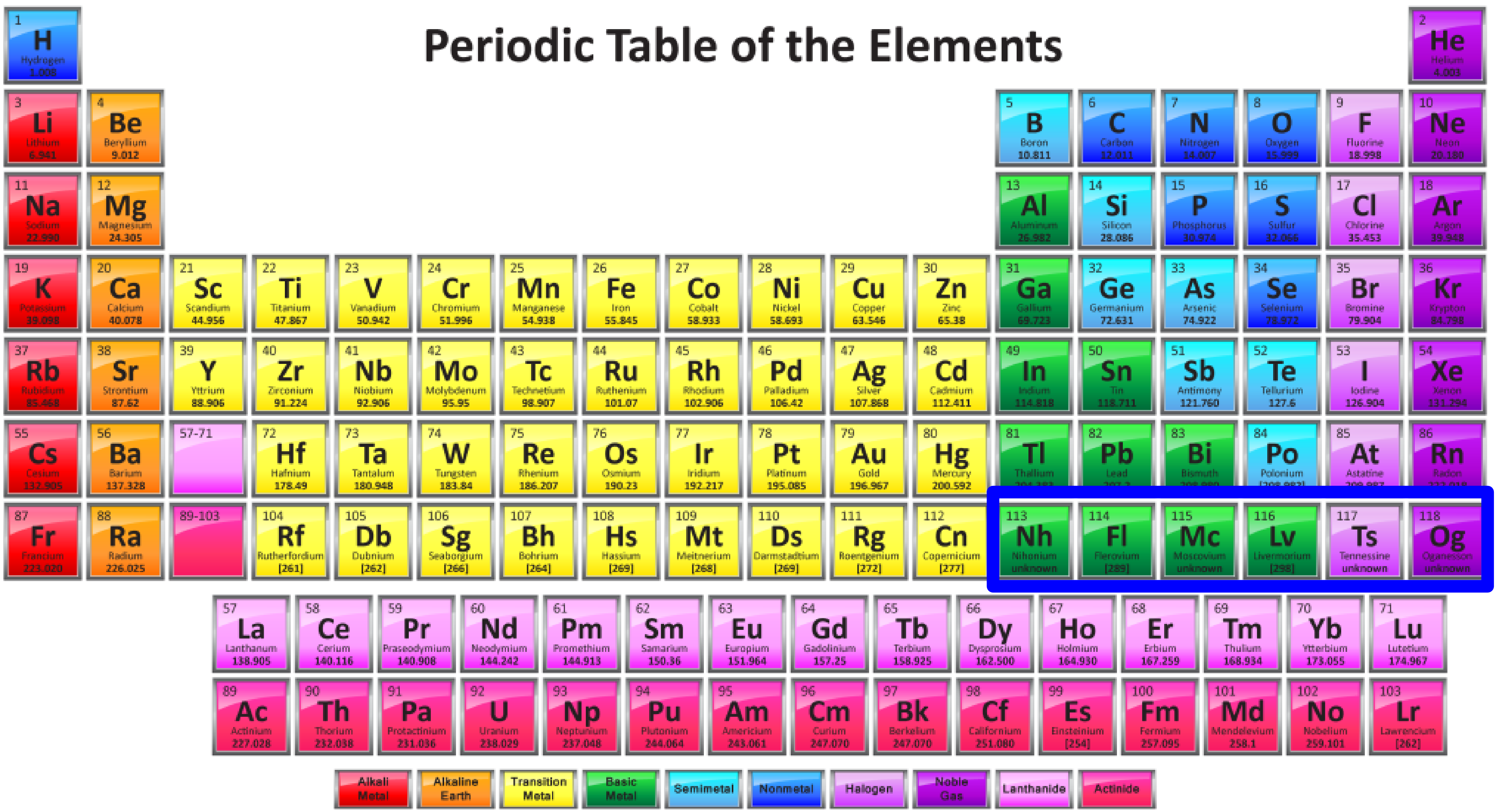
Лятна учителска школа 02-06.07.2018
Физика на микросвета

Естествена и изкуствена радиоактивност. Откриване. Видове лъчения. Таблица на изотопите.

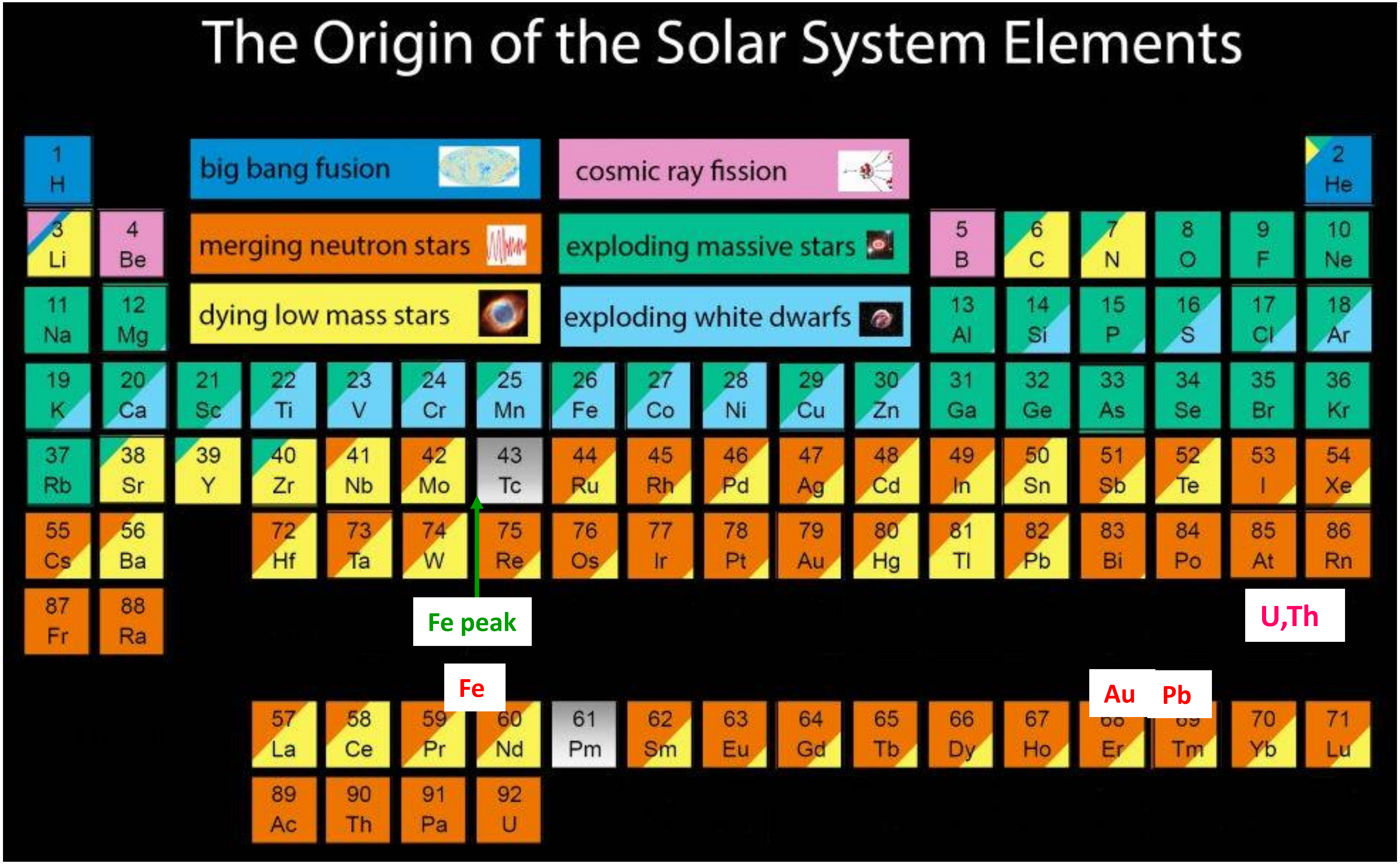
Георги Райновски

Софийски Университет
Св. Климент Охридски

Какъв е произхода на химичните елементите



Какъв е произхода на химичните елементите

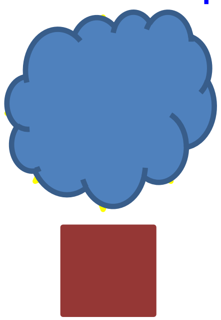


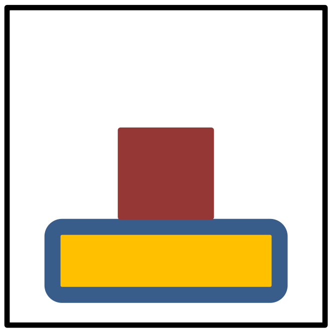
По важни събития от историята на ядрената физика

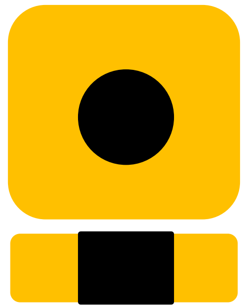
• 1896 – Becquerel – открива радиоактивността;

Има ли флуоресциращи материали, които излъчват X – лъчи?

$K_2UO_2(SO_4)_2$



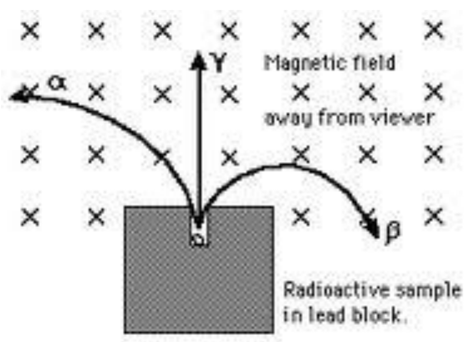


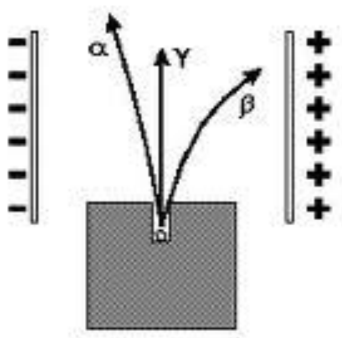


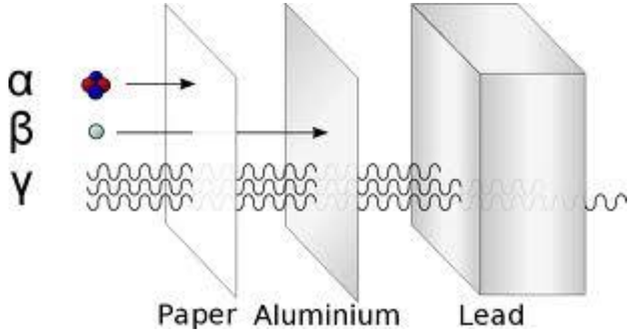
Систематични измервания!

Нов тип лъчение
спонтанна радиация

S.P. Thompson, Lord Kelvin







• 1898 – Marie and Pierre Curie – термина радиоактивност и изолират Ra и Po;

По важни събития от историята на ядрената физика

- 1911 – Rutherford – открива атомното ядро
- 1917 – Rutherford, Mardsen протона;

$$^{4}He + ^{14}N \rightarrow ^{1}H + ^{17}O$$

- 1919 – Rutherford – открива ядрените превръщания при ядрени реакции;
- 1919 – Aston – разработва първия мас спектрометър;
- 1925 – Goudsmit, Uhlenbeck – собствен спин;
- 1928 – Gamov, Gurney, Condon – теория на α- разпада;
- 1930 – Pauli – неутринна хипотеза;
- 1931 – Van de Graaff – първи електростатичен ускорител;
- 1931 – Sloan, Lawrence – първи линеен ускорител;
- 1932 – Lawarence, Livingston – първи циклотрон;
- 1932 – Anderson – открива позитрона;

По важни събития от историята на ядрената физика

- 1932 – Chadwick – открива неутрона;

$$^{4}He + {}^{9}Be \rightarrow {}^{12}C + n$$

- 1932 – Cockcroft, Walton – ядрени реакции, чрез използване на ускорител;

$$^{1}H + {}^{7}Li \rightarrow {}^{4}He + {}^{4}He \qquad E({}^{1}H) = 700\ keV,\ Ecb \approx 1\ MeV$$

- 1934 – I. Curie, F. Joliot – откриват изкуствената радиоактивност;

$$\alpha + {}^{27}Al \rightarrow {}^{30}P + n$$

$$^{30}P \rightarrow {}^{30}Si + e^{+} + \nu$$

- 1934 – E. Fermi – теория на β-разпада;
- 1935 – Yukawa – мезонна хипотеза;
- 1935 – Bothe – предлага техниката на съвпадение;
- 1936 – N. Bohr – теория на съставното ядро;

По важни събития от историята на ядрената физика

- 1938/39 – Hahn, Strassmann/ Meitner and Frisch – откриват ядреното делене;

1930 – откриване на неутрона – Chadwick (N.P. 1932)

Какво се случва когато се облъчат ядра с неутрони?

1934 - 6 – захват на неутрон + β-разпад – Fermi (N.P. 1938)

$$n + {}^{A}_{Z}X_{N} \longrightarrow {}^{A+1}_{Z}X_{N+1} \xrightarrow{\beta^-} {}^{A+1}_{Z+1}X_{N}$$

Може ли да синтезираме елемент с по-голям атомен номер от 92?

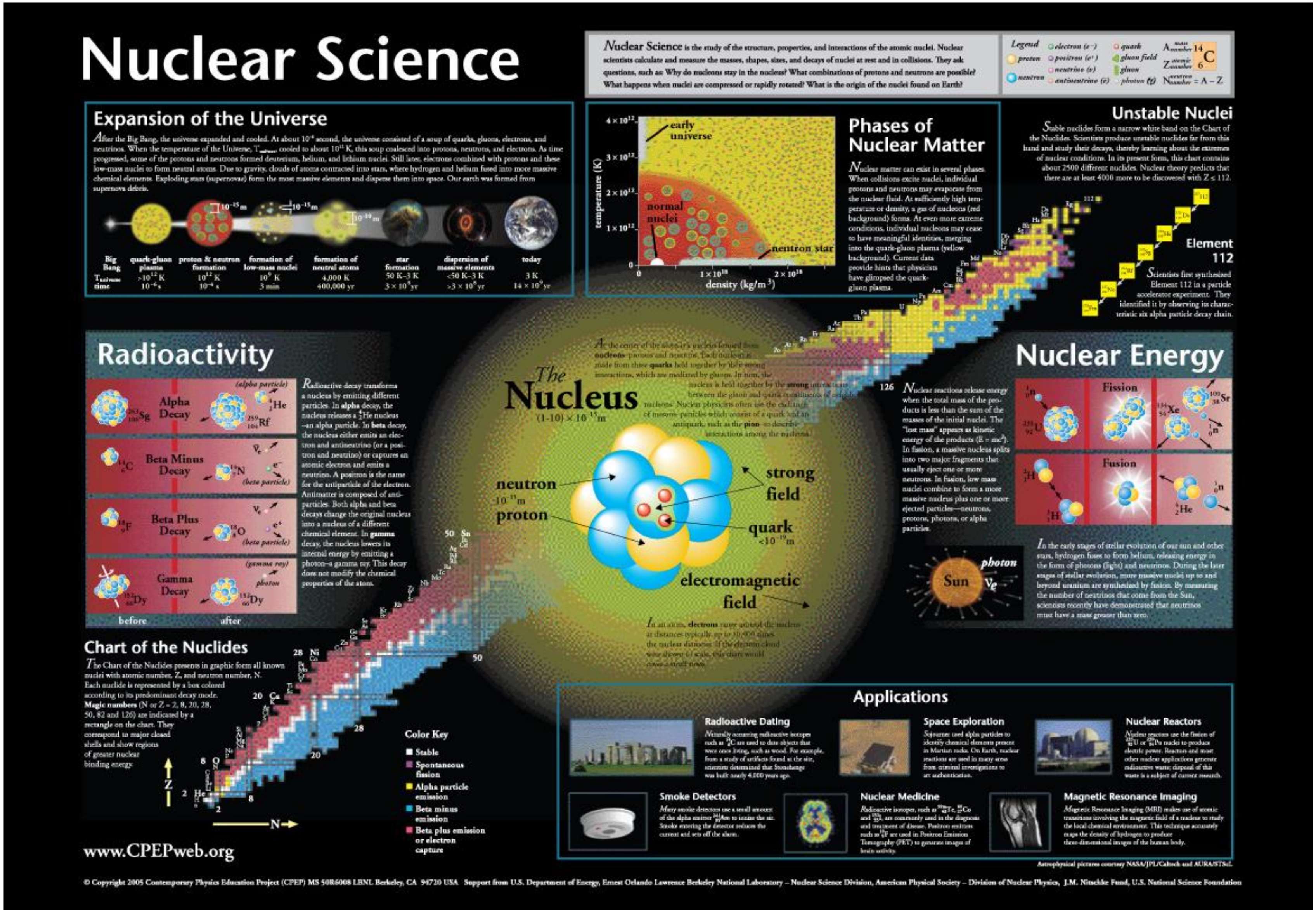
$$X = {}^{238}U$$

1939 – получения елемент е Ba (Z=56) – Hahn&Strassmann

По важни събития от историята на ядрената физика

- 1938 – Bethe – ядреното сливане е енергетичния източник на звездите;
- 1939 – Borh, Wheeler – първи модел описващ ядреното делене;
- 1940 – McMillan, Seaborg – получават първия изкуствено създаден елемент;
- 1942 – E. Fermi – първи ядрен реактор;
- 1945 – първа ядрена бомба;
- 1946 – Gamow – Big Bang космология;
- 1946 – Bloch, Purcell – ядрено-магнитен резонанс;
- 1947 – Libby – радиоактивно датиране;
- 1949 – Mayer, Jensen, Haxel, Suess – слоест модел на атомното ядро;
- 1952 – първа термоядрена бомба;
- 1953 – A. Borh, B. Mottelson – колективен модел на атомното ядро;
- 1955 – Nilsson – деформиран слоест модел;

Ядрена физика



http://www.lbl.gov/abc/wallchart/index.html

Основни величини и задачи в ядрената физика

- **Енергия** – маса на ядрата, енергия на възбудени ядрени състояния;
- **Пространствено разпределение на ядрената материя** – ядрени радиуси, моменти и ориентация;
- **Вероятности** – за разпад (времена живот ↔ закон за радиоактивното разпадане) или реакции (сечения за реакции);

Права (фундаментална) задача

На базата на експериментално изследване на ядрени лъчения се определят характеристики на ядрени състояния:

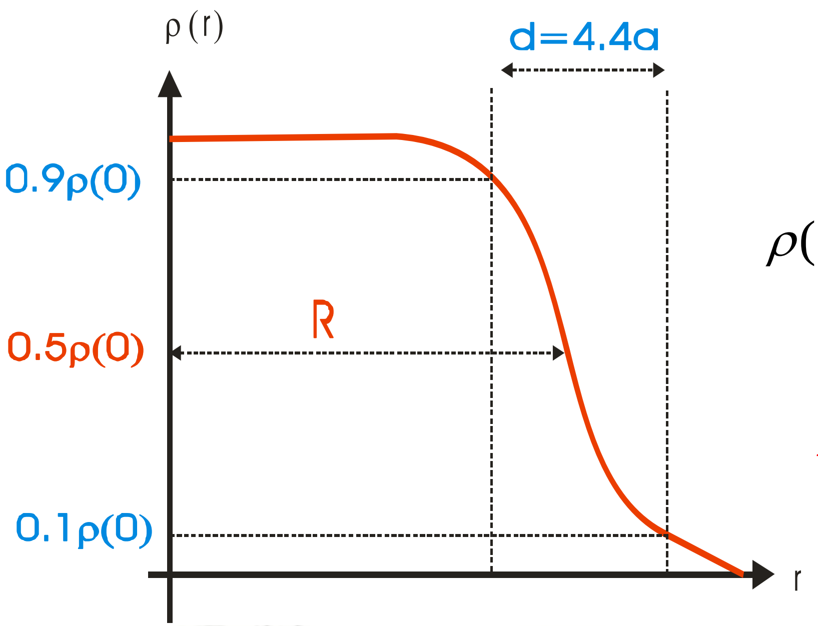
- Ядрени модели – ядрен много-частичен проблем и ядрена структура;
- Параметри за астрофизични и космологични модели;

Обратна (приложна) задача

На базата на известни ядрени характеристики да се използват ядрените лъчения и реакции:

- Радиоекология;
- Ядрена енергетика – реактори и батерии;
- Датиране;
- Нуклеарна медицина – диагностика и терапия;
- ………….

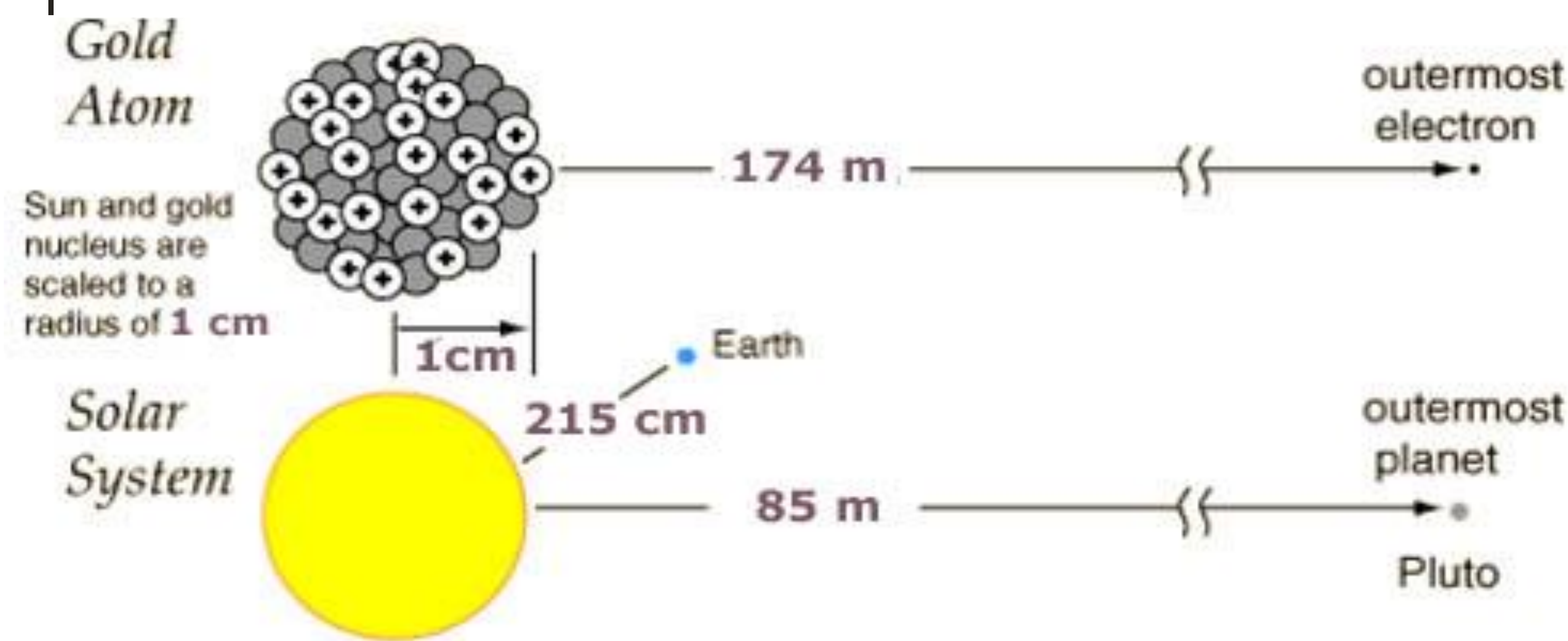
Единици в ядрената физика - разстояния



Функция на Ферми

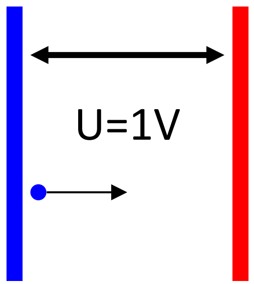
$$\rho(r = R) = 0.5\rho_0 \qquad \frac{A}{(4/3)\pi R^3} \sim \text{const} \Rightarrow R = \text{const.}A^{1/3}$$

$$R = 1.23(2)A^{1/3}\,(\text{fm}) \qquad 1\,\text{fm} = 10^{-15}\,\text{m}$$



Единици в ядрената физика - енергия

$1\ \text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\ \text{J}$



E=eU

Типичните енергии за γ и β разпади са ~ 1MeV, за α ~ 5-6 MeV

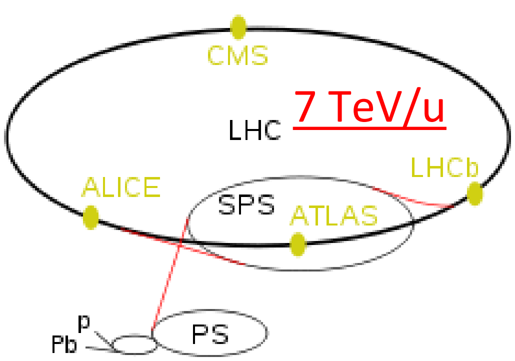
100 W елекрическа крушка, за 1 час ще отдели:

$$E = P.t = 100\ \text{W}\,3.6\times10^{4}\,\text{s} = 3.6\times10^{5}\,\text{J} = (3.6\times10^{5}\,\text{J})/(1.602\ \times10^{-19}\,\text{J/eV}) =$$

$$= 2.25\times10^{24}\,\text{eV} = 2.25\ \text{YeV}$$

- Температурен еквивалент $$\frac{1\text{eV}}{k_B} = \frac{1.60217653(14)10^{-19}\,\text{J}}{1.3806505(24)10^{-23}\,\text{J/K}} = 11604.505(20)\text{K} \propto 10^{4}\text{K}$$

Large Hadron Collider
протони до 7 TeV



Мравка тежаща 1 g се движи със скорост 5 cm/s

$$E = \frac{m\,v^2}{2} = \frac{(10^{-3}\,\text{kg})\ (5\times10^{-2}\,\text{m/s})^2}{2} = 1.25\times10^{-6}\ \text{J}$$

$$= \frac{1.25\times10^{-6}\ \text{J}}{1.602\times10^{-19}\ \text{J/eV}} = 0.78\times10^{13}\ \text{eV} = 7.8\ \text{TeV}$$

Колко нуклеона има в една мравка (от C)?

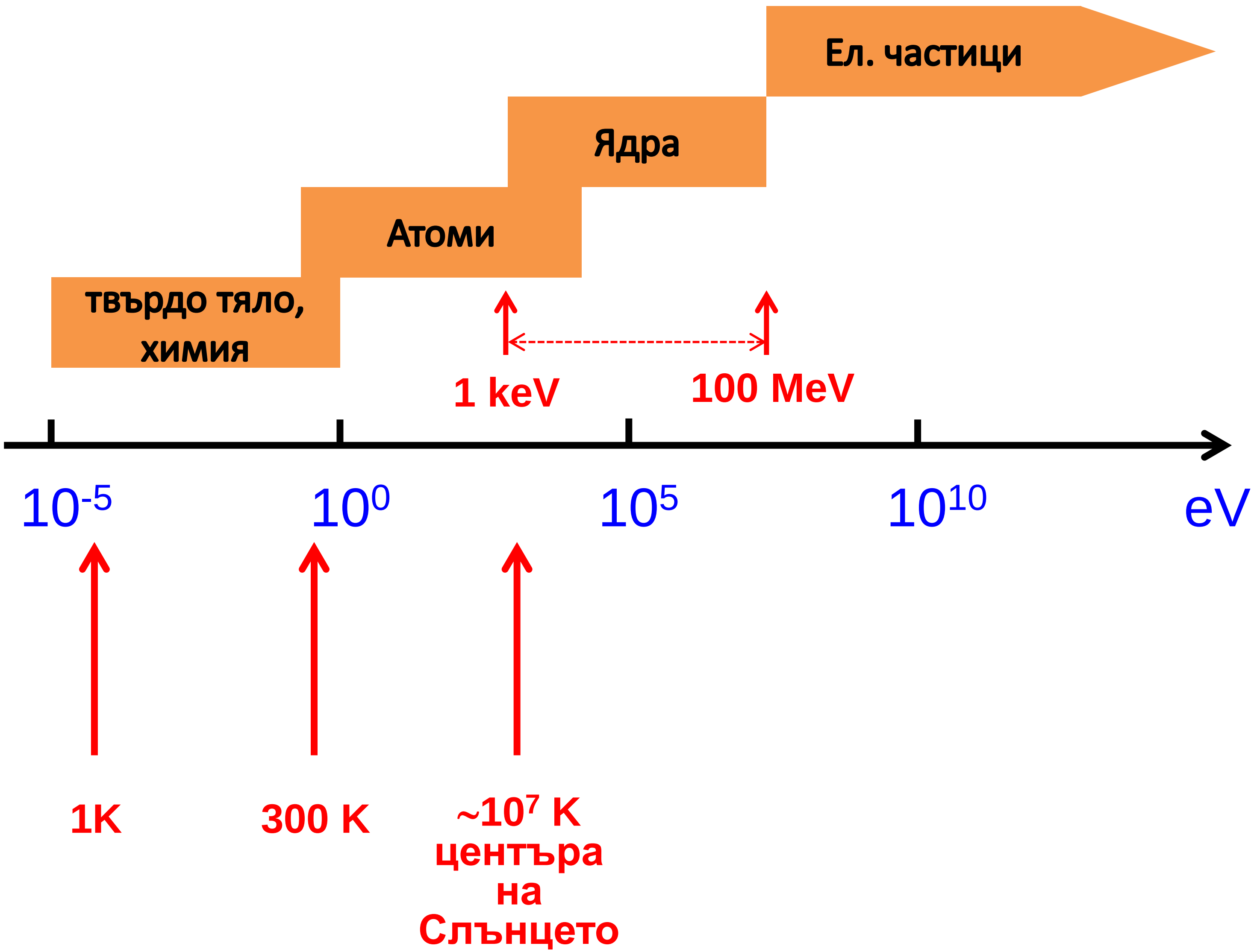
$N_A = 6.022\times10^{23}\ \text{mol/g}$

$$\#(\text{C}) = \frac{1\,\text{g}}{12}\,6.022\times10^{23}\ \text{mol/g} = 5\times10^{22}$$

$$\#(\text{p}) + \#(\text{n}) = (6+6)\times\#(\text{C}) = 5\times10^{23}\ \text{u}$$

$E\ /\ \text{нук} = 1.6\times10^{-9}\ \text{eV/u}$

Физика на микросвета – разделение по енергии



Основни означения

1932 - Chadwick – открива неутрона – електрически неутрална частица с маса

$m_n \approx m_p$ (m_p= 938.272 MeV, m_n= 939.566 MeV, Δm=1.293 MeV)

{протон, неутрон}≡нуклеон

ЯДРО ≡ Z, N, A=N+Z

$${}^{A}_{Z}X_{N} \qquad X \equiv Z \qquad {}^{A}X_{N} \qquad A=N+Z \qquad {}^{A}X$$

$${}^{238}_{92}U_{146} \qquad U \equiv 92 \qquad {}^{238}U_{146} \qquad 238=146+92 \qquad {}^{238}U$$

Z – константа – изотопи (${}^{112}Sn$, ${}^{114}Sn$, ${}^{115}Sn$, ${}^{116}Sn$, ${}^{118}Sn$, ${}^{120}Sn$)

N – константа – изотони (${}^{132}Te$, ${}^{134}Xe$, ${}^{136}Ba$, ${}^{138}Ce$)

Ядрена маса и енергия на свързване

$$m(N,Z)c^2 = m_{атом}c^2 - Zm_ec^2 + \cancel{\sum_{i=1}^{Z} B_i^e}$$

$B^e_i \approx 10 - 100$ keV
m(N,Z) = A*1000 MeV

10^{-6}

$$B(N,Z) = (Zm_p + Nm_n - (m_{атом} - Zm_e))c^2$$

$$B(N,Z) = (Z(^1H) + Nm_n - m_{атом})c^2$$

По дефиниция: 1 u (amu) = 1/12 M(^{12}C) или M(^{12}C) = 12 u

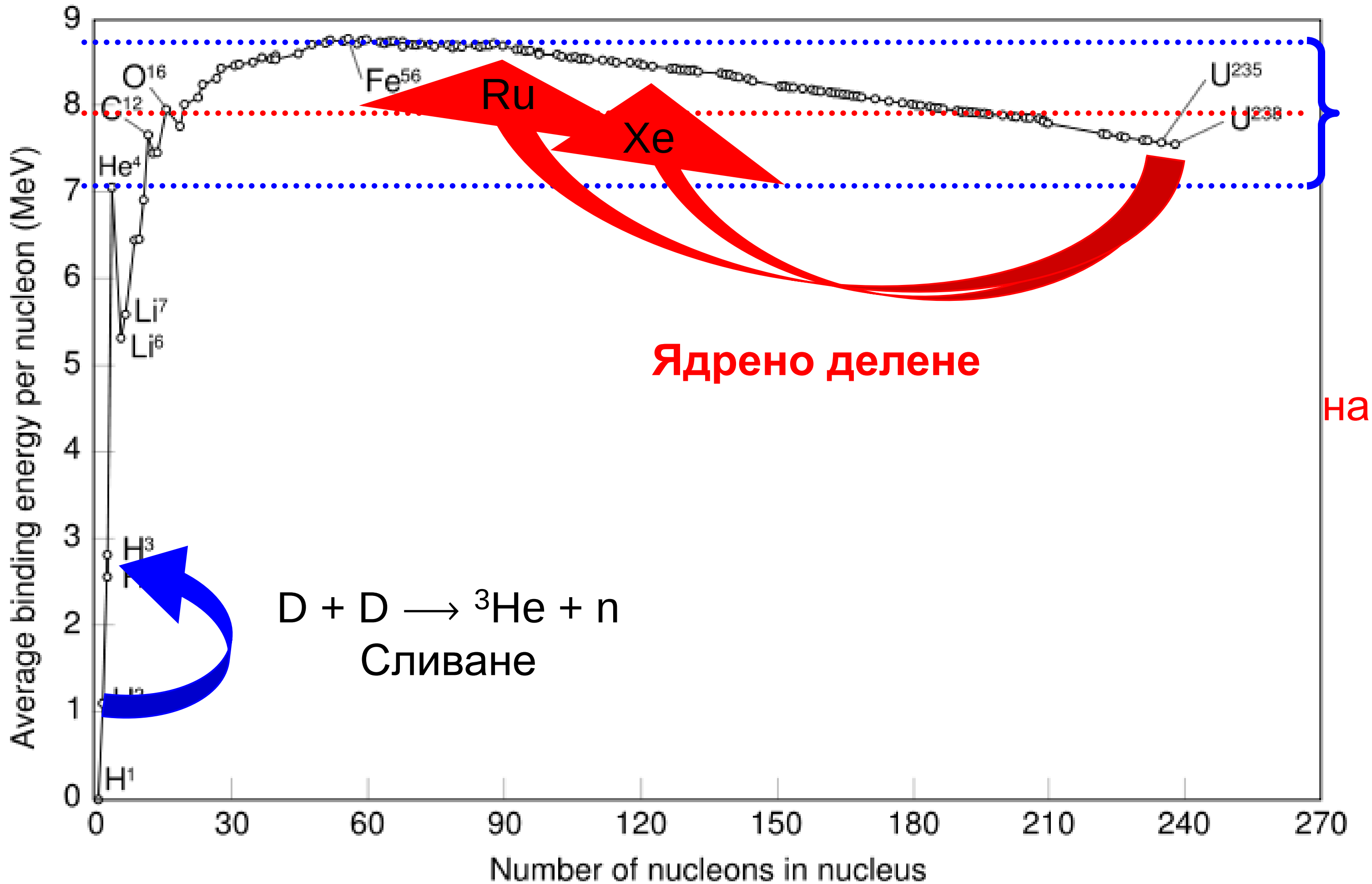
1 u = 1.6605 10^{-24} g
c^2 = 931.494 MeV/u

m_p = 1.00782503207(10) u
m_n = 1.0086649157(6) u

Енергия на свързване

$$m({}^{A}_{Z}X_{N}) = [Zm({}^{1}H) + Nm_{n} - \frac{1}{c^{2}}\boxed{B(N,Z)}] \qquad \Delta = (m({}^{A}_{Z}X_{N}) - A)c^{2}$$

Енергетичния <u>остатък/излишък</u> от образуването на ядрена свързана система

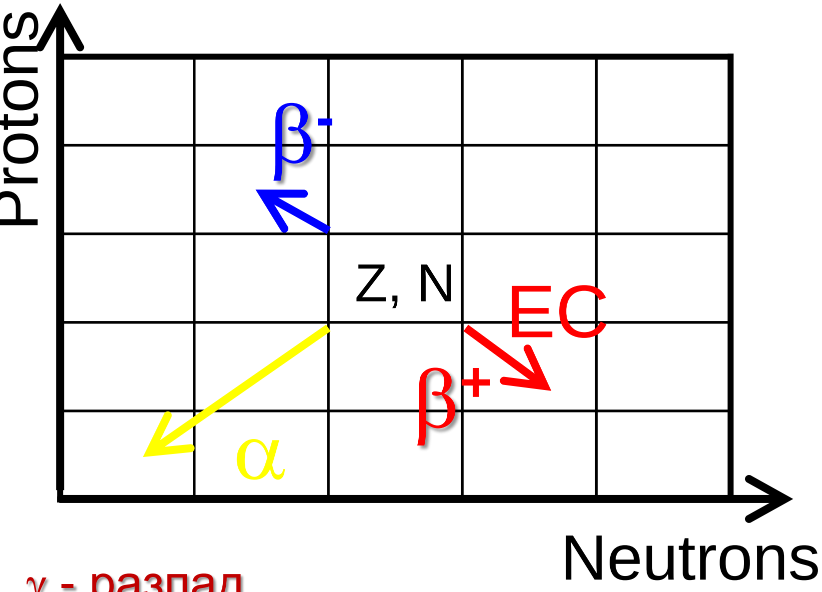


B/A ~ const =
=8.0(8) MeV

~~B ~ A(A-1)~~

B ~ A
най-близки съседи

Ядрени разпади



α-разпад:
- излъчване на ^4He ядра
- Z→Z-2 N→N-2
- A→A-4

β^- - разпад:
- излъчване на e^- и $\bar{\nu}$
- Z→Z+1 N→N-1
- A=const

β^+- разпад:
- излъчване на e^+ и ν
- Z→Z-1 N→N+1
- A=const

γ - разпад
- Z,N,A=const

Редки разпад
- n или p;
- ^8Be, ^{12}C, ^{16}O

Спонтанно делене
- A > 230
- $^AX \rightarrow {}^{A1}Y + {}^{A2}Z + \#n$

Електронен захват (EC)
- Поглъщане на e^- и излъчване на ν
- Z→Z-1 N→N+1
- A=const

Вероятност за разпад за единица време на ядро

$$\lambda = -\frac{dN/dt}{N} \qquad \tau = \int_0^\infty t\lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \qquad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

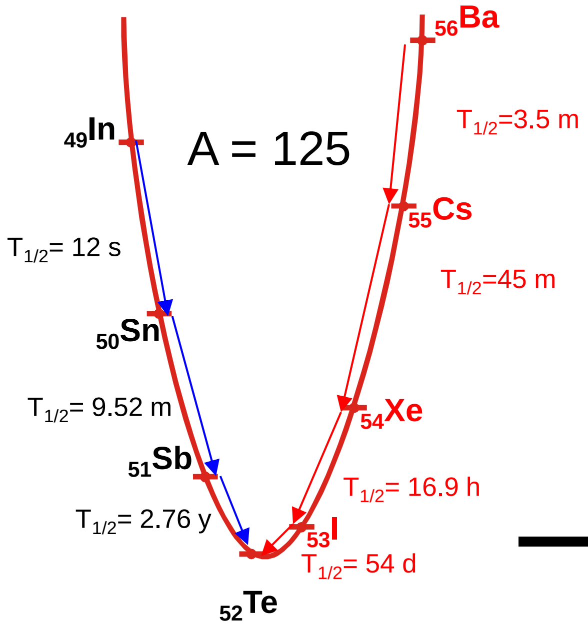
$$\lambda = \frac{2\pi}{\hbar}\rho(E_n)\,|V_{nl}|^2 \qquad V_{fi} = \int \psi_f^* \hat{V} \psi_i \, d\upsilon$$

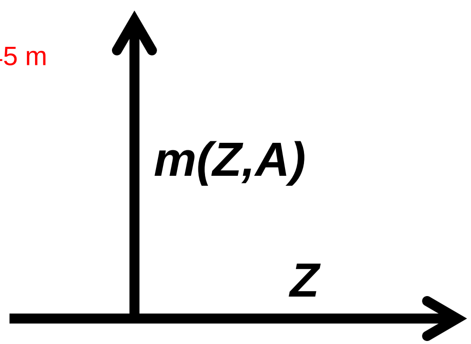
Линия на стабилност

$$m(Z,A) = Zm(^1\mathrm{H}) + Nm_n - B(Z,A)/c^2$$

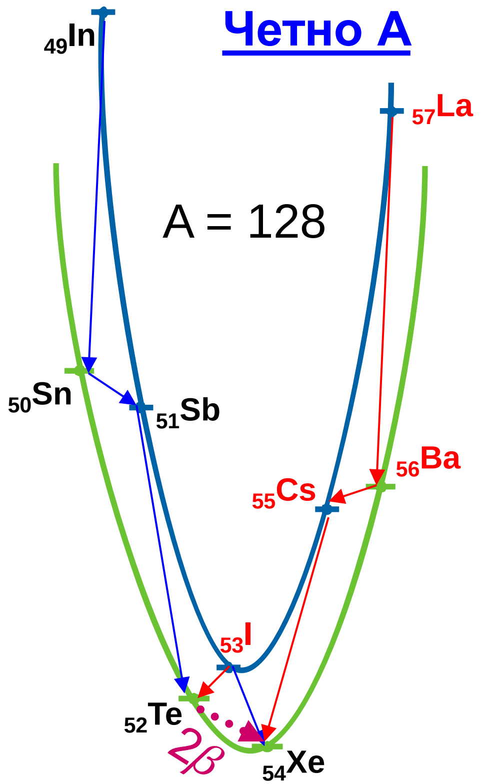
$$\left(\frac{\partial m(Z,A)}{\partial Z}\right)_{A=const} = 0 \qquad Z_{min} \xrightarrow{A<40} \frac{A}{2} \qquad Z_{min} \overset{A>40}{<} \frac{A}{2}$$

Нечетно A





Четно A



β^-: n $\longrightarrow$ p + e$^-$ + $\overline{\nu}$ $\qquad$ β^+: p $\longrightarrow$ n + e$^+$ + ν

Естествена радиоактивност

4n + 1 (Нептуниева) – ^{237}Np(2.14×10^{6}y) ⟶.....⟶^{209}Bi

4n + 2 (Уранова) – ^{238}U(4.47×10^{9} y) ⟶...⟶ ^{222}Rn(3.8d) ⟶..⟶^{206}Pb

4n + 3 (Актиниева) – ^{235}U(7.04×10^{8}y) ⟶.....⟶^{207}Pb

Други

^{40}K (1.28×10^{9} y)

^{87}Rb (4.8×10^{10} y)

^{113}Cd (9×10^{15} y)

^{115}In (4.4×10^{14} y)

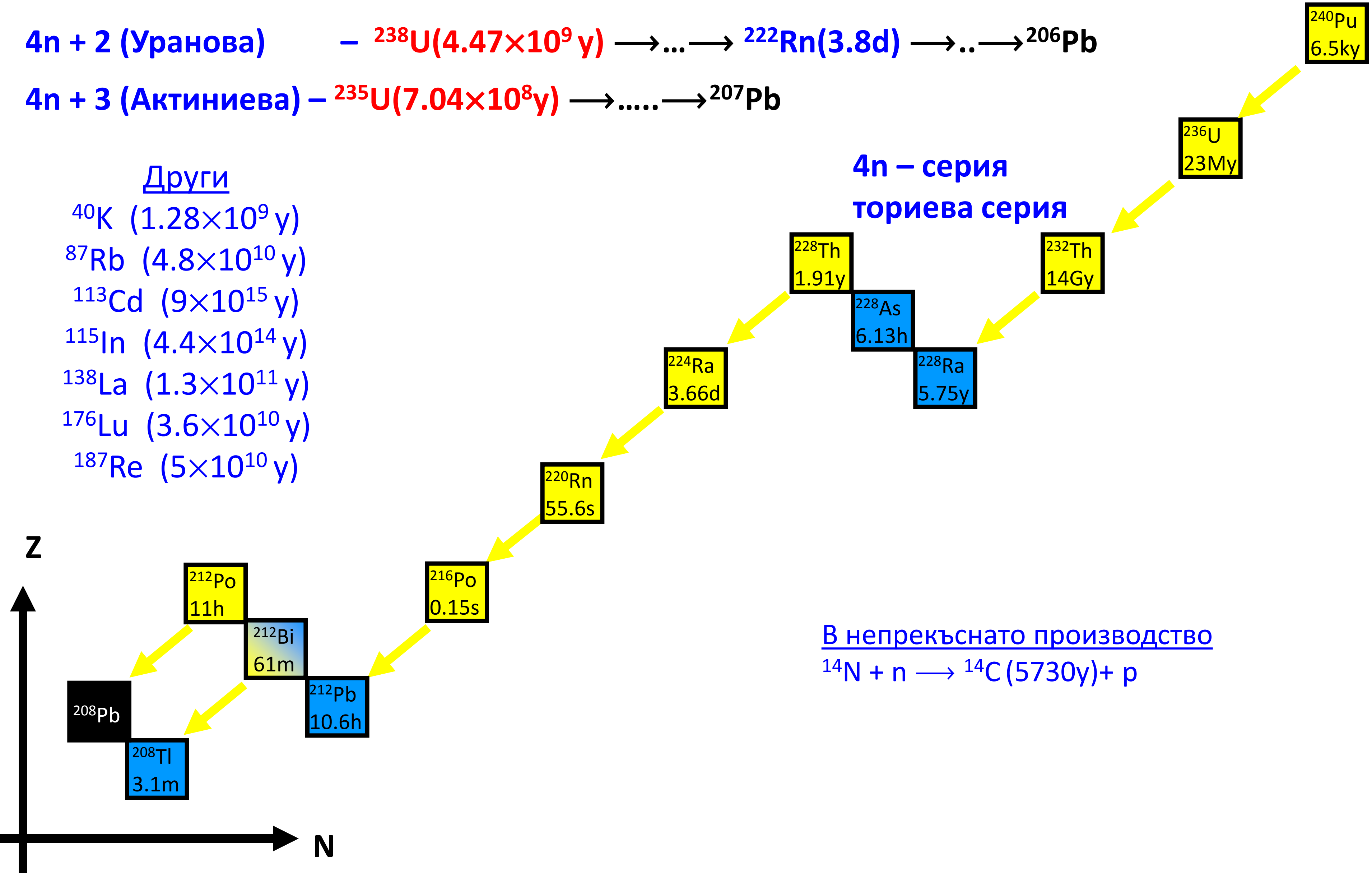
^{138}La (1.3×10^{11} y)

^{176}Lu (3.6×10^{10} y)

^{187}Re (5×10^{10} y)

4n – серия

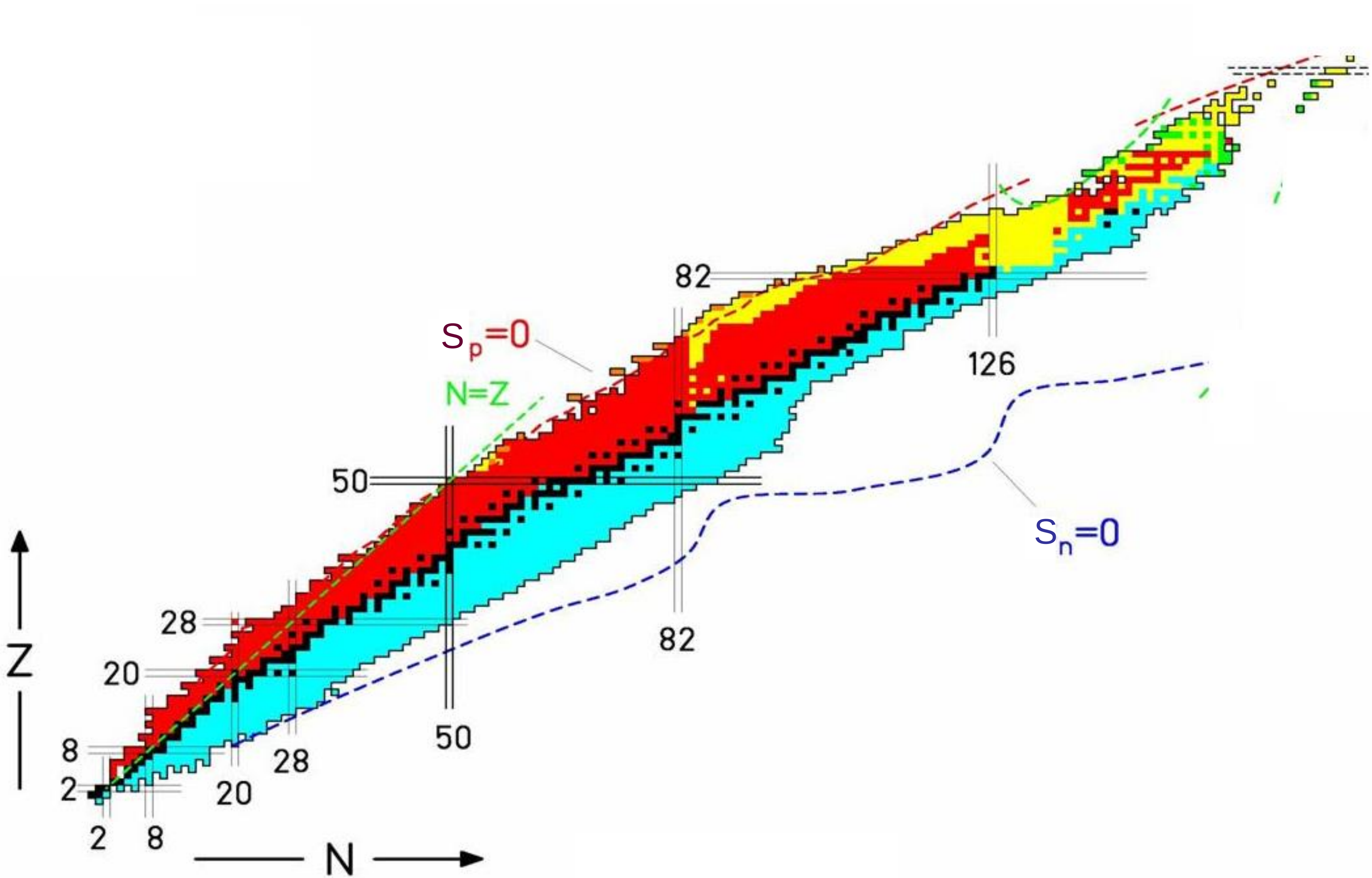
ториева серия



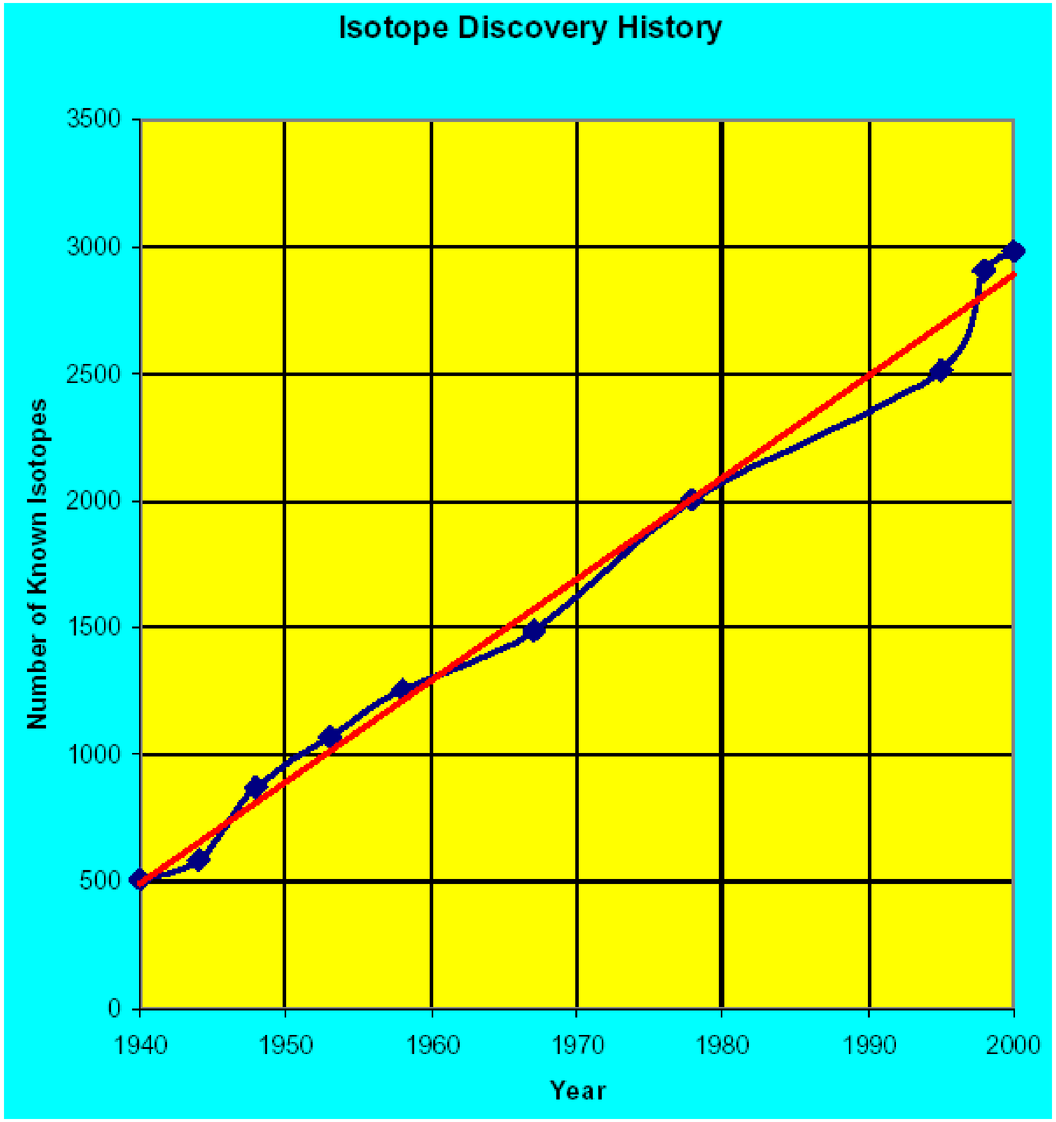
В непрекъснато производство

^{14}N + n ⟶ ^{14}C (5730y)+ p

Граници на съществуване ядрената материя



Карта на нуклидите



- До днес са идентифицирани над 3000 нуклида;
- От тях само 284 са стабилни;
- Известни са 118 химични елемента (потвърдени до
  Z=116 Lv – Livermorium
  Z=117 Ts – Tennessine
  Z=118 Og – Oganesson);

Благодаря за вниманието!