

# РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Окунев Дмитрий Олегович

Кафедра физики, 216н



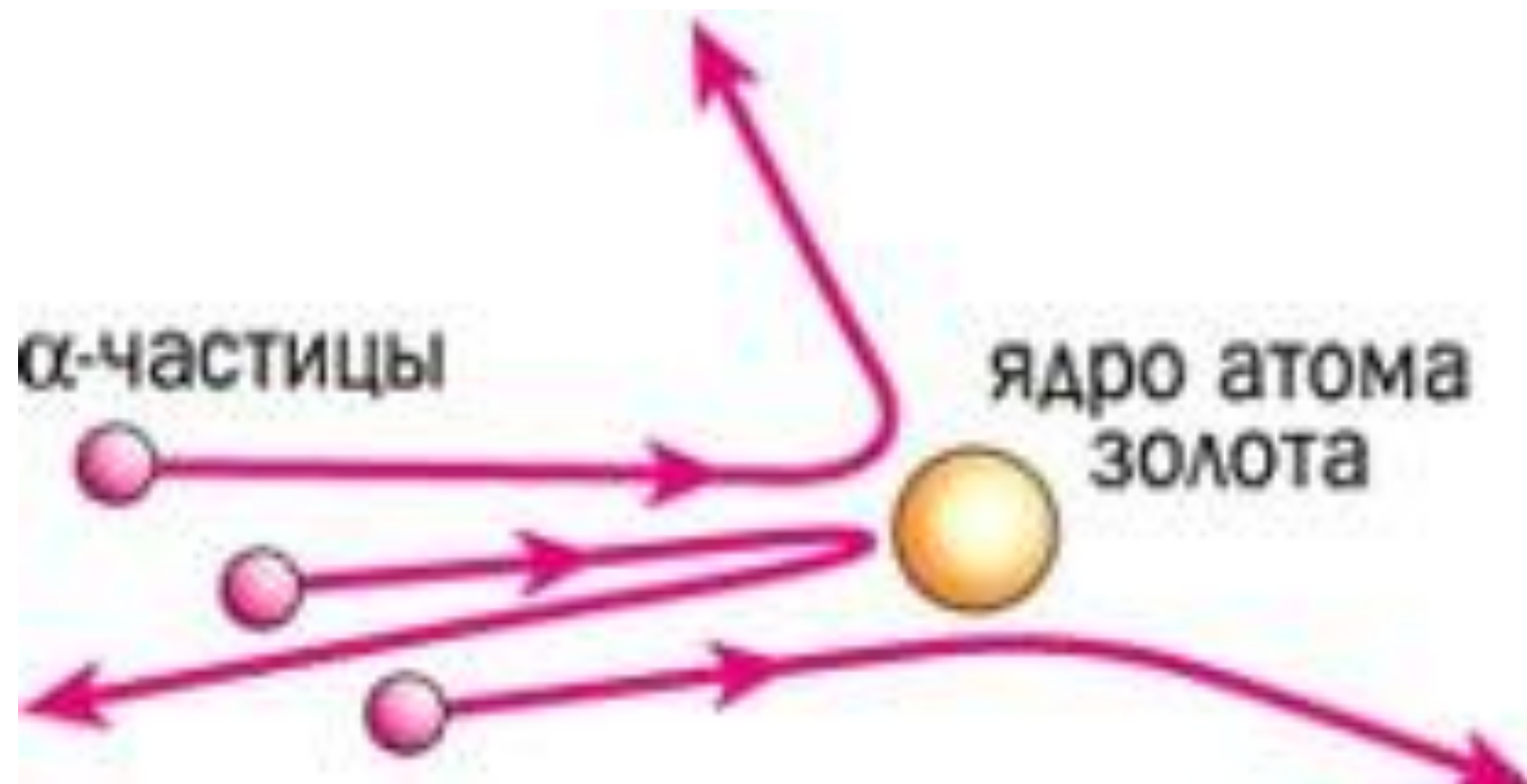
**Н.А. ОПАРИНА, О.Н. ПЕТРОВИЧ**  
**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ для студентов  
технических специальностей,  
Новополоцк 2003

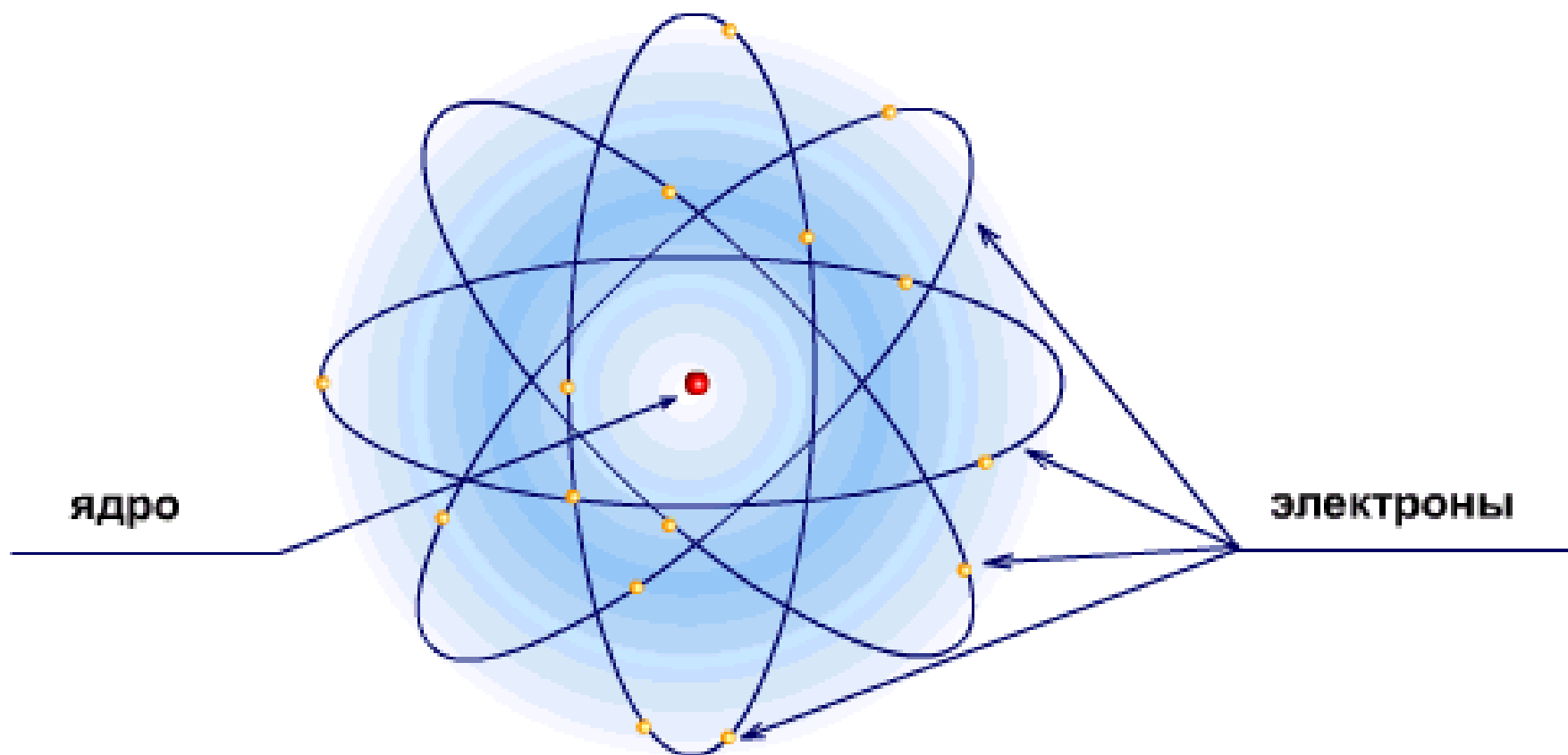
# 1. АТОМНОЕ ЯДРО

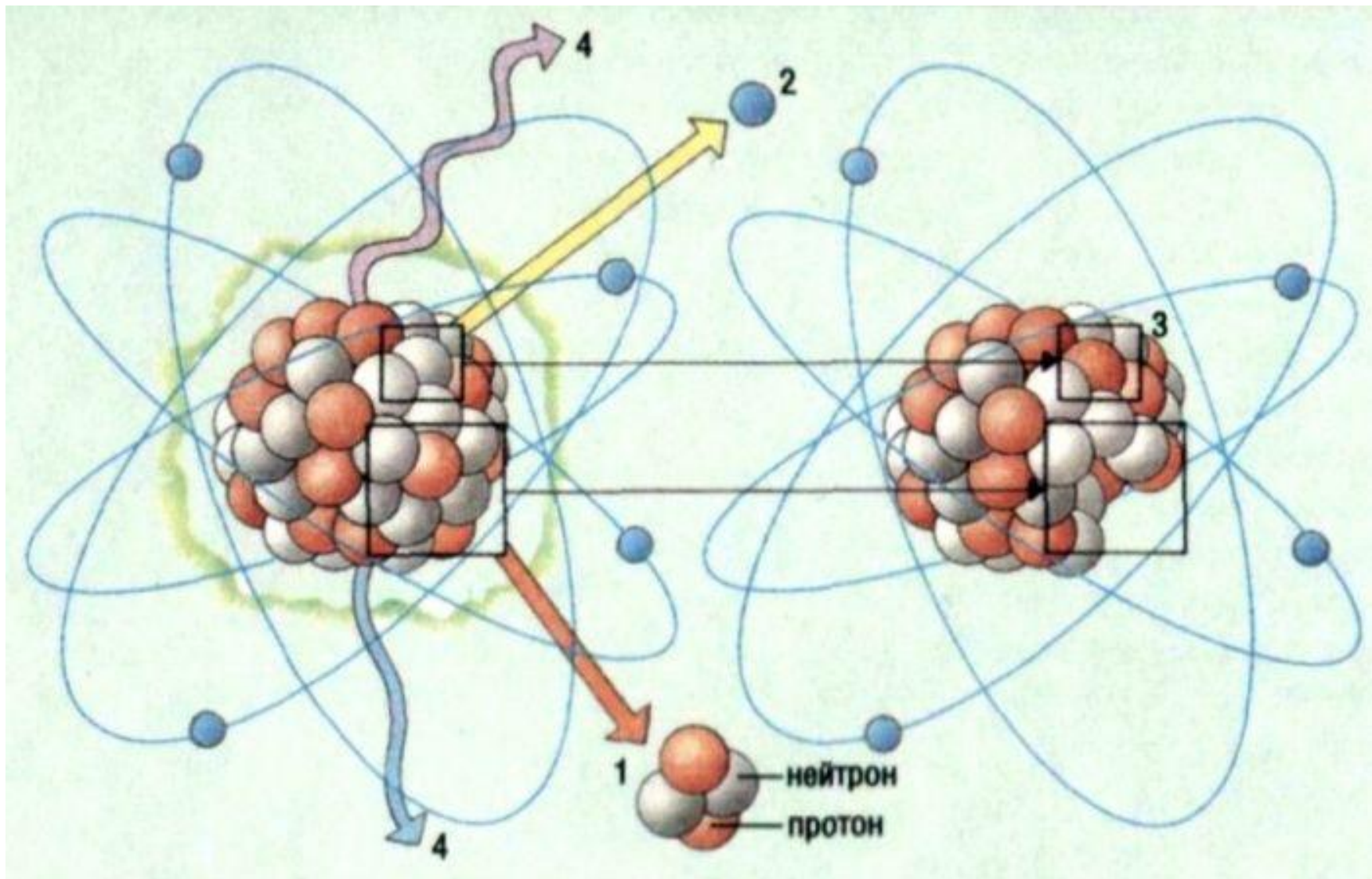
- 1.1. Состав ядра

В 1911 году Э. Резерфорд предложил ядерную модель атома: в центре атома расположено массивное ядро, вокруг которого вращаются электроны.





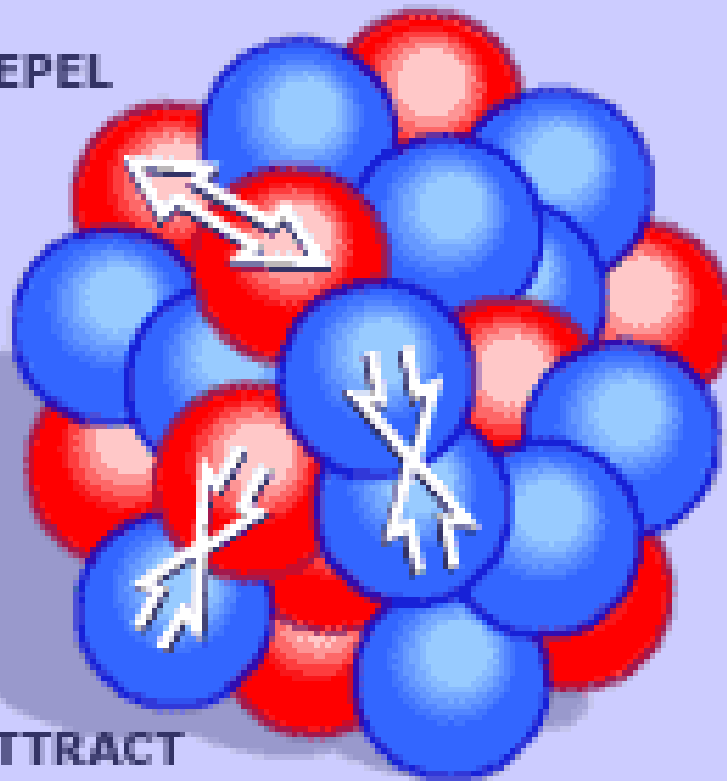




- **Установлено сложное строение ядра.**
- **В 1932 году впервые была высказана идея о том, что ядра атомов состоят из *протонов (положительно заряжены) и нейтронов (нейтральны)*. Эти частицы получили название *нуклонов – "ядерных частиц"*.**

## ATOMIC NUCLEI AND THE STRONG FORCE

REPEL



ATTRACT



The strong force is a type of interaction that binds together protons and neutrons in a nucleus. Without it the positively charged protons would repel each other and blow the nucleus apart



# Масса

- масса протона

$$m_p = 938.28 \text{ МэВ} = 1836.1 \cdot m_e;$$

- масса нейтрона

$$m_n = 939.57 \text{ МэВ} = 1838.6 \cdot m_e$$

- ( $m_e = 0.511 \text{ МэВ} = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ )

- **За одну атомную единицу массы принимают  $1/12$  часть массы нейтрального атома углерода**
- **$1 \text{ а.е.м.} = 931,502 \text{ МэВ} = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$**
- **$1 \text{ а.е.м.} = 1 \text{ дальтон}$ , внесистемная единица массы**

## Энергия

$$E = m \cdot c^2$$

$$1\text{эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Массу частиц в ядерной физике также измеряют в **единицах энергии.**

# Электрический заряд

- Многие ядерные частицы несут в себе электрический заряд.
- Его выражают часто в единицах заряда электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.
- Заряд протона  $q_p = +1 e$ . Заряд нейтрона равен нулю.

- **Размер ядра. В первом приближении ядро можно считать шаром, радиус которого довольно точно определяется формулой**

$$R_{я} = 1.3 \cdot 10^{-15} \cdot A^{\frac{1}{3}} \text{ м} = 1.3 \cdot A^{\frac{1}{3}} \text{ Ф}$$

- **где Ф (ферми) – название единицы длины,  $1 \text{ Ф} = 10^{-15} \text{ м}$ .**

## 1.2. Характеристики ядра

- ***Зарядовое число  $Z$***  равно количеству протонов, входящих в состав ядра, заряд которого равен  $+Ze$ .
- **Число  $Z$  определяет порядковый номер химического элемента в таблице Менделеева, поэтому его также называют *атомным номером ядра*.**

- ***Массовое число A*** есть суммарное количество нуклонов в ядре.
- Понятно, что **число нейтронов в ядре равно**

$$N = A - Z.$$

# Обозначение ядер



- где X – обозначение химического элемента.
- Например, для ядер гелия –  ${}^4_2\text{He}$
- для ядер урана –  ${}^{238}_{92}\text{U}$



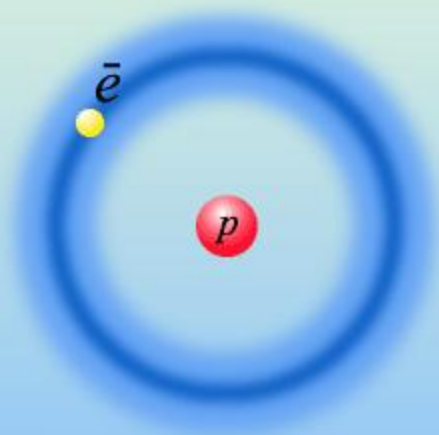
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0		
1	H 1 1,00797								He 2 4,0026		
2	Li 3 6,939	Be 4 9,0122	B 5 10,811	C 6 12,01115	N 7 14,0067	O 8 15,9994	F 9 18,9984		Ne 10 20,179		
3	Na 11 22,9898	Mg 12 24,305	Al 13 26,9815	Si 14 28,086	P 15 30,9738	S 16 32,064	Cl 17 35,453		Ar 18 39,948		
4	K 19 39,102	Ca 20 40,08	Sc 21	Ti 22 47,9	V 23 50,942	Cr 24 51,996	Mn 25 54,938	Fe 26 55,847	Co 27 58,9332	Ni 28 58,71	
5	Cu 29 63,546	Zn 30 65,37	Ga 31 69,72	Ge 32 72,59	As 33 74,8216	Se 34 78,96	Br 35 79,904		Kr 36 83,8		
6	Rb 37 85,47	Sr 38 87,62	Y 39	Zr 40 91,22	Nb 41 92,906	Mo 42 95,94	Tc 43 [99]	Ru 44 101,07	Rh 45 102,905	Pd 46 106,4	
7	Ag 47 107,868	Cd 48 112,4	In 49 114,82	Sn 50 118,69	Sb 51 121,75	Te 52 127,6	I 53 126,9044		Xe 54 131,3		
8	Cs 55 132,905	Ba 56 137,34	La 57	Hf 72 178,49	Ta 73 180,948	W 74 183,85	Re 75 186,2	Os 76 190,2	Ir 77 192,2	Pt 78 195,09	
9	Au 79 196,967	Hg 80 200,59	Tl 81 204,37	Pb 82 207,19	Bi 83 208,98	Po 84 [210]	At 85 [210]		Rn 86 [222]		
10	Fr 87 [223]	Ra 88 [226]	Ac 89	Rf 104 [261]	Db 105 [262]	Sg 106 [263]	Bh 107 [262]	Hs 108 [265]	Mt 109 [266]	Uun 110 [271]	Uuu 111 [273]

*Лантаноиды и Actиноиды*

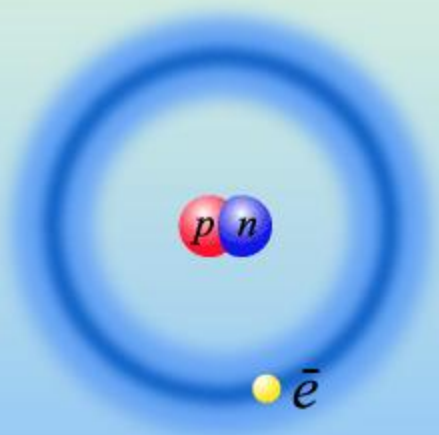
л	Ce 58 140,12	Pr 59 140,907	Nd 60 144,24	Pm 61 [147]	Sm 62 150,35	Eu 63 151,96	Gd 64 157,25	Tb 65 158,924	Dy 66 162,5	Ho 67 164,93	Er 68 167,26	Tm 69 168,934	Yb 70 173,04	Lu 71 174,967
а	Th 90 232,038	Pa 91 [231]	U 92 238,03	Np 93 [237]	Pu 94 [244]	Am 95 [243]	Cm 96 [247]	Bk 97 [247]	Cf 98 [252]	Es 99 [254]	Fm 100 [257]	Md 101 [257]	No 102 [255]	Lr 103 [256]

- Ядра с разными  $A$ , но одинаковыми  $Z$  называются *изотопами*.
- Ядра с одинаковым числом  $A$ , но различными  $Z$  называют *изобарами*.
- Ядра с одинаковым числом  $N$ , но различными  $Z$  называют *изотонами*.

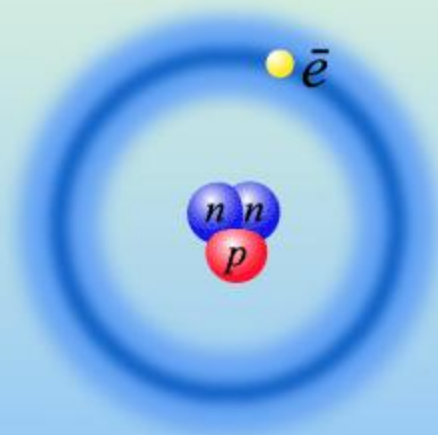
*протий*

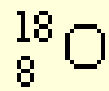
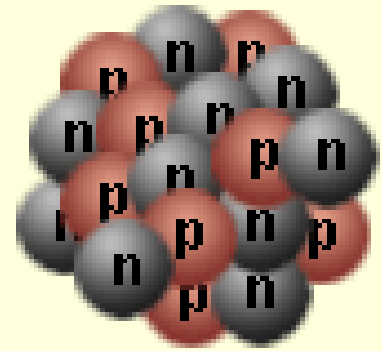
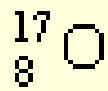
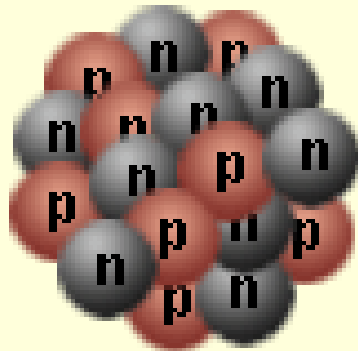
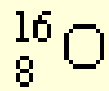
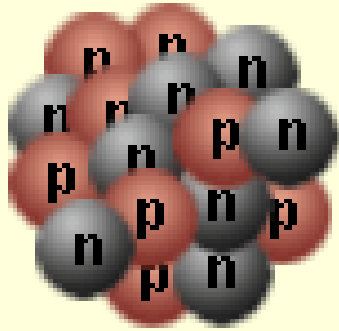


*дейтерий*



*тритий*





- В настоящее время известно около 350 устойчивых и 2000 неустойчивых *радиоактивных* ядер.
- В природе встречаются элементы с атомным номером  $Z$  от 1 до 92, исключая технеций (Tc;  $Z = 43$ ) и прометий (Pm;  $Z = 61$ ).
- Остальные элементы с  $Z$  от 93 до 118 были получены искусственно (трансурановые).

## 1.3. Энергия связи ядра

- **Масса ядра всегда меньше суммы масс нуклонов**, составляющих ядро. Разность  $\Delta M$  между суммой масс нуклонов и массой  $M_{\text{я}}$  ядра можно выразить формулой

$$\Delta M = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M_{\text{я}}$$

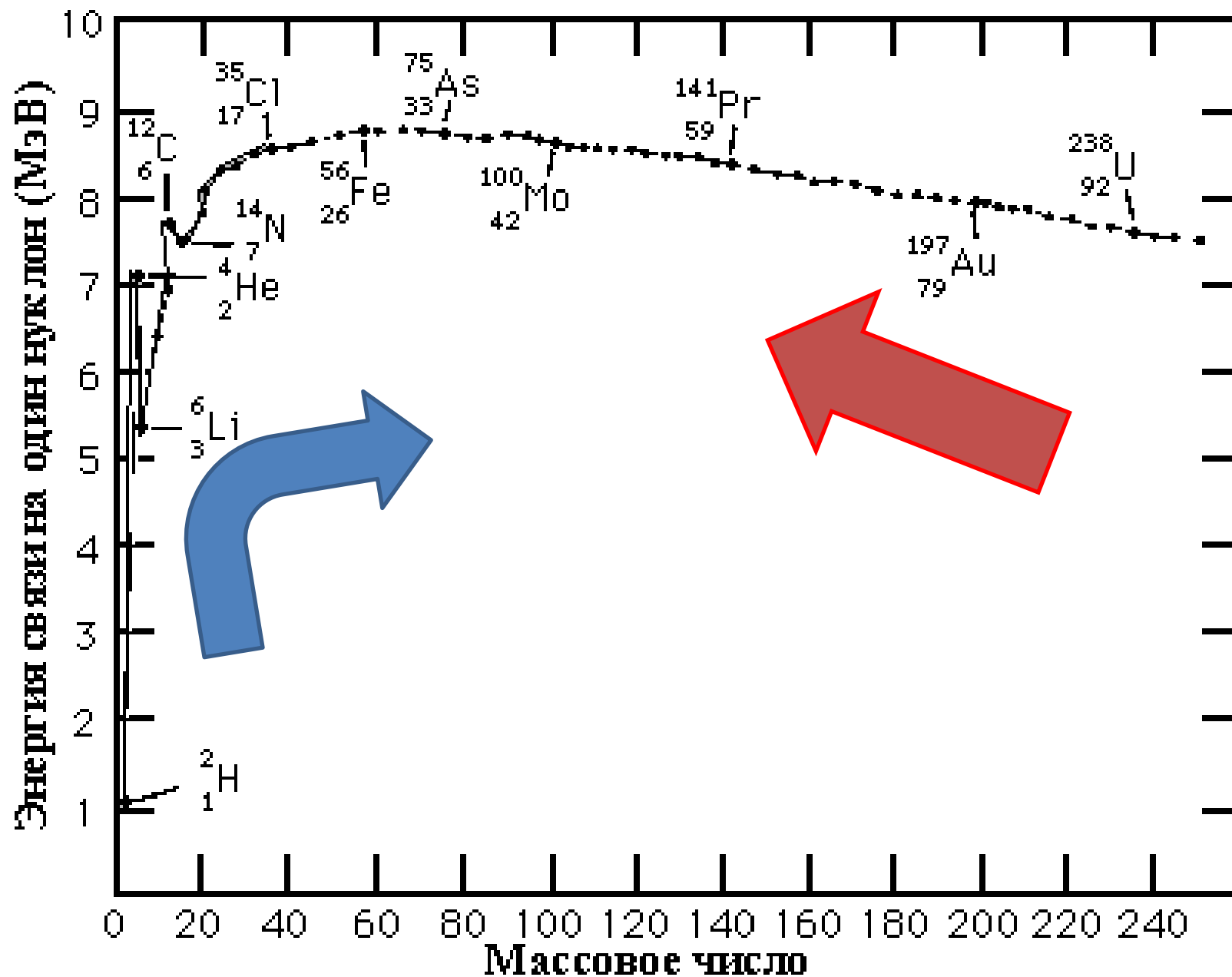
- ***Разность  $\Delta M$  называется **дефектом массы**.***
- ***Разности масс  $\Delta M$  соответствует энергия, которую называют **энергией связи  $E_{св}$  нуклонов в ядре**.***
- Она равна той работе, которую нужно совершить, чтобы разделить нуклоны ядра и удалить друг от друга на бесконечное расстояние, при котором нуклоны перестанут взаимодействовать

$$E_{\text{св}} = \Delta M \cdot c^2 = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M_{\text{я}}) \cdot c^2$$

- **Удельная энергия связи  $\varepsilon$  равна отношению энергии  $E_{\text{св}}$  нуклонов в ядре к числу нуклонов  $A$**

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A} = \frac{\Delta M \cdot c^2}{A}$$





- Чем больше удельная энергия связи  $\varepsilon$ , тем прочнее, устойчивее ядро.

- Энергетически выгодны два противоположных процесса:

*деление тяжелых ядер* на более легкие;

*синтез (слияние) легких ядер* в более тяжелое.

Оба процесса должны сопровождаться выделением энергии.

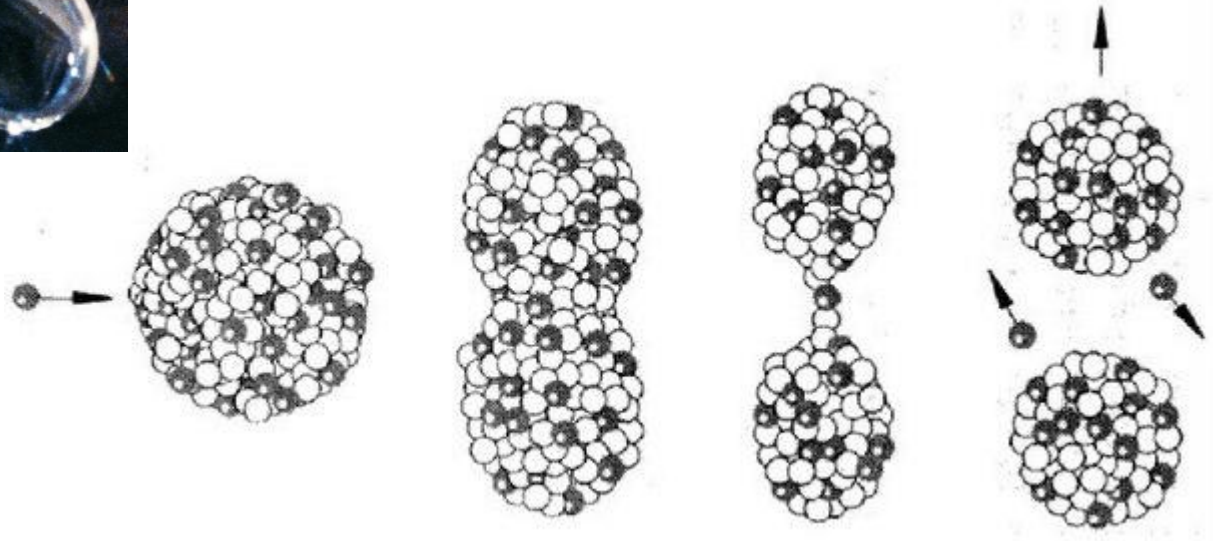
- В природе синтез легких ядер происходит в звездах, деление тяжелых – в недрах планет и прочих тел.
- Человек научился применять ядерную реакцию деления в атомном оружии и атомной энергетике, синтез – в термоядерном оружии (водородная бомба).

- Устойчивость ядер означает, что между нуклонами действуют особые силы, осуществляется особое взаимодействие.
- **Взаимодействие между нуклонами называется *сильным*, осуществляющие же его силы называются ядерными силами сильного взаимодействия.**

# Капельная модель ядра

В ней устанавливается *аналогия ядра с каплей жидкости*: практически одинаковая плотность вещества в разных ядрах, малая сжимаемость, способность делиться на мелкие части.

Foto: NASA



**Формула Вайцзеккера:**  
полуэмпирическое выражение  
для энергии связи ядра,  
полученное на основе капельной  
модели.

$$E_{св} = 14.0 \cdot A - 13.1 \cdot A^{2/3} - 0.585 \cdot Z(Z - 1) \cdot A^{-1/3} - 18.1 \cdot (A - 2Z)^2 \cdot A^{-1} + \delta A^{-1}$$

# Оболочечная модель ядра

- Нуклоны в ядре, как и электроны в атоме, образуют определенные оболочки и подоболочки.
- Эта модель удачно объяснила существование особо устойчивых ядер, у которых число протонов либо нейтронов (либо оба эти числа) равны

***2, 8, 20, 28, 40, 50, 82, 114, 126, 184***

Ядра с таким числом протонов или нейтронов называли *магическими*.



- Ядра, у которых и число протонов, и число нейтронов являются магическими, называли **дважды магическими**.

