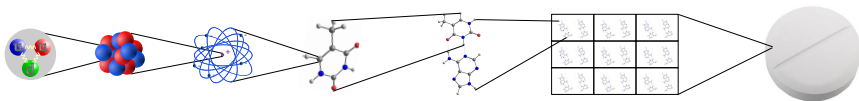


Строение атомов и радиоактивность

Иван Федянин

ВХК РАН



Уровни описания вещества



Стандартная модель

масса →	$\approx 2,16 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 1,27 \text{ ГэВ}/c^2$	$\approx 172,7 \text{ ГэВ}/c^2$	0	$\approx 125,25 \text{ ГэВ}/c^2$
заряд →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
спин →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	u верхний	c очарованный	t истинный	g глюон	H бозон Хиггса
	$\approx 4,67 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 93,4 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 4,18 \text{ ГэВ}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d нижний	s странный	b прелестный	γ фотон	
	$0,511 \text{ МэВ}/c^2$	$105,7 \text{ МэВ}/c^2$	$1,777 \text{ ГэВ}/c^2$	$91,19 \text{ ГэВ}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	e электрон	μ мюон	τ тау-лептон	Z Z-бозон	
	$< 1,1 \text{ эВ}/c^2$	$< 0,19 \text{ МэВ}/c^2$	$< 18,2 \text{ МэВ}/c^2$	$80,38 \text{ ГэВ}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	ν_e электронное нейтрино	ν_μ мюонное нейтрино	ν_τ тау-нейтрино	W W-бозон	

КВАРКИ

ЛЕПТОНЫ

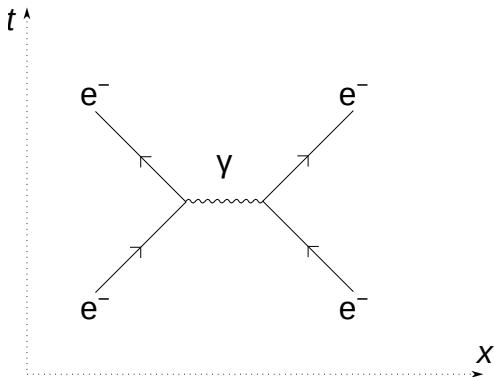
КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ
(ВЕКТОРНЫЕ)

СКАЛЯРНЫЕ БОЗОНЫ

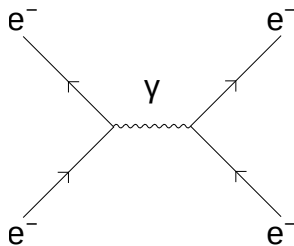
Взаимодействия и силы

гравитационные	?	(гравитон)
электромагнитные	γ	(фотон)
<hr/>		
сильные	g	(глюон)
слабые	W^+, W^-, Z^0	(W,Z-бозоны)

электромагнитное взаимодействие

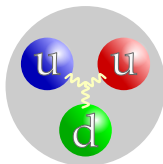


электромагнитное взаимодействие

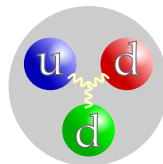


Нуклоны

масса →	$\approx 2,16 \text{ МэВ}/c^2$	КВАРКИ
заряд →	$2/3$	
спин →	$1/2$	
	u верхний	
	$\approx 4,67 \text{ МэВ}/c^2$	
	$-1/3$	
	$1/2$	
	d нижний	

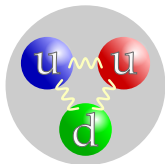
 p^+

протон
 $\approx 938.3 \text{ МэВ}/c^2$
 $+1$
 $1/2$

 n^0

нейтрон
 $\approx 939.6 \text{ МэВ}/c^2$
 0
 $1/2$

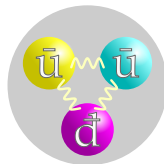
Нуклоны и антинуклоны

 p^+

протон

 $\approx 938.3 \text{ МэВ}/c^2$

+1

 $1/2$  p^-

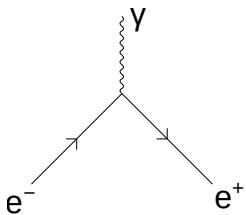
антипротон

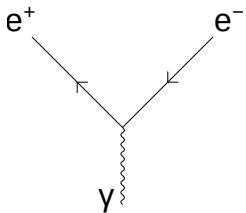
 $\approx 938.3 \text{ МэВ}/c^2$

-1

 $1/2$

Аннигиляция





Сильное взаимодействие в нуклонах

$$d_R \cdots d_G \cdots u_B$$

$$d_G \cdots g_{\{\bar{g}r\}} \cdots d_G \cdots u_B$$

$$d_G \cdots d_R \cdots u_B$$

Сильное взаимодействие между нуклонами: потенциал Юкавы

$$V = -\frac{g^2}{4\pi} \frac{e^{-kr}}{r} \quad (1)$$

где

$$k = \frac{mc}{\hbar}$$

g, k — константы взаимодействия, m — масса частицы-переносчика взаимодействия

Сильное взаимодействие между нуклонами: потенциал Юкавы

$$V = -\frac{g^2}{4\pi} \frac{e^{-kr}}{r} \quad (1)$$

где

$$k = \frac{mc}{\hbar}$$

g, k — константы взаимодействия, m — масса частицы-переносчика взаимодействия

Что, если представить $m = 0$?

$$V = -g^2 \frac{1}{r}$$

Сильное взаимодействие между нуклонами: потенциал Юкавы

$$V = -\frac{g^2}{4\pi} \frac{e^{-kr}}{r} \quad (1)$$

где

$$k = \frac{mc}{\hbar}$$

g, k — константы взаимодействия, m — масса частицы-переносчика взаимодействия

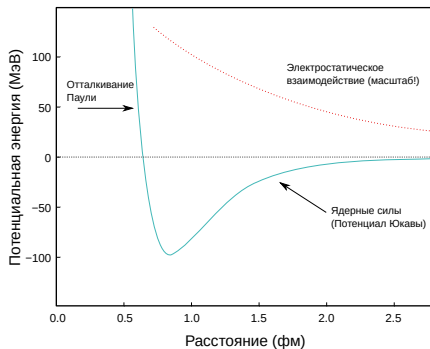
Что, если представить $m = 0$?

$$V = -g^2 \frac{1}{r}$$

Потенциал Юкавы - обобщённый, “экранированный” кулоновский потенциал на расстояниях порядка размера протона в тех же единицах измерения сильное ядерное взаимодействие в ≈ 137 раз сильнее

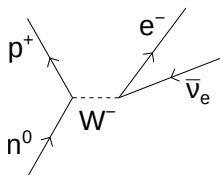
Но: спадает сильно быстрее

Потенциал Рейда



Также зависит от:

- Ориентации спина взаимодействующих частиц: ($\uparrow\uparrow$ выгоднее $\uparrow\downarrow$)
- (Типа взаимодействующих частиц)
- (Массы ядра)



$$n_0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

FIXME IMAGE WITH QUARKS

$$T_{1/2} \approx 611 \text{ c}$$

$$t \approx 879.4 \text{ c}$$

$T_{1/2}$: период полураспада — за сколько распадется половина ядер.

Доля выживших частиц (вероятность распада в момент времени t):

$$\frac{N(t)}{N(0)} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

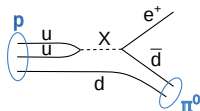
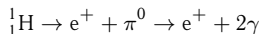
Среднее время жизни τ :

$$T_{1/2} = \tau \ln 2; \quad \ln 2 \approx 0.69$$

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}; \quad \frac{1}{\ln 2} \approx 1.45$$

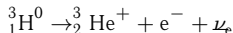
Изотопы водорода

- ${}^1_1\text{H}$: Протий. Крайне стабилен.

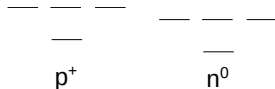


- ${}^2_1\text{H}$: Дейтерий. Стабилен.

- ${}^3_1\text{H}$: Тритий. β^- -распад,
 $T_{1/2} = 12.32(2)$ года, $E = 18.591(1)$ кэВ.



- ${}^4_1\text{H}$,
 ${}^5_1\text{H}$: экстремально нестабильны,
 $T_{1/2} \approx 10^{-22}$ с и ниже; Распадаются с испусканием n^0 .

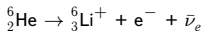


Изотопы гелия

- ^2He : крайне нестабилен
- ^3He : стабилен.
- ^4He : очень стабилен – самое стабильное после ^1H ядро;

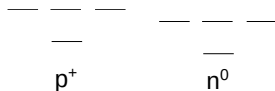
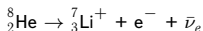
- ^5He — очень нестабилен ($T_{1/2} \approx 10^{-22}$ с),
 В процессе β -распада превратился бы в ^5Li , который нестабилен;

- ^6He — нестабилен ($T_{1/2} = 0.8$ с), β -распад:



- ...

- ^8He — нестабилен ($T_{1/2} = 0.1$ с):

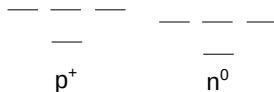


● ^{11}Li :

$\begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{p}^+ \end{array}$
 $\begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{n}^0 \end{array}$

Изотопы лития

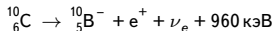
- ${}^4_3\text{Li}$: $T_{1/2} \approx 10^{-24}$ с, испускает p^+ ($\rightarrow {}^3\text{He}$);
- ${}^5\text{Li}$: $T_{1/2} \approx 10^{-22}$ с, испускает p^+ ($\rightarrow {}^4\text{He}$);
- ${}^6\text{Li}$: стабилен
- ${}^7\text{Li}$: стабилен
- ${}^8\text{Li}$: $T_{1/2} = 0.8$ с, β^- -распад ($\rightarrow {}^8\text{Be}$);
- ${}^9\text{Li}$: $T_{1/2} = 0.2$ с, β^- -распад ($\rightarrow {}^9\text{Be}$);
- ${}^{10}\text{Li}$: $T_{1/2} \approx 10^{-21}$ с, испускает n^0 ($\rightarrow {}^9\text{Li}$);
- ${}^{11}\text{Li}$: $T_{1/2} = 0.009$ с, β^- , n^0 ($\rightarrow {}^{10}\text{Be}$).



Изотопы углерода

- $^{10}_6\text{C}$: $T_{1/2} \approx 19.3 \text{ с}$, β^+ :

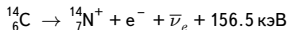
- ^{11}C : $T_{1/2} \approx 20.3 \text{ мин}$



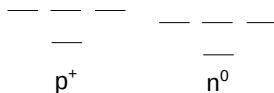
- ^{12}C : стабильный. Спин ядра 0, и это печально.

- ^{13}C : стабильный. Спин ядра $\frac{1}{2}$, и это замечательно!
 Но его $\approx 1\%$ и это (немного) печально

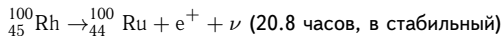
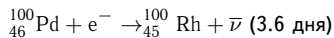
- ^{14}C : $T_{1/2} = 5700 \text{ лет}$; $\tau = 8261 \text{ год}$



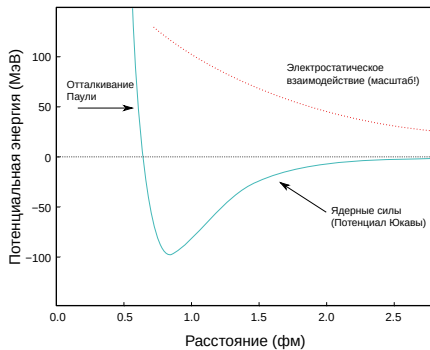
- ... экзотика



Ru ... Rh ... Pd ... Ag



Альфа-распад

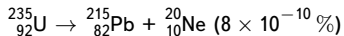
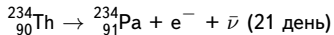
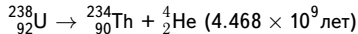
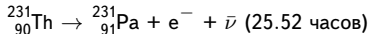
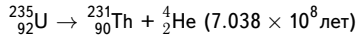


С $Z = 83$ начинается α -распад, не характерный для лёгких элементов.

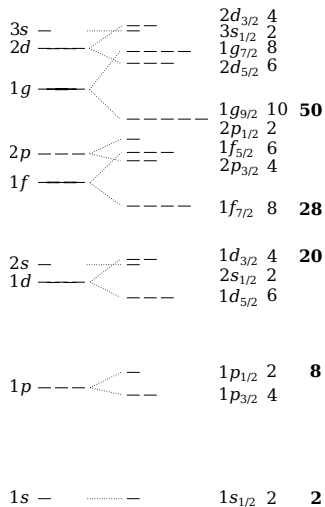
Границы альфа-распада

Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева



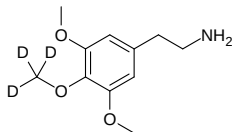
Примеры α , β^- и кластерного распада трансурановых элементов

Уровни энергии в теории оболочечного строения ядра

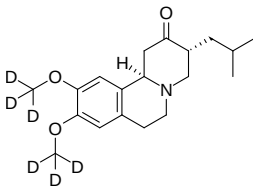


В основном — дейтерированные производные

- D_2O : $T_m = 3.82^\circ C$; $T_b = 101.42^\circ C$
- 4-D



- АУСТЕДО™ (деутетрабеназин)



... и порядка 10 других лекарственных средств