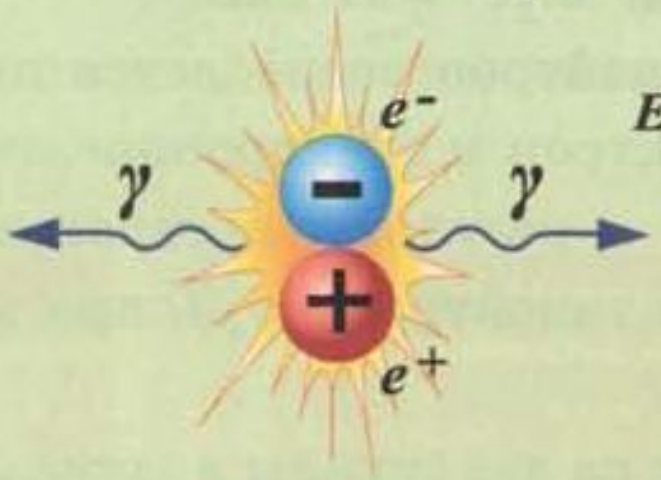
- Вторая подгруппа – барионы – включает более тяжелые частицы. Она является наиболее обширной. Самыми легкими из барионов являются нуклоны – протоны и нейтроны. За ними следуют так называемые гипероны
- Все лептоны и барионы имеют спин 1/2

Античастица $\tilde{a}$ (элементарной частицы a) — элементарная частица, имеющая равную (по отношению к a) массу покоя, одинаковый спин, время жизни и противоположный заряд ④. Позитрон e^+ (от лат. positivus — положительный) — античастица электрона — был обнаружен в 1932 г. американским физиком ***Карлом Андерсоном*** ⑤. В перпендикулярном магнитном поле частица двигалась по окружности. Ее направление движения было неизвестно и зависело от знака заряда. Для определения направления движения частицы Андерсон разместил на ее пути свинцовую пластинку, тормозившую частицу. После прохождения пластинки радиус трека уменьшился. Это означало, что заряд частицы положительный.

При столкновении частицы и античастицы они исчезают (аннигилируют).

Аннигиляция — процесс взаимодействия элементарной частицы с ее античастицей, в результате которого они превращаются в γ-кванты (фотоны) электромагнитного поля или другие частицы.

Аннигиляция электрон-позитронной пары



$E_{изл}$ – *энергия излучения*

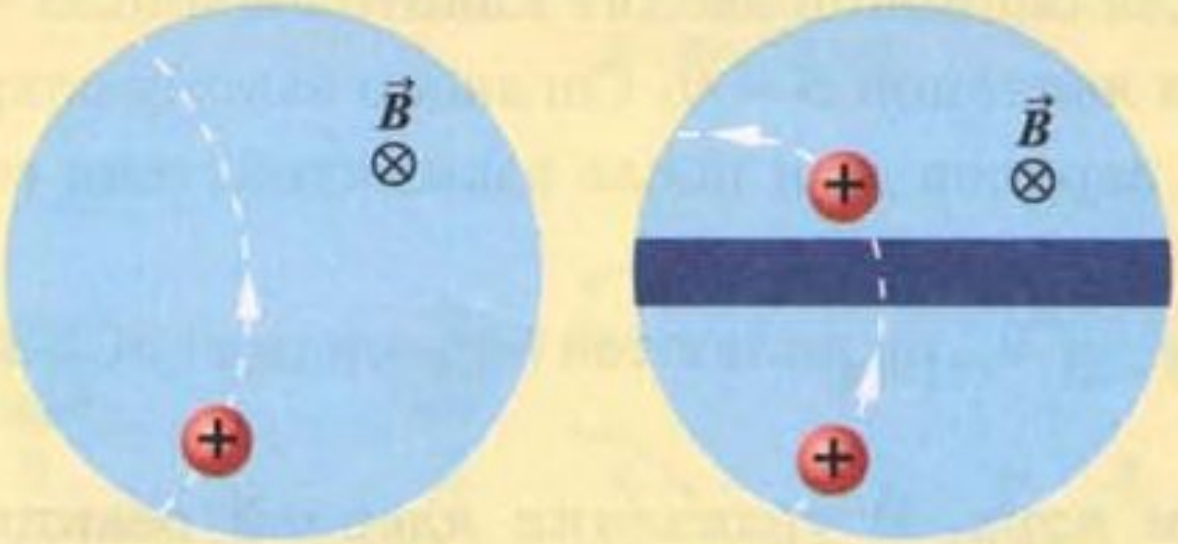
$$e^- + e^+ \longrightarrow \gamma + \gamma$$

$$E_{изл} = 2m_e c^2 = 2 \cdot (9{,}1 \cdot 10^{-31})(3 \cdot 10^8)^2 =$$

$$= 1{,}64 \cdot 10^{-13}\ \text{Дж} = 1{,}02\ \text{МэВ}$$

⑤ ОТКРЫТИЕ ПОЗИТРОНА e^+

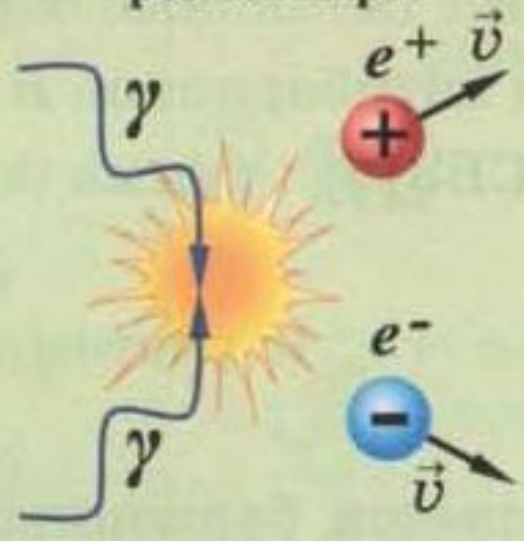
Трек позитрона в камере Вильсона в магнитном поле $\vec{B}$



без свинцовой пластинки *со свинцовой пластинкой*

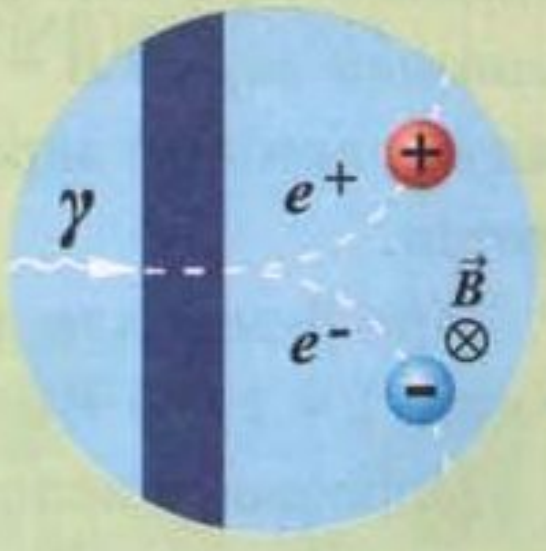
⑥ РОЖДЕНИЕ ПАРЫ

Рождение электрон-позитронной пары



$$\gamma + \gamma \longrightarrow e^- + e^+$$

Треки электрон-позитронной пары в магнитном поле



При столкновении электрона и позитрона обе частицы исчезают, а рождаются два γ-кванта (фотона):

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

Минимальная энергия излучения $E_{изл} = 2m_e c^2 = 1{,}02$ МэВ.

Рождение пары — процесс, обратный аннигиляции ⑥.

Электрон-позитронная пара может возникнуть, например, при взаимодействии γ-кванта с веществом. Электрически нейтральные кванты превращаются в частицы, общий заряд которых равен нулю:

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

Для рождения пары требуется минимальная энергия, равная сумме энергий покоя частиц $2m_e c^2 = 1{,}02$ МэВ. После рождения электрон-позитронной пары, попадающей в магнитное поле, сила Лоренца действует на разноименно заряженные частицы в противоположные стороны, чем и объясняется их закручивание в разных направлениях.

- все тяжелые частицы – адроны – построены из более фундаментальных частиц, названных кварками. На основе кварковой гипотезы не только была понята структура уже известных адронов, но и предсказано существование новых.