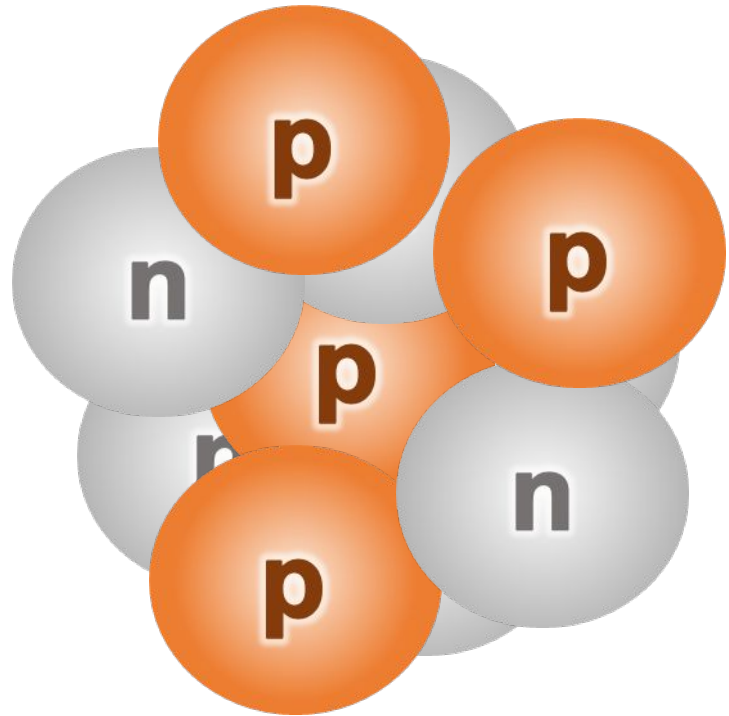


Ядра атомов состоят из
протонов и нейтронов

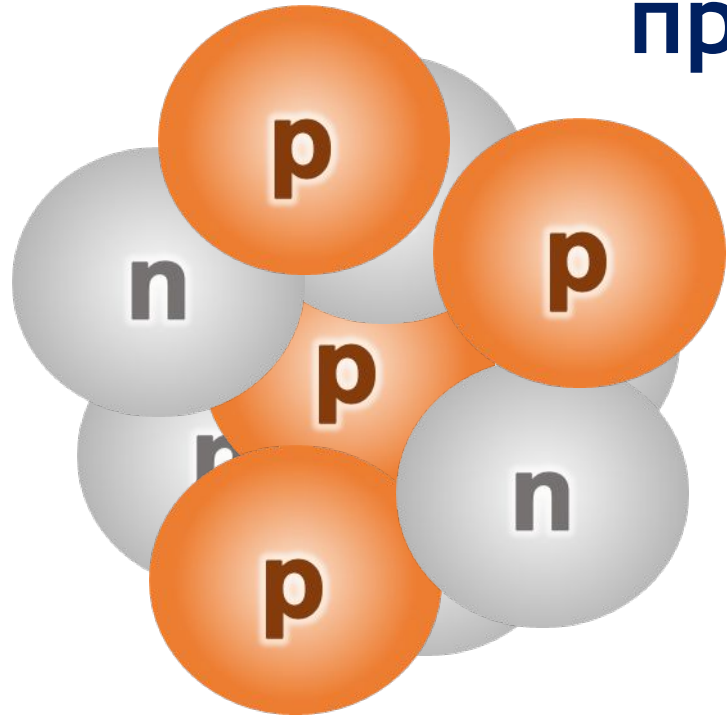
Протоны несут на себе
положительный
электрический заряд

Одноименные заряды
отталкиваются друг от
друга



**Какие силы
удерживают нуклоны
внутри ядра?**

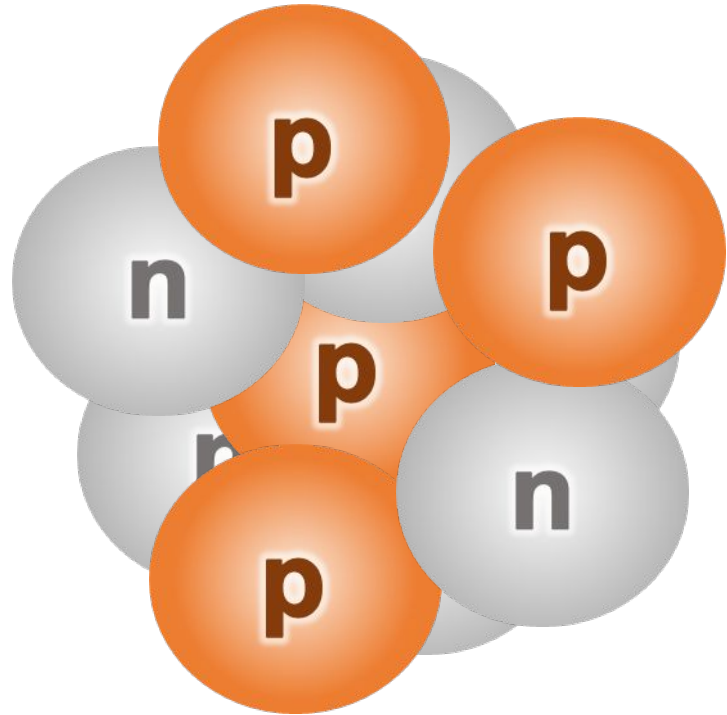
Может быть, это гравитационное притяжение...



Гравитационное притяжение протонов не то что не обеспечивает устойчивость ядра

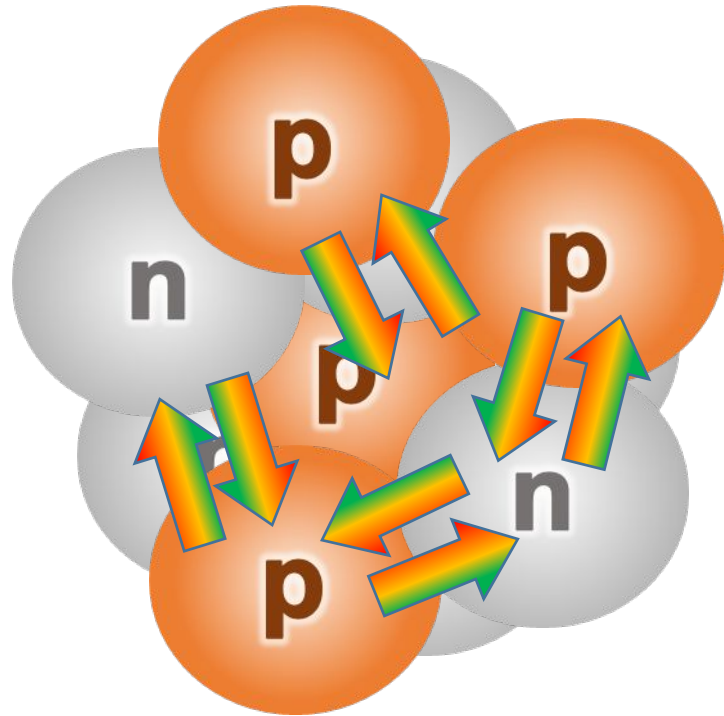
- оно вообще не заметно на фоне их взаимного электрического отталкивания.

Значит...



существуют иные силы притяжения, которые «скрепляют» нуклоны внутри ядра и превосходят по величине силу электрического отталкивания протонов.

Это -



ядерные силы

Ядерные силы служат
проявлением сильного
взаимодействия

Энергия связи.

Дефект масс.

Ядерные силы действуют между любыми двумя нуклонами: протоном и протоном, протоном и нейтроном, нейтроном и нейтроном.

Ядерные силы притяжения протонов внутри ядра примерно в 100 раз превосходят силу электрического отталкивания протонов.

Более мощных сил, чем ядерные, в природе не наблюдается.

Ядерные силы притяжения являются короткодействующими: радиус их действия составляет около 10^{-15} м.

Это и есть размер ядра - именно на таком расстоянии друг от друга нуклоны удерживаются ядерными силами.

При увеличении расстояния ядерные силы очень быстро убывают.

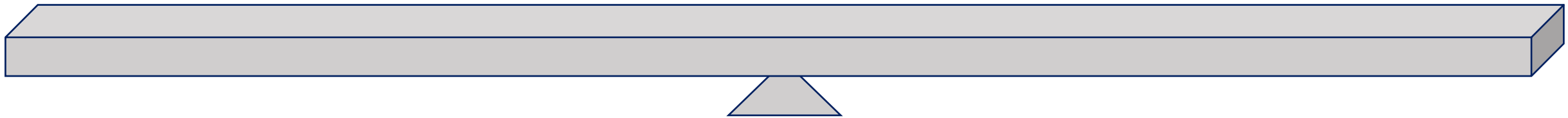
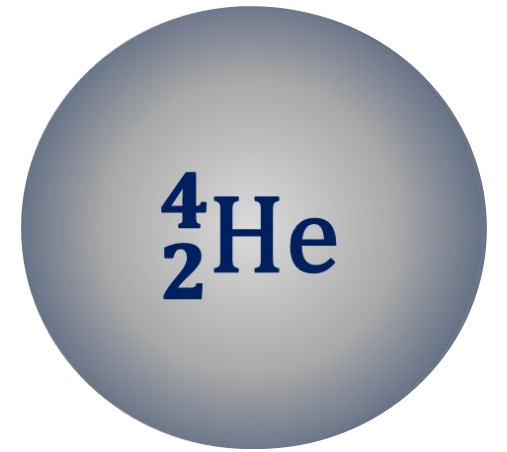
Если расстояние между нуклонами станет равным $2 \cdot 10^{-15}$ м, ядерные силы почти полностью исчезнут.

На расстояниях, меньших 10^{-15} м, ядерные силы становятся силами отталкивания.

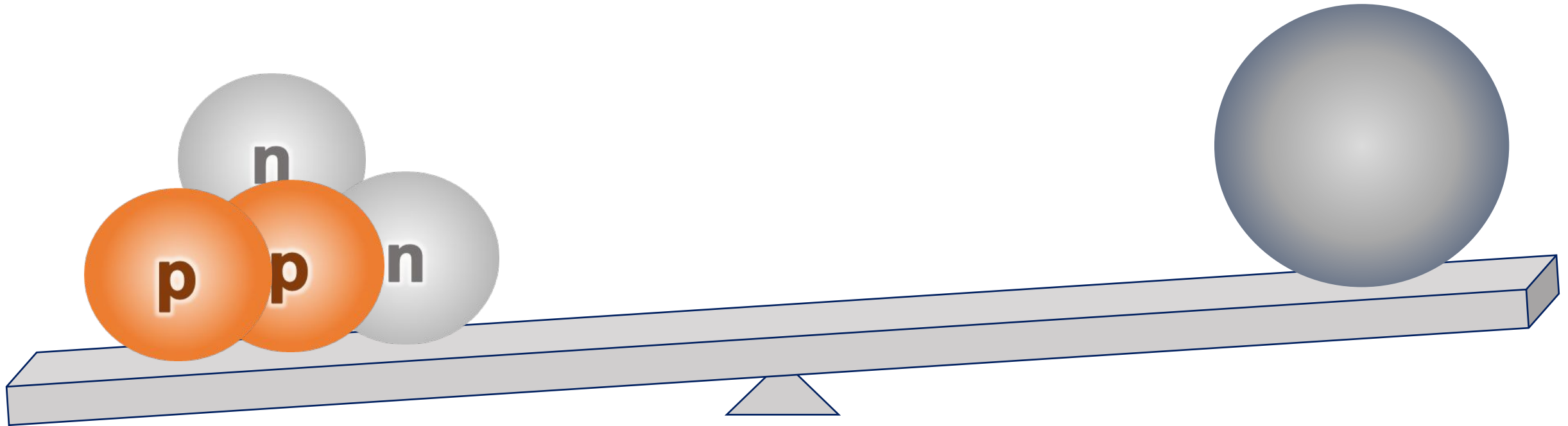
**Ядерные силы — это, так сказать,
«богатырь с очень короткими
руками»**



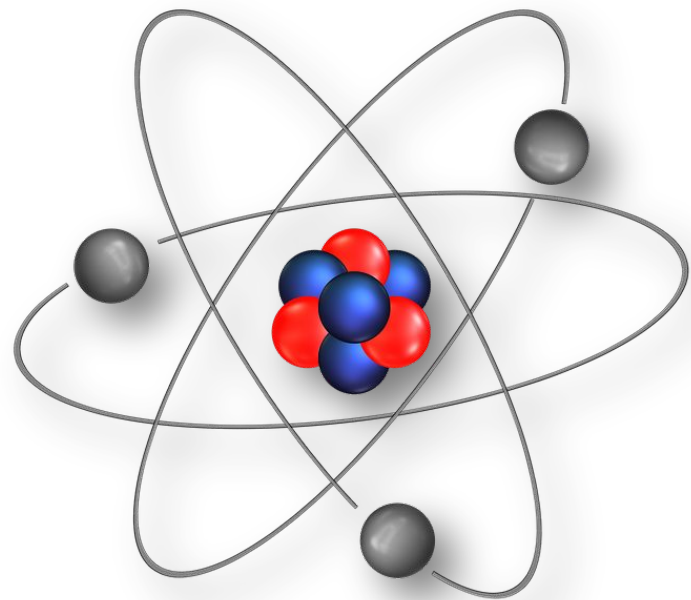
**Мы привыкли, что масса тела равна
сумме масс частей, из которых оно
состоит**



В ядерной физике от этой простой мысли придется отвыкать



Минимальную энергию,
необходимую для разделения
ядра на отдельные частицы,
называют **энергией связи**
ядра атома

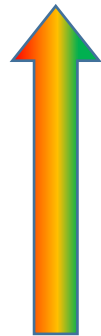
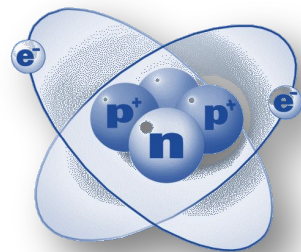


При соединении отдельных нуклонов в
ядро атома выделяется энергия, по
величине равная энергии связи.

Энергия связи очень большая величина:

образование 1 грамма гелия сопровождается выделением такой же энергии, как при сгорании почти целого вагона каменного угля...

1 г He



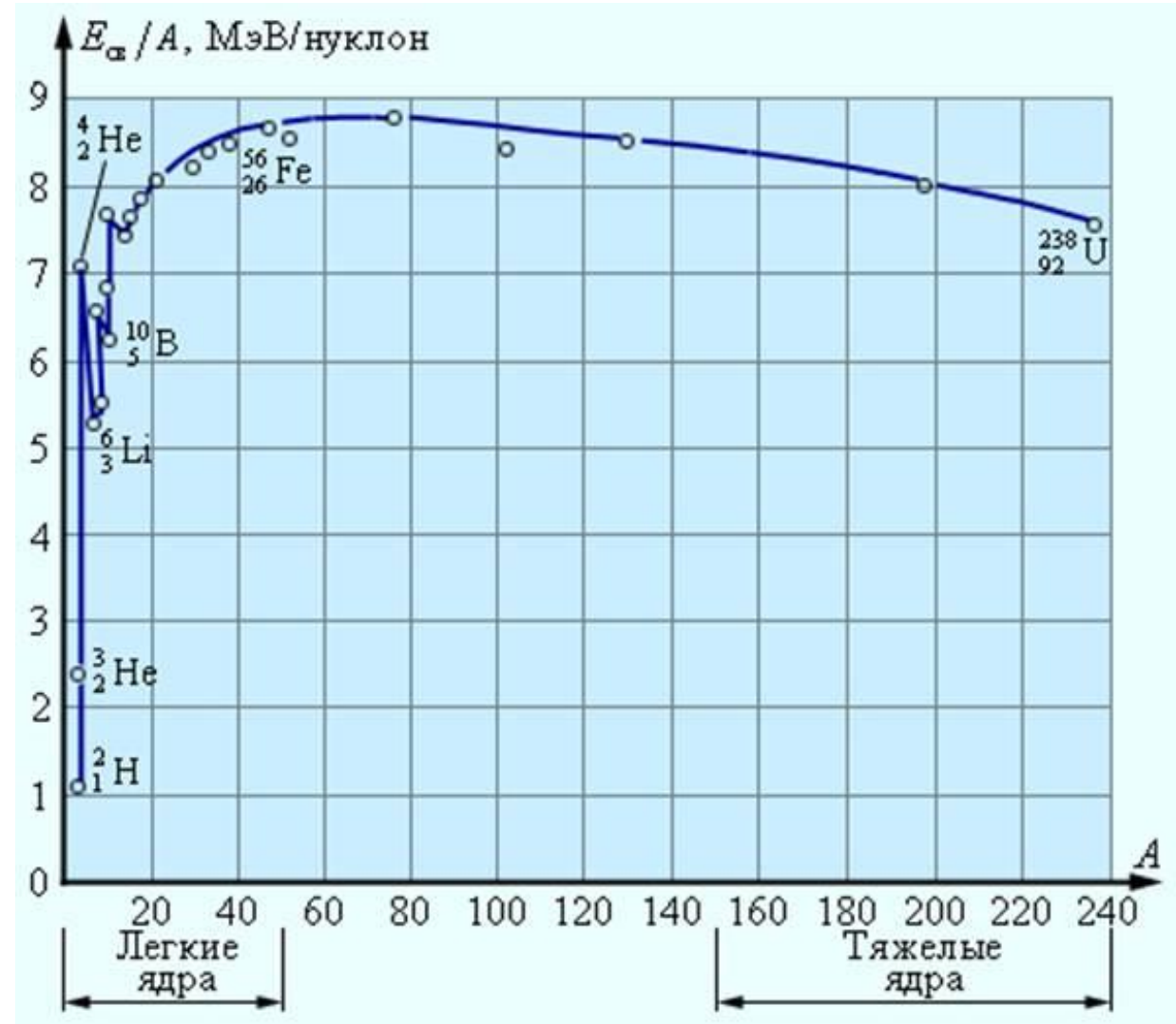
$$E = E$$



50 т
каменного
угля

Важной характеристикой ядра служит средняя энергия связи, приходящаяся на один нуклон (так называемая удельная энергия связи ядра).

Чем она больше, тем сильнее связаны между собой нуклоны, тем прочнее ядро.



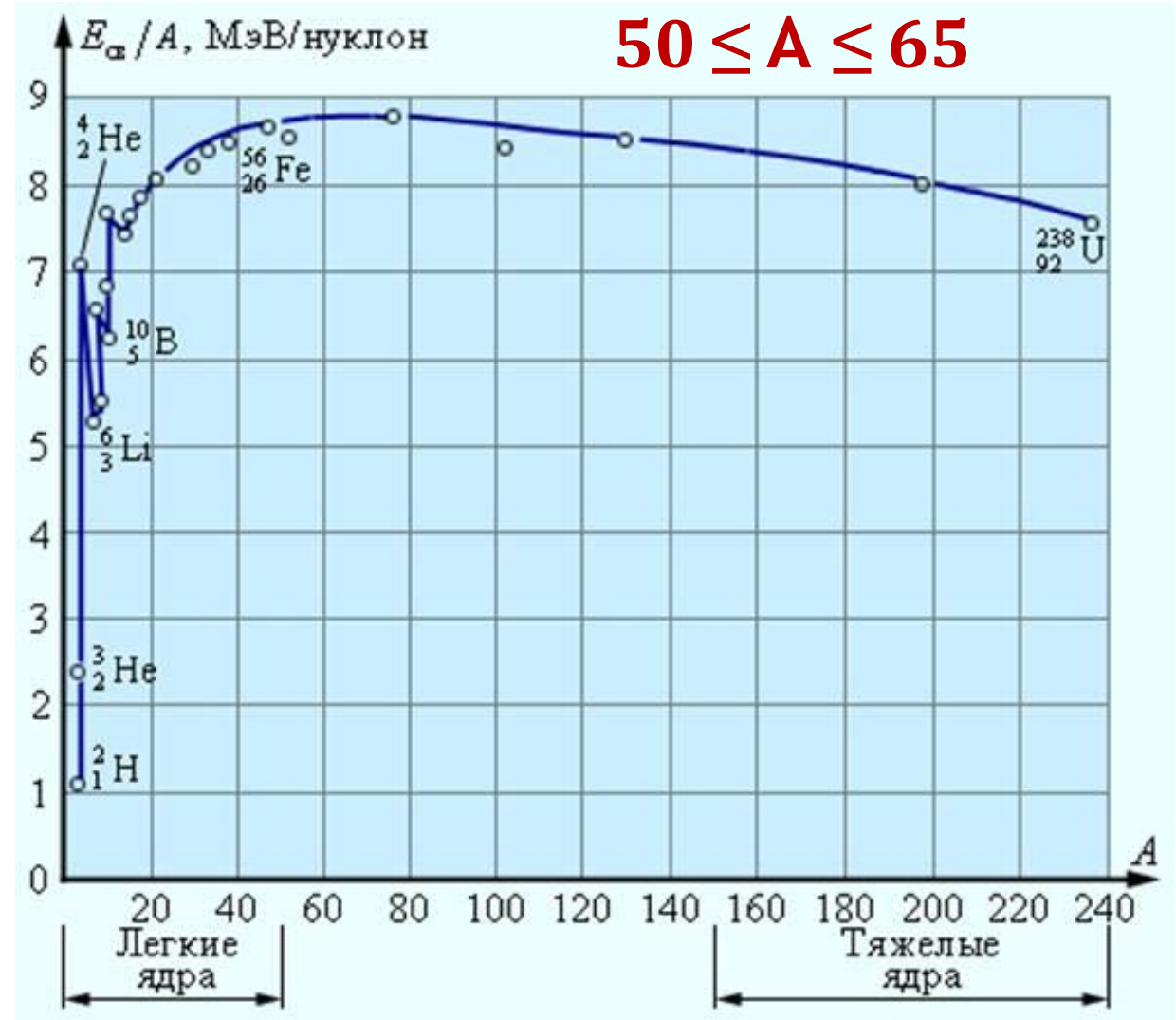
Для большинства ядер удельная энергия связи колеблется в пределах 8 МэВ и уменьшается для очень легких и очень тяжелых ядер.

Уменьшение удельной энергии связи при переходе к тяжелым элементам объясняется увеличением энергии кулоновского отталкивания протонов.

В тяжелых ядрах связь между нуклонами ослабевает, а сами ядра становятся менее прочными.

область наиболее устойчивых, прочных ядер

$$50 \leq A \leq 65$$



Каким же образом можно определить величину энергии связи ядра?

Другими словами, как рассчитать энергию, необходимую для расщепления ядра на протон и нейтрон.

Соотношение Эйнштейна между массой и энергией:

$$E = m \cdot c^2, \text{ где } c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Масса ядра меньше суммы масс покоя слагающих его протонов и нейтронов:

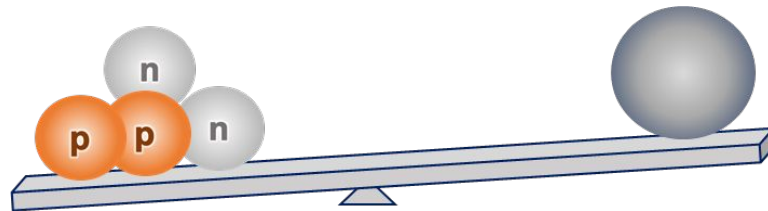
$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я.}} \quad \Delta m - \text{дефект масс}$$

Z - число протонов

m_p - масса протона

N - число нейтронов

m_n - масса нейтрона



$M_{\text{я.}}$ - масса ядра

$$E_{\text{св.}} = \Delta m \cdot c^2$$

Уменьшение массы при образовании ядра из нуклонов означает, что при этом уменьшается энергия этой системы нуклонов на значение энергии связи

Задача. Найти энергию связи для ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$

Дано:

$$Z = 2$$

$$N = 4 - 2 = 2$$

$$m_p = 1,00728 \text{ а.е.м.}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ а.е.м.}$$

$$m_e = 0,0005486 \text{ а.е.м.}$$

$$M_{\text{ат.}} = 4,00260 \text{ а.е.м.}$$

$$E_{\text{св.}} - ?$$

$$E_{\text{св.}} = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я.}}$$

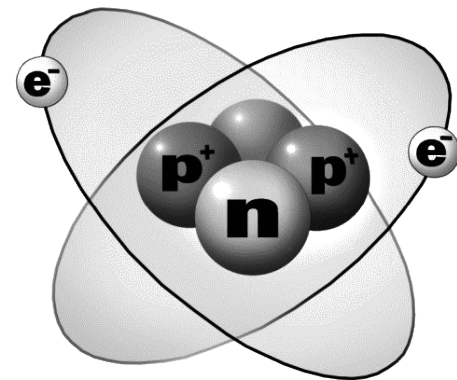
$$M_{\text{я.}} = M_{\text{ат.}} - Zm_e$$

$$M_{\text{я.}} = 4,00260 \text{ а.е.м.} - 2 \cdot 0,0005486 \text{ а.е.м.} = 4,00150 \text{ а.е.м.}$$

$$\Delta m = 2 \cdot 1,00728 \text{ а.е.м.} + 2 \cdot 1,00867 \text{ а.е.м.} - 4,00150 \text{ а.е.м.} = 0,0304 \text{ а.е.м.} =$$

$$= 0,0304 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 0,05048 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$E_{\text{св.}} = 0,05048 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 = 0,45432 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$



2 способ

Дано:

$$Z = 2$$

$$N = 4 - 2 = 2$$

$$m_p = 1,00728 \text{ а.е.м.}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ а.е.м.}$$

$$m_e = 0,0005486 \text{ а.е.м.}$$

$$M_{\text{ат.}} = 4,00260 \text{ а.е.м.}$$

$$E_{\text{св.}} - ?$$

$$E_{\text{св.}} = 931,5 \text{ МэВ} \cdot \Delta m$$

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я.}}$$

$$M_{\text{я.}} = M_{\text{ат.}} - Zm_e$$

$$M_{\text{я.}} = 4,00260 \text{ а.е.м.} - 2 \cdot 0,0005486 \text{ а.е.м.} = 4,00150 \text{ а.е.м.}$$

$$\Delta m = 2 \cdot 1,00728 \text{ а.е.м.} + 2 \cdot 1,00867 \text{ а.е.м.} - 4,00150 \text{ а.е.м.} = 0,0304 \text{ а.е.м.}$$

$$E_{\text{св.}} = 931,5 \text{ МэВ} \cdot 0,0304 \text{ а.е.м.} = 28,3176 \text{ МэВ} \approx 28,3 \text{ МэВ}$$

$$1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$28,3176 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 45,3648 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Домашнее задание

Найти энергию
связи для ядра
атома
алюминия



13. Относительная атомная масса некоторых изотопов¹, а. е. м.

Изотоп	Масса нейтрального атома	Изотоп	Масса нейтрального атома
${}^1_1\text{H}$ (водород)	1,00783	${}^{10}_5\text{B}$ (бор)	10,01294
${}^2_1\text{H}$ (дейтерий)	2,01410	${}^{11}_5\text{B}$ (бор)	11,00931
${}^3_1\text{H}$ (тритий)	3,01605	${}^{12}_6\text{C}$ (углерод)	12,00000
${}^3_2\text{He}$ (гелий)	3,01602	${}^{14}_7\text{N}$ (азот)	14,00307
${}^4_2\text{He}$ (гелий)	4,00260	${}^{15}_7\text{N}$ (азот)	15,00011
${}^6_3\text{Li}$ (литий)	6,01513	${}^{16}_8\text{O}$ (кислород)	15,99491
${}^7_3\text{Li}$ (литий)	7,01601	${}^{17}_8\text{O}$ (кислород)	16,99913
${}^8_4\text{Be}$ (бериллий)	8,00531	${}^{27}_{13}\text{Al}$ (алюминий)	26,98146

¹ Для нахождения массы ядра необходимо вычесть суммарную массу электронов.