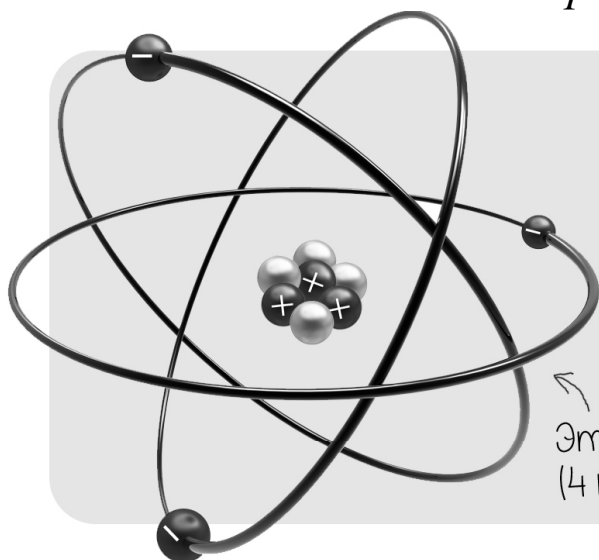


# Ядерная арифметика



**АТОМ** состоит из отрицательно заряженных **электронов** и положительно заряженного ядра.

**ЯДРО** состоит из положительных **протонов**  $\oplus$  и нейтральных **нейтронов**.

Это атом  ${}^7_3\text{Li}$   
(4 нейтрона, 3 протона, 3 электрона)



## Сравните размеры:

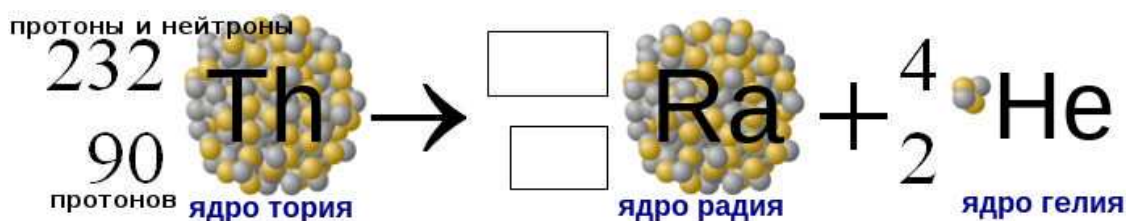
- Атом  $\sim 10^{-8}$  см
- Ядро  $\sim 10^{-13}$  см
- Нейтрон, протон  $\sim 10^{-13}$  см
- Электрон  $< 10^{-17}$  см

*99,999...% атома – это пустота между ядром и электронами!*

Кстати, электроны – это не шарик. Лучше думайте о нём как об облаке, размазанном по орбите вокруг ядра.

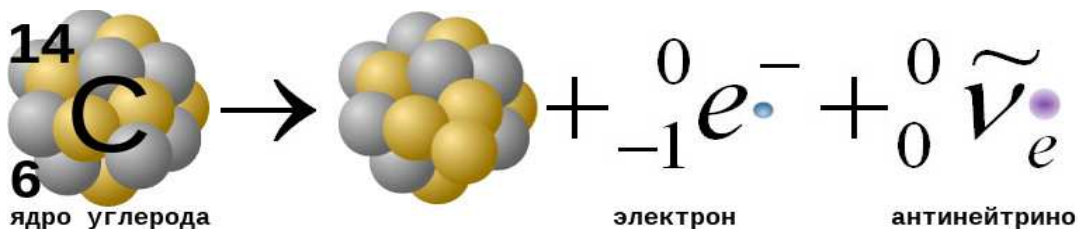
## Задачи

1. Снаружи Землю греет Солнце, а изнутри тепло выделяется при превращении ядер тория:



Сколько протонов и нейтронов у ядра радия, образовавшегося из ядра тория?

2. Все мы живые на Земле – представители углеродной жизни. Именно углерод помогает «склеивать» другие атомы между собой в наших телах (стволах, клетках). Среди ядер углерода в природе встречаются нестабильные. Они превращаются...



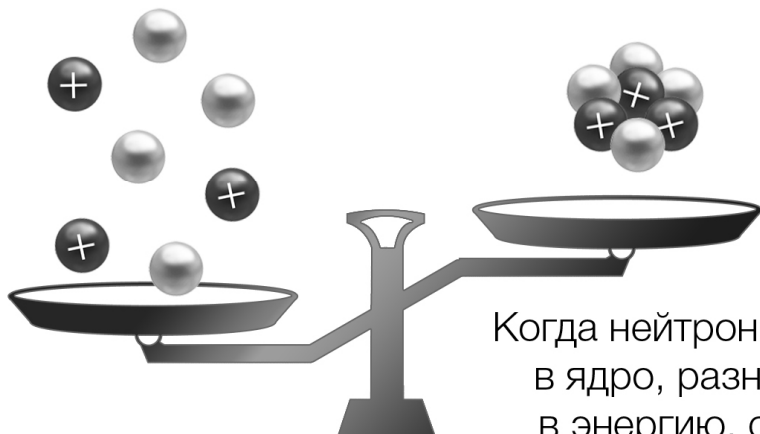
Во что превращаются нестабильные ядра углерода-14?

${}^9\text{C}$	${}^{10}\text{C}$	${}^{11}\text{C}$	${}^{12}\text{C}$	${}^{13}\text{C}$	${}^{14}\text{C}$	${}^{15}\text{C}$	${}^{16}\text{C}$	${}^{17}\text{C}$	${}^{18}\text{C}$
127 мс захватывает электрон с орбиты	19 с захватывает электрон с орбиты	20 мин захватывает электрон с орбиты	стабилен 99% в природе	стабилен 1% в природе	5700 лет (в живой природе одно ядро на 1000 миллиардов нерадиоактивных) ядро излучает электрон	2 с ядро излучает электрон	0,7 с ядро излучает электрон	191 мс ядро излучает электрон	92 мс ядро излучает электрон

Радиоактивны ли мы?

# Почему существуют ядра?

Зачем протонам и нейтронам объединяться?



**Оказывается, масса ядра меньше, чем сумма масс составляющих его протонов и нейтронов!**

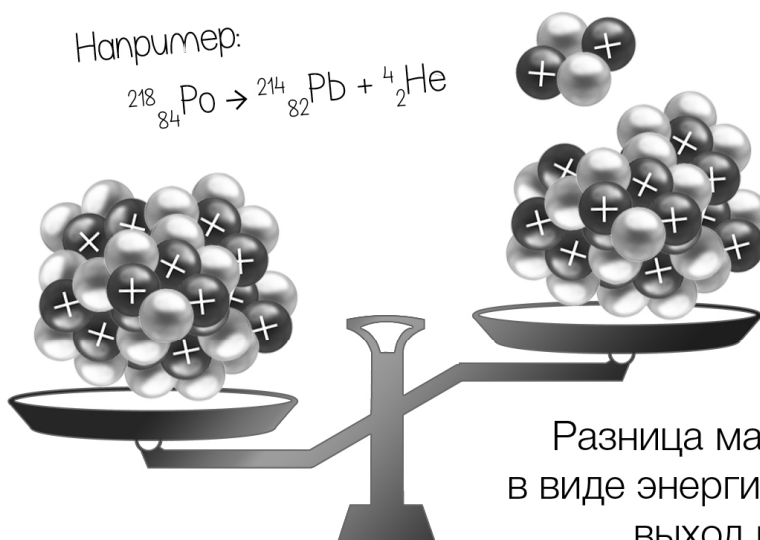
Когда нейтроны и протоны объединяются в ядро, разность масс превращается в энергию, связывающую их вместе.

Это и обуславливает энергетическую выгоду существования ядра.  
**Чем больше разность масс, тем ядро стабильнее!**

Если сообщить ядру энергию, эквивалентную разности масс для этого ядра, то оно развалится на отдельные нейтроны и протоны.

# Почему некоторые ядра делятся?

В чём причина радиоактивности ядер?

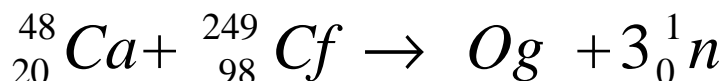


**Если ядро может разделиться на такие осколки, сумма масс которых будет меньше массы исходного ядра, то ядро так и сделает :)**

Разница масс так же выделяется в виде энергии — это энергетический выход реакции деления!

Выделившаяся энергия уносится осколками деления как кинетическая энергия.

3. В наукограде Дубна зарегистрировано образование нового тяжелого элемента в результате следующей ядерной реакции с вылетом трех нейтронов:



Определите, сколько протонов и нейтронов содержится в ядре оганесона Og, названного в честь руководителя эксперимента Юрия Оганесяна.

число протонов	<b><sup>39</sup>Ca</b> 0,9 секунды захватывает электрон с орбиты	<b><sup>40</sup>Ca</b> 96,9 % в природе	<b><sup>41</sup>Ca</b> 99400 лет захватывает электрон с орбиты	<b><sup>42</sup>Ca</b> стабилен 0,6% в природе	<b><sup>43</sup>Ca</b> стабилен 0,1% в природе
	<b><sup>38</sup>K</b> 35 дней захватывает электрон с орбиты	<b><sup>39</sup>K</b> стабилен 93,3% в природе	<b><sup>40</sup>K</b> 1,2 миллиарда лет 0,01% в природе 11 % захват электрона с орбиты 89 % β <sup>-</sup> вылет электрона из ядра	<b><sup>41</sup>K</b> стабилен 6,7% в природе	<b><sup>42</sup>K</b> 12 часов β <sup>-</sup> из ядра вылетает электрон
	<b><sup>37</sup>Ar</b> 35 дней захватывает электрон с орбиты	<b><sup>38</sup>Ar</b> стабилен 0,06% в природе	<b><sup>39</sup>Ar</b> 269 лет β <sup>-</sup> из ядра вылетает электрон	<b><sup>40</sup>Ar</b> стабилен 99,6% в природе	<b><sup>41</sup>Ar</b> 110 минут β <sup>-</sup> из ядра вылетает электрон
	число нейтронов				

4. Ядра с нечетным числом протонов и нечетным числом нейтронов (кроме четырех ядер-исключений) нестабильны. В приведенном выше фрагменте карты атомных ядер сколько таких нечетно-нечетных «небезучих» ядер?

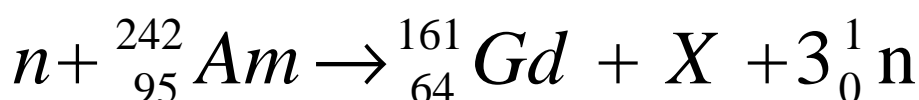
### Как Солнце получает энергию?

этот протон-протонный цикл дает 85% энергии нашего Солнца	энергия вылетающих частиц (единицы измерения — МэВ, для ядерных физиков это как карамельки для вас)	движения частиц	характерное время реакции (времена не надо складывать)
$p + p \rightarrow \begin{matrix} 2 \\ ? \end{matrix} H + \begin{matrix} ? \\ 1 \end{matrix} e^+ + \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} \nu_e$		0,42	5,8 миллиарда лет (не волнуйтесь, что так долго — протонов очень много)
$\begin{matrix} 2 \\ ? \end{matrix} H + p \rightarrow \begin{matrix} 3 \\ ? \end{matrix} He + \begin{matrix} ? \\ ? \end{matrix} \gamma$		5,49	1 секунда
$\begin{matrix} 3 \\ ? \end{matrix} He + \begin{matrix} 3 \\ ? \end{matrix} He \rightarrow \begin{matrix} ? \\ ? \end{matrix} He + 2 \begin{matrix} ? \\ ? \end{matrix} p$		12,86	150 тысяч лет
<b>Посчитайте, сколько всего энергии выделяется в протон-протонном цикле</b>			

Свет долго путешествует из глубины Солнца, где протекают эти реакции при температуре 14 миллионов градусов. Свет поглощается и переизлучается тысячи лет. А нейтрино  $\nu$  вылетают из Солнца в разные стороны беспрепятственно. Они регистрируются на Земле. Их число и их энергии подтверждают правильность наших представлений о ядерных реакциях внутри Солнца.

этот CNO цикл дает несколько процентов энергии нашего Солнца	энергия движения вылетающих частиц (единицы измерения - МэВ)	характерное время реакции (времена не надо складывать)
${}_{6}^{12}\text{C} + {}_{1}^{\square}p \rightarrow {}_{7}^{13}\text{N} + {}_{\square}^{\square}$	1,94	13 миллионов лет
${}_{7}^{13}\text{N} \rightarrow {}_{6}^{13}\text{C} + {}_{\square}^{\square} + {}_{0}^{0}\nu_e$	1,20	7 минут
${}_{6}^{13}\text{C} + {}_{1}^{\square}p \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + {}_{\square}^{\square}$	7,55	2,7 миллионов лет
${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{1}^{\square}p \rightarrow {}_{8}^{15}\text{O} + {}_{\square}^{\square}$	7,30	320 миллионов лет
${}_{8}^{15}\text{O} \rightarrow {}_{7}^{15}\text{N} + {}_{\square}^{\square} + {}_{0}^{0}\nu_e$	1,73	82 секунды
${}_{7}^{15}\text{N} + {}_{1}^{\square}p \rightarrow {}_{6}^{12}\text{C} + {}_{\square}^4$	4,97	110 тысяч лет
Посчитайте, сколько всего энергии выделяется в CNO-цикле		

5. По мнению двух израильских физиков перспективным для космического корабля может стать изотоп америция с массовым числом 242. Они утверждают, что обладая достаточным запасом этого изотопа, можно долететь до Марса за две недели. Изотоп нестабилен. При попадании нейтрона, он делится на два осколка с вылетом нескольких нейтронов. Одним из возможных каналов его распада является следующая ядерная реакция с вылетом трех нейтронов:



Допишите недостающие данные в реакции.

Тяжёлая частица

Положительный заряд

Очень низкая проникающая способность

Я толстый и медлительный Игу, как все, за счастьем я до первого препятствия. Но у магнита, как и все Верчусь, как белка в колесе.

Магнитное поле «закругляет» траектории движущихся заряженных частиц