

Prvek, nuklid, izotop, izobar, izoton

¹⁹
9 **F**

A = Nukleonové (hmotnostní) číslo

A = počet protonů + počet neutronů

A = Z + N

Z = Protonové číslo, náboj jádra

Prvek = soubor atomů se stejným Z

Nuklid = soubor atomů se stejným A a Z

Izotopy = soubor nuklidů daného prvku

Izobary = nuklidy se stejným A a různým Z (¹⁴C-¹⁴N; ³H-³He)

Izotony = nuklidy se stejným počtem neutronů, N = A - Z

Izomery = stejné nuklidy, liší se obsahem energie



Frederick Soddy
(1877-1956)

NP za chemii 1921
(objev izotopů)

Izotopy

Izotopy jsou souborem nuklidů pro daný prvek
existuje asi 2600 nuklidů (stabilních i radioaktivních)
340 nuklidů se vyskytuje v přírodě
270 stabilních a 70 radioaktivních, ostatní uměle připravené

Monoizotopické prvky:

${}^9\text{Be}$, ${}^{19}\text{F}$, ${}^{23}\text{Na}$, ${}^{27}\text{Al}$, ${}^{31}\text{P}$, ${}^{59}\text{Co}$, ${}^{127}\text{I}$, ${}^{197}\text{Au}$

Polyizotopické prvky:

${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$ (D), ${}^3\text{H}$ (T)

${}^{10}\text{B}$, ${}^{11}\text{B}$

Sn má největší počet **stabilních** izotopů – 10

112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, ${}^{124}\text{Sn}$

Stabilita jader

Stabilita vzhledem k radioaktivnímu rozpadu je určena počtem **protonů a neutronů**

Zóna stability

Lehké nuklidy stabilní pro $Z \sim N$ (stejný počet p a n)

Jen ${}^1\text{H}$ a ${}^3\text{He}$ mají více p než n.

${}^2\text{H}$, ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^{10}\text{B}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{32}\text{S}$, ${}^{36}\text{Ar}$ a ${}^{40}\text{Ca}$ mají stejný počet p a n

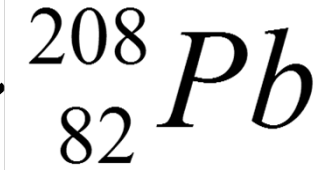
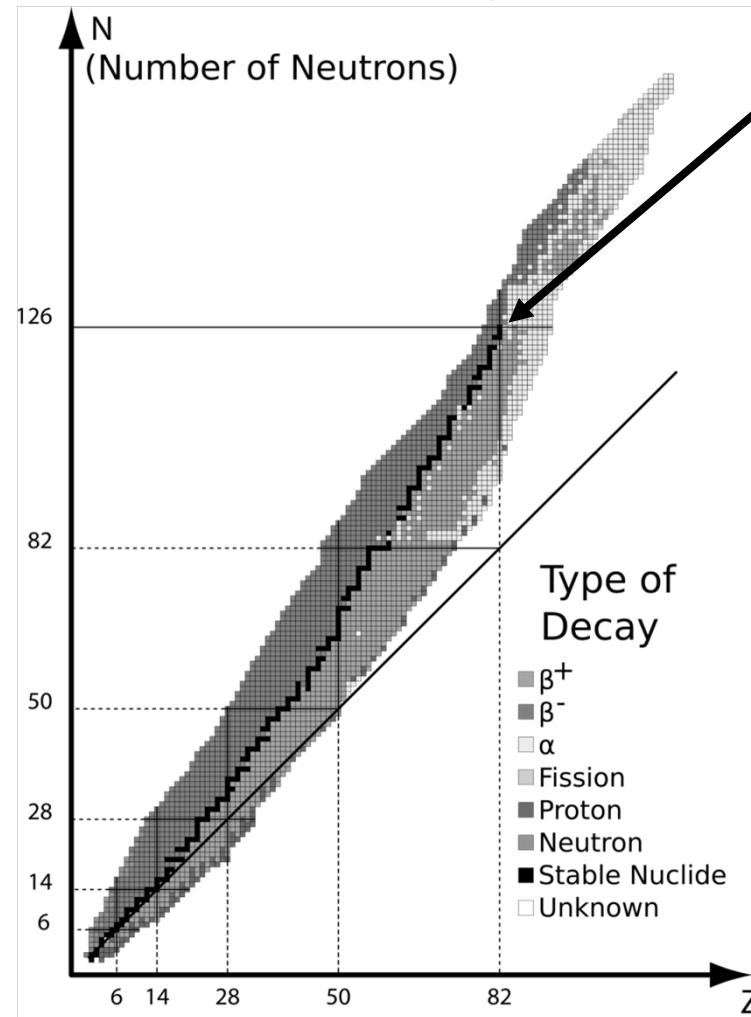
Všechny ostatní nuklidy mají **více n než p** $N > Z$

Mattauchovo pravidlo: ze dvojice izobarů, které se liší o 1 v protonovém čísle, je jeden radioaktivní.

${}^{40}\text{Ar}$ ${}^{40}\text{Ca}$ $\Delta Z = 2$ ${}^{40}\text{Ar}$ ${}^{40}\text{K}$ ${}^{40}\text{Ca}$ $\Delta Z = 1$ ${}^{40}\text{K}$ je radioaktivní

Stabilita jader

Počet neutronů, N



Počet protonů, Z

Stabilita jader

U některých prvků existují v přírodě radioaktivní izotopy s dlouhým poločasem přeměny ^{40}K , 0,012%, $1,3 \cdot 10^{10}$ roků

Prvky s $Z \leq 83$ (po Bi) mají alespoň jeden stabilní izotop

Výjimky: $Z = 43$ (Tc), 61 (Pm) se nevyskytují v přírodě

Umělé radioaktivní izotopy připravené jadernými reakcemi

Nuklidy s $Z \geq 84$ (od Po dále) jsou nestabilní vzhledem k radioaktivnímu rozpadu = **radioaktivní prvky**

Magická čísla

Počet Protonů, Z	Počet Neutronů, N	Počet stabilních nuklidů
Sudá	Sudá	168
Sudá	Lichá	57
Lichá	Sudá	50
Lichá	Lichá	4

Nuklidy se sudým počtem p a n jsou nejčastější

Astonovo pravidlo: prvky se sudým Z mají více izotopů, prvky s lichým Z nemají více než dva izotopy, z toho jeden nestabilní, prvky s lichým počtem nukleonů (A) mají jen jeden stálý izotop (${}^9\text{Be}$, ${}^{19}\text{F}$, ${}^{23}\text{Na}$, ${}^{27}\text{Al}$, ${}^{31}\text{P}$, ${}^{59}\text{Co}$, ${}^{127}\text{I}$, ${}^{197}\text{Au}$).

Jen ${}^2\text{H}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^{10}\text{B}$, ${}^{14}\text{N}$, ${}^{40}\text{K}$, ${}^{50}\text{V}$, ${}^{138}\text{La}$, ${}^{176}\text{Lu}$

mají lichý počet jak p tak n

Magická čísla

Magická čísla 2, 8, 20, 28, 50, 82 a 126

Prvky s $Z =$ magické číslo mají velký počet stabilních izotopů, pokud je izotop radioaktivní, pak má dlouhý poločas rozpadu

Sn $Z = 50$, 10 stabilních izotopů

Nuklidy ${}^4\text{He}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{40}\text{Ca}$, ${}^{48}\text{Ca}$ a ${}^{208}\text{Pb}$ mají magický počet p i n

Hmotnost elektronu a nukleonů

Symbol	<i>m</i> / kg	<i>m</i> / amu
e	9,11 10⁻³¹	0,0005486
p	1,673 10⁻²⁷	1,007276
n	1,675 10⁻²⁷	1,008665

$$1 \text{ amu} = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Hmotnostní úbytek

Hmotnost jádra je vždy menší než součet hmotností nukleonů

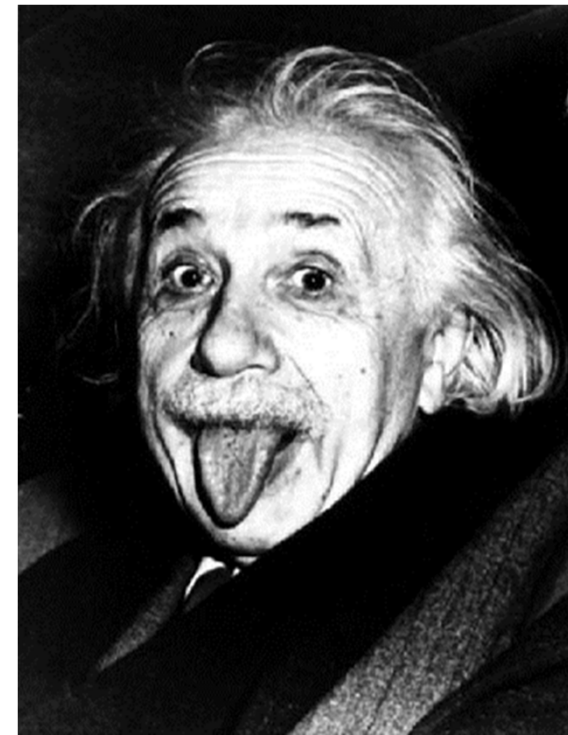
$$M_j < Z m_p + (A-Z) m_n$$

Hmotnostní úbytek $\Delta m < 0$
[Δm v jednotkách amu]

Vazebná energie jádra $E_v = - \Delta m c^2$

$$E_v = - 931,5 \Delta m \text{ [MeV]}$$

$$1 \text{ eV} = 1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$



NP za fyziku 1921

Vazebná energie jádra, E_v

Nuklid	E_v , MeV
^2H	2.226
^4He	28.296
^{14}N	104.659
^{16}O	127.619
^{40}Ca	342.052
^{58}Fe	509.945
^{206}Pb	1622.340
^{238}U	1822.693

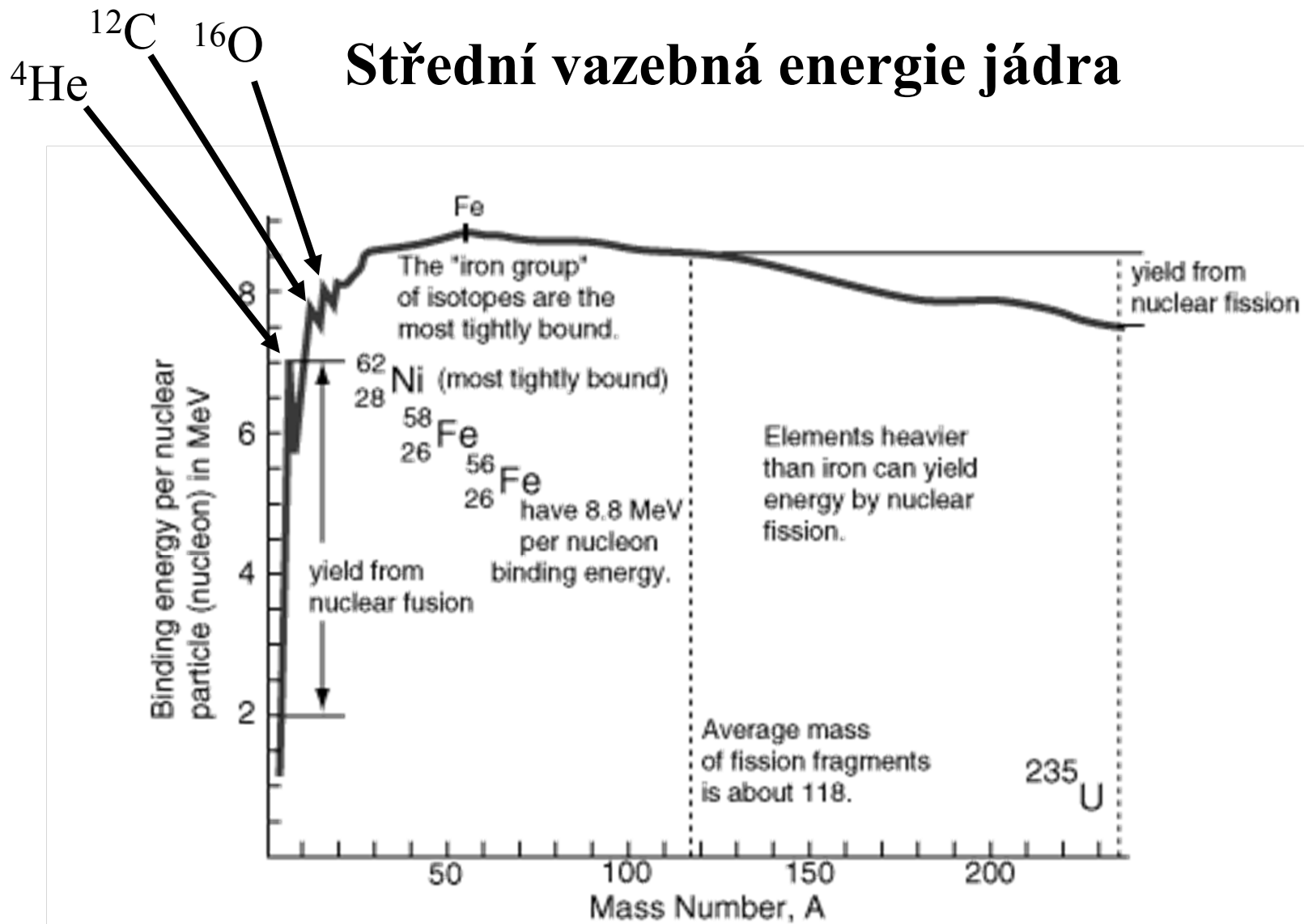
Střední vazebná energie jádra, $E_v(st)$

Nuklid	$E_v(st)$, MeV	E_v , MeV
^2H	1.113	2.226
^4He	7.074	28.296
^{14}N	7.476	104.659
^{16}O	7.976	127.619
^{19}F	7.779	147.801
^{40}Ca	8.551	342.052
^{55}Mn	8.765	482.070
^{58}Fe	8.792	509.945
^{62}Ni	8.795	545.259
^{206}Pb	7.875	1622.340
^{238}U	7.658	1822.693

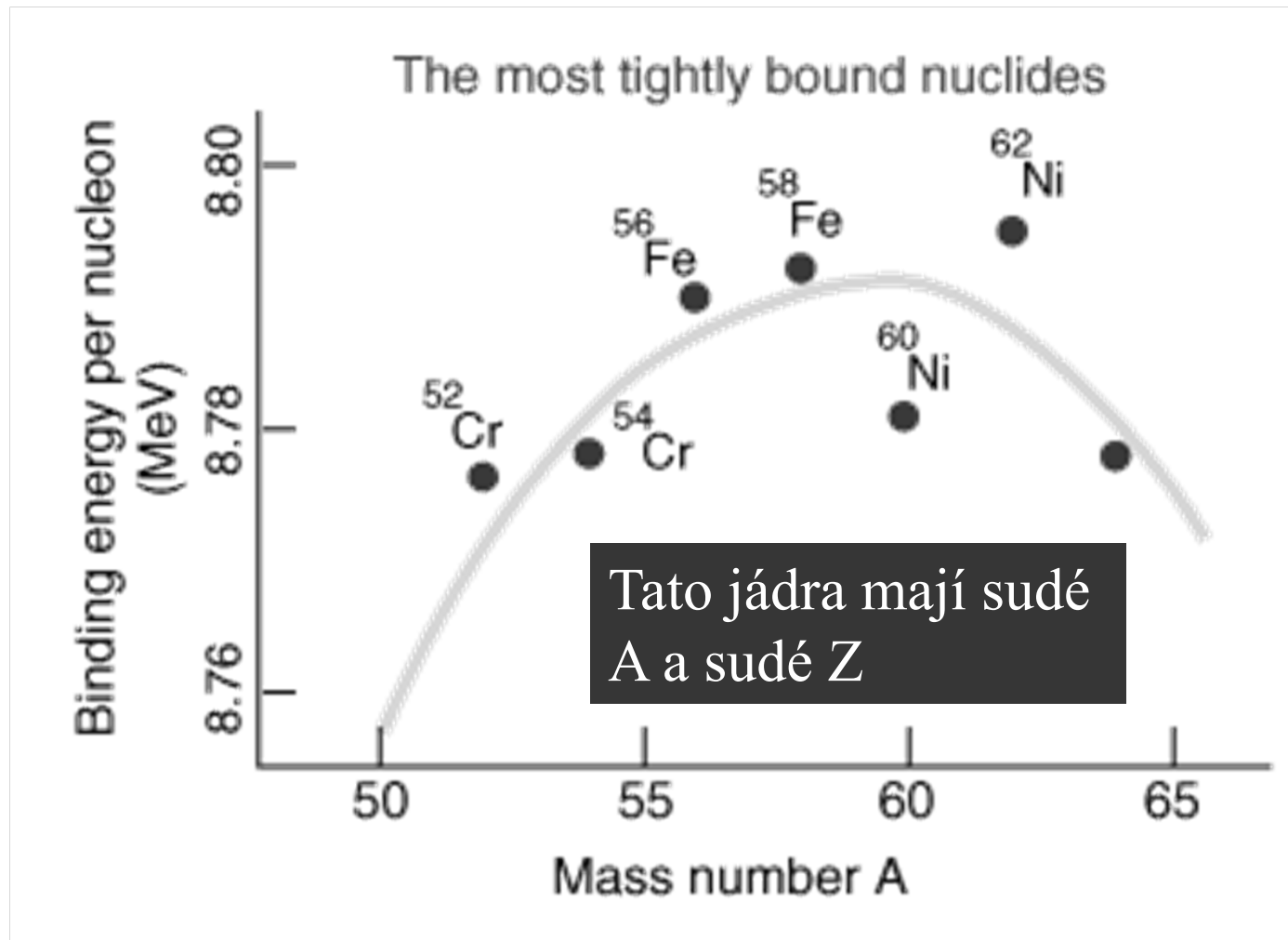
$E_v(st)$ = Energie na
odtržení 1 nukleonu

$$E_v(st) = \frac{E_v}{A}$$

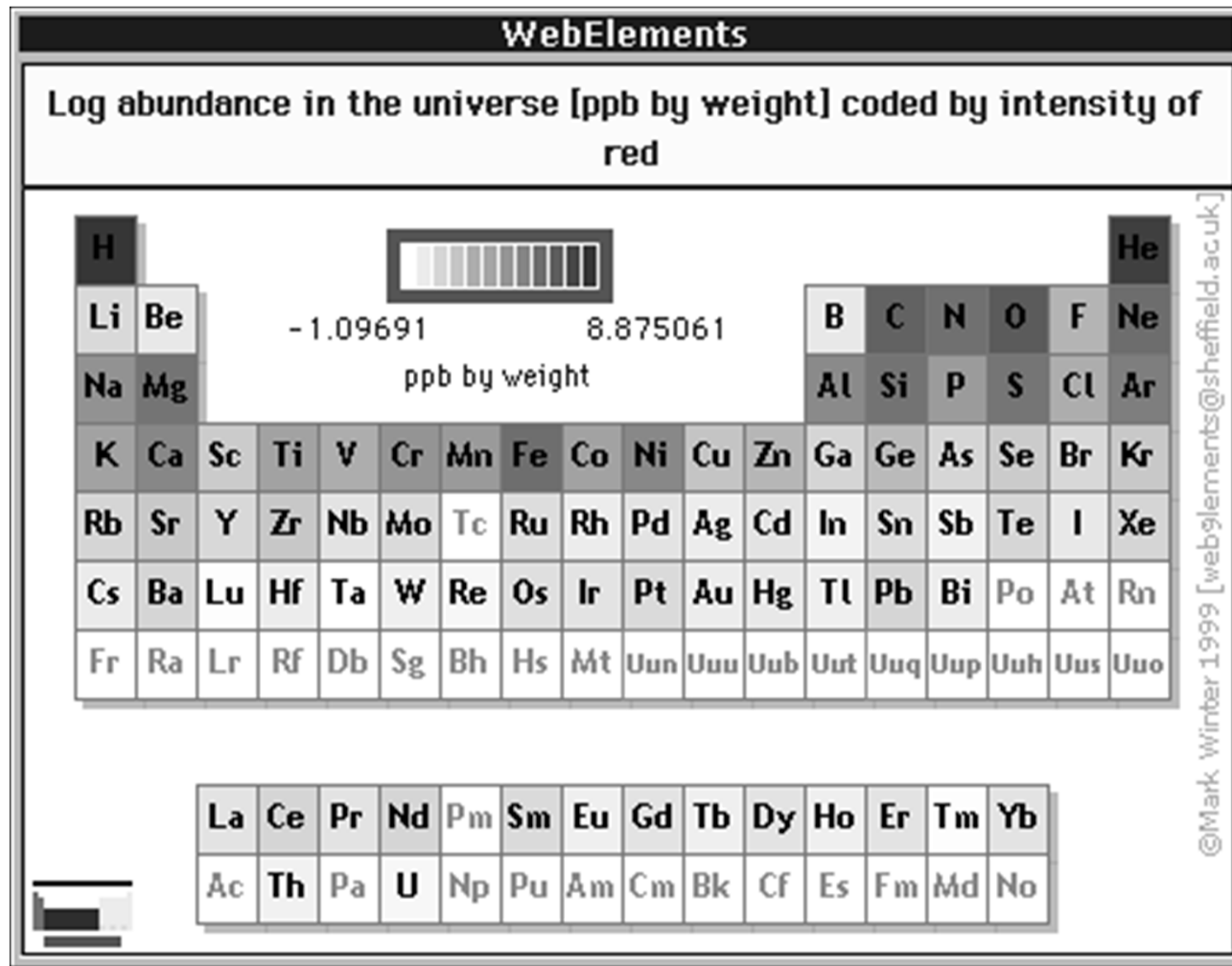
Střední vazebná energie jádra



Střední vazebná energie jádra



Výskyt prvků ve vesmíru



Vazebná energie jádra a chemické vazby

Střední vazebná energie jádra ^{58}Fe 8.792 MeV

Energie vazby C–H 411 kJ mol⁻¹ = 4.25 eV

Jaderná vazebná energie je milionkrát větší než chemická vazebná energie.

Vazebná energie jádra a chemické

Chemické reakce se odehrávají ve vnější elektronové slupce, atomové jádro zůstává neovlivněno.

Energetické změny při chemických reakcích jednotky eV

$$1 \text{ eV (molekula)}^{-1} = 96,485 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Hmotnostní úbytek neměřitelný, platí zákon zachování hmotnosti.

Jaderné reakce mění složení jader, elektronový obal nehraje žádnou roli. Energetické změny řádu MeV. Významné hmotnostní úbytky, platí zákon zachování energie a ekvivalence hmoty a energie.

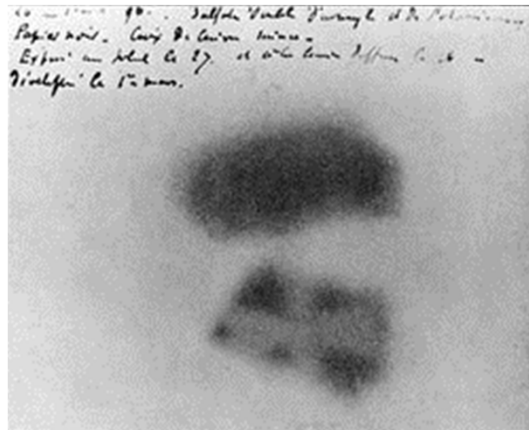
$$E = m \times c^2$$

Objev radioaktivity



Uran, Thorium

Antoine Henri Becquerel
(1852-1908)



Objev radioaktivity 1896
NP za fyziku 1903



Radium, Polonium
Marie Curie (1867-1934)
Pierre Curie (1859-1906)

NP za fyziku 1903
M. C. NP za chemii 1911

Musée Curie



Radium



CRÈME THO-RADIA POUDRE

THO-RADIA

EMBELLISSANTES PARCE QUE CURATIVES
à base de thorium et de radium selon la formule du

DOCTEUR ALFRED CURIE
EXCLUSIVEMENT CHEZ LES PHARMACIENS

CRÈME
POUDRE

PROCHURE GRATUITE SUR DEMANDE A THO-RADIA, 20 RUE DES CAPUCINES, PARIS

Burkbraun
RADIUM
SCHOKOLADE

zum Essen und Trinken
(NACH Dr. SENFTNER D.R.P.)

Sind Sie gesund, so erhalten Sie dadurch Ihr kostbares Gut, sind Sie leidend, so erhöhen Sie Ihre Aussicht, wieder gesund zu werden!

Versuchen Sie auch die übrigen Burkbraun-Edelerzeugnisse: Kakao, Schokolade, Pralinen, Sie werden darin Ihre Marke finden, denn alles, was den Namen *Burkbraun* trägt, ist einzigartig köstlich!

BURK & BRAUN
KAKAO-U.SCHOKOLADENFABRIK
C O T T B U S

Radioaktivita

Má-li jádro příliš málo nebo mnoho neutronů →



Radioaktivita = schopnost některých jader přeměňovat se na jiné jádro, emitují se menší částice a uvolňuje se energie (exo)

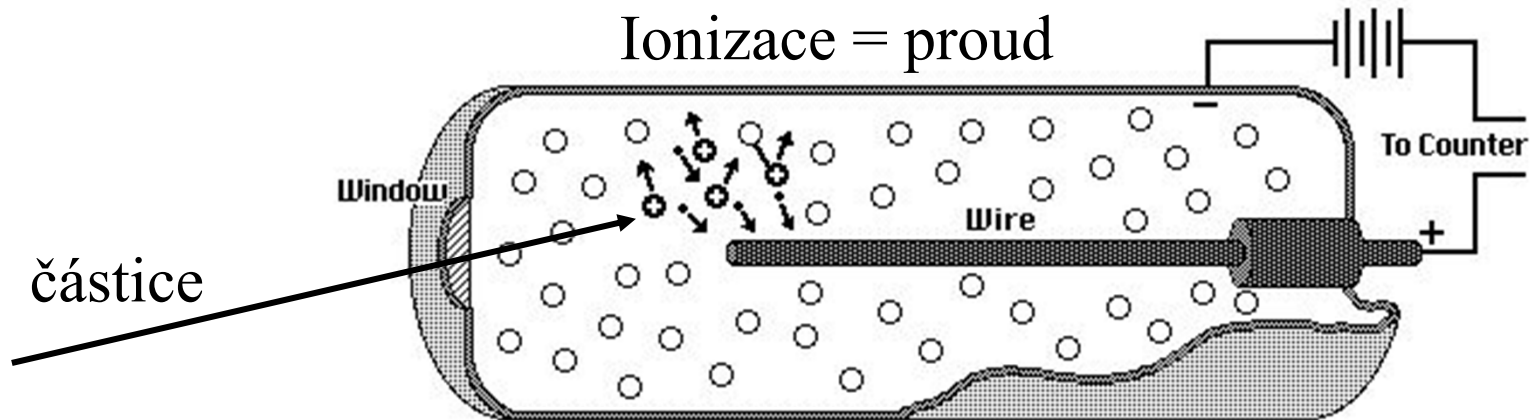
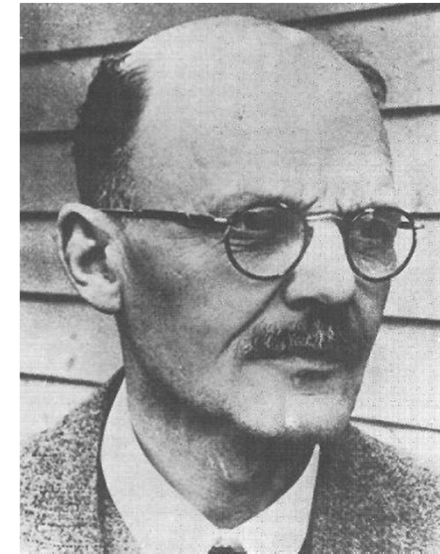
Radioaktivita = samovolný děj, produkty mají nižší obsah energie a jsou stabilnější

Stable Isotopes							
99%				1%			
${}^9_6\text{C}$	${}^{10}_6\text{C}$	${}^{11}_6\text{C}$	${}^{12}_6\text{C}$	${}^{13}_6\text{C}$	${}^{14}_6\text{C}$	${}^{15}_6\text{C}$	${}^{16}_6\text{C}$
.13	19	20.6			5730	2.25	.74
sec.	sec.	min.			years	sec.	sec.
Positron decay				beta decay			

Geigerův čítač



Hans Geiger
(1882-1945)



Měření radioaktivity

Radioaktivita

1 Bq (becquerel) = 1 rozpad za 1 s

(⁴⁰K v lidském těle 4 kBq) 1 Ci (curie) = 3,7 · 10¹⁰ Bq = 37 GBq

Radiační dávka

1 Gy (gray) = absorpce 1 J v 1 kg

1 Gy = 100 rad

Ekvivalentní dávka

1 Sv (sievert) = 1 Gy × Q faktor

1 Sv = 100 rem

3 Sv = LD 50/30

2 mSv/rok = dávka od kosmického záření a přirozeného
radiačního pozadí v ČR

Fotony a elektrony všech energií	Q = 1
Protony	Q = 2
Neutrony	Q je funkcí energie
Alfa částice a jiná jádra	Q = 20

Jaderné reakce

Rutherford – odklon radioaktivního záření v elektrickém a magnetickém poli

Alfa = pozitivně nabitě částice

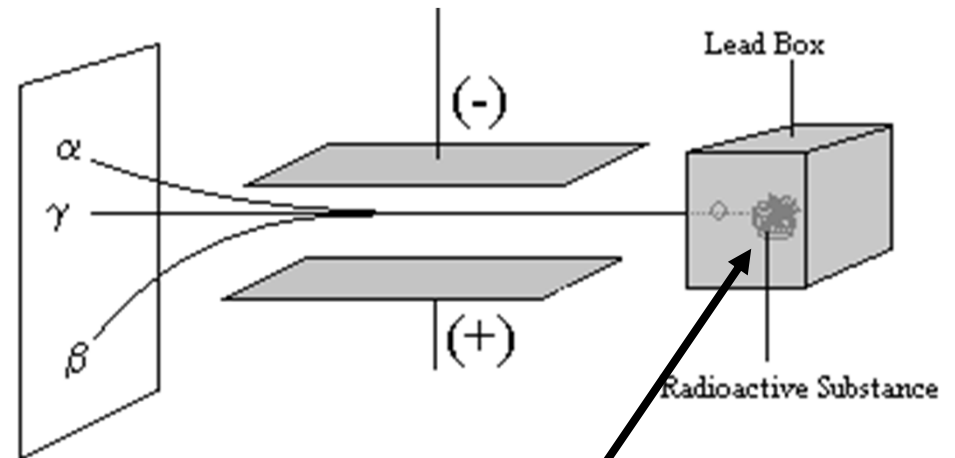
Beta = negativně nabitě částice

Gama = neutrální částice

Tvorba nového nuklidu

Posuvové zákony – změny v Z a N

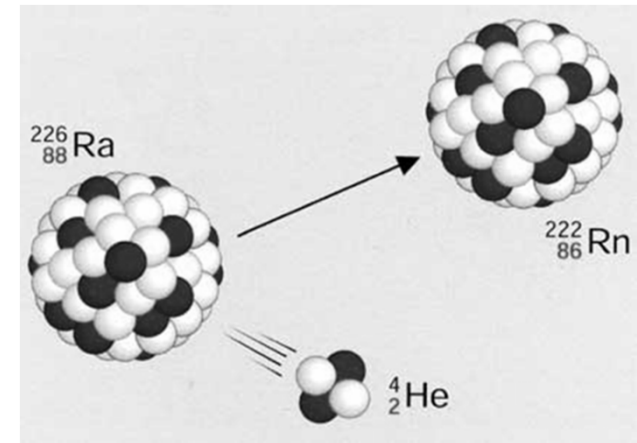
Posun v periodické tabulce



Emise alfa částice

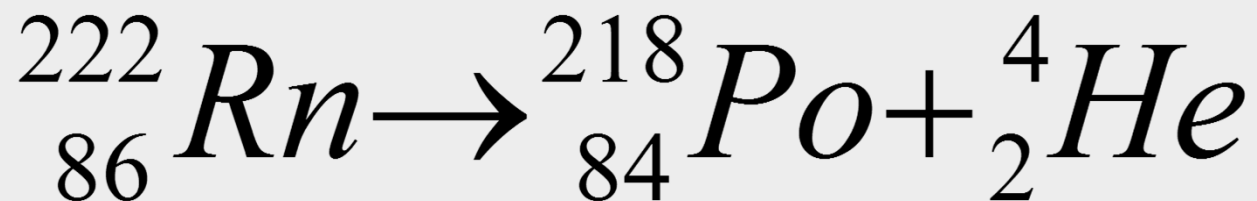
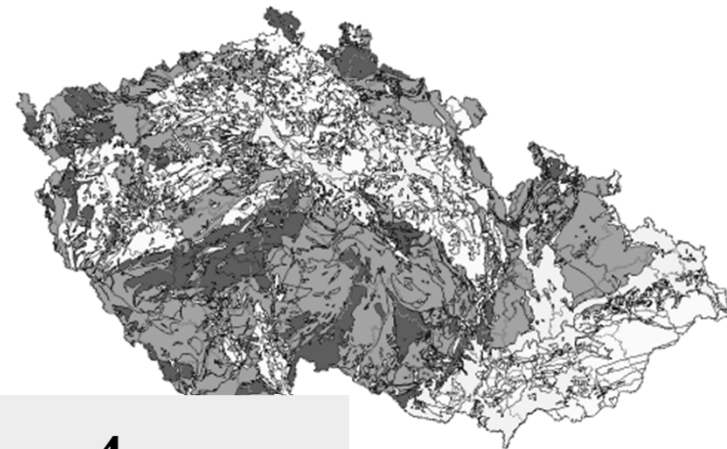
U těžkých jader

Alfa částice opouští jádro rychlostí 10% c



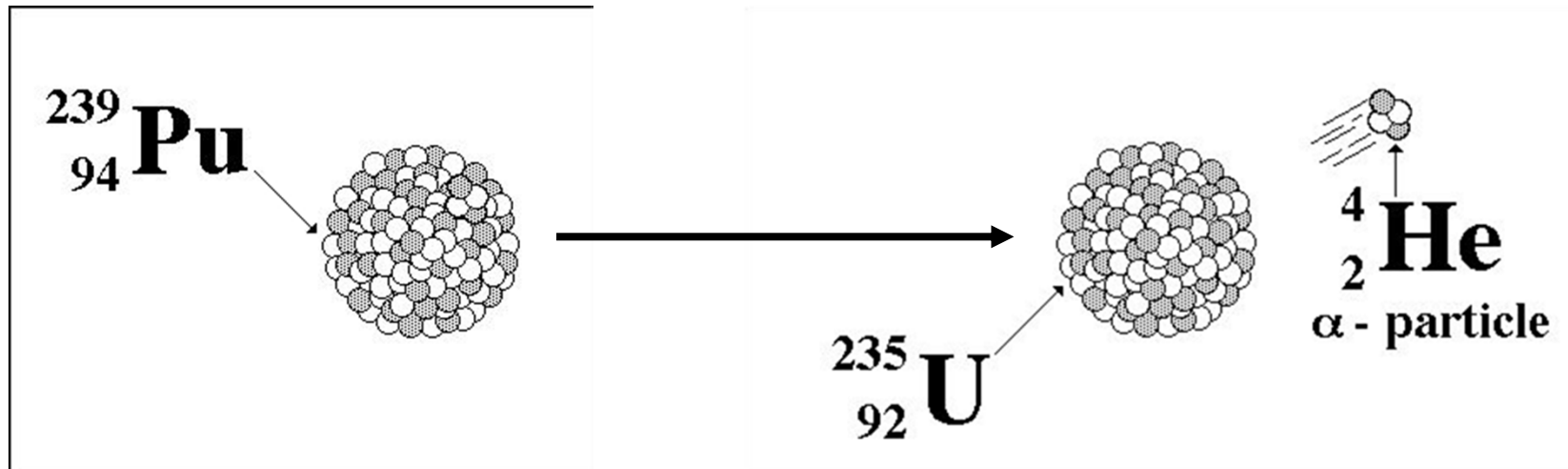
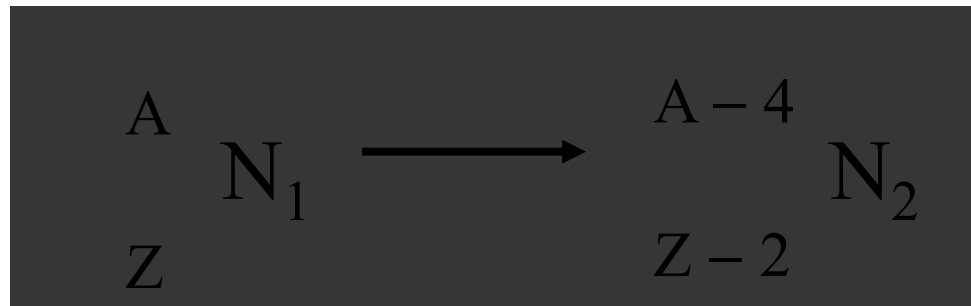
Velmi malá penetrace, několik cm ve vzduchu, zastaví je list papíru

Velmi škodlivé pro buňky
Inhalace



Alfa emise

Posun v periodické tabulce o dva prvky doleva



Radium-226

Alfa emise

Kalifornium-252

Curium-240

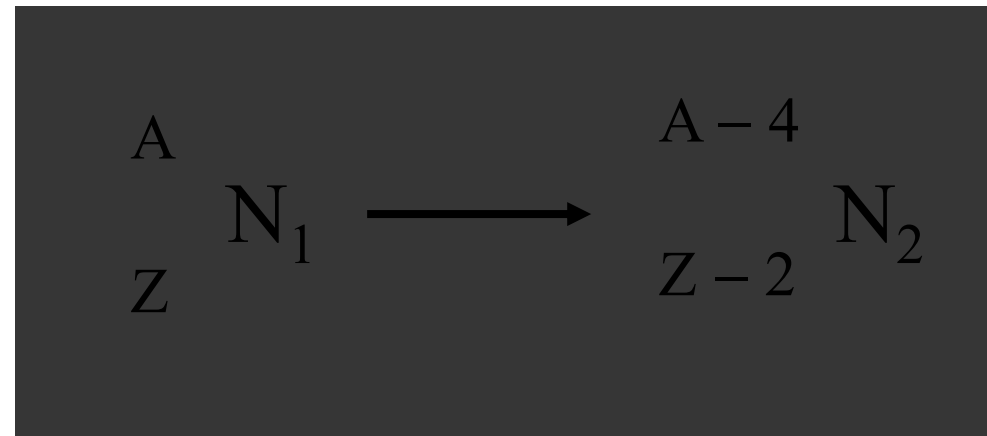
Uran-232

Zlato-185

Thorium-230

Americium-241 detektory kouře

Polonium-210



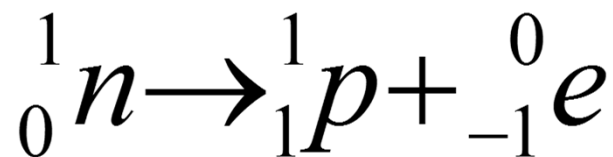
Posun v periodické tabulce o dva prvky doleva

Beta částice ${}_{-1}^0e$

Jádra s nadbytkem neutronů, nedostatek protonů

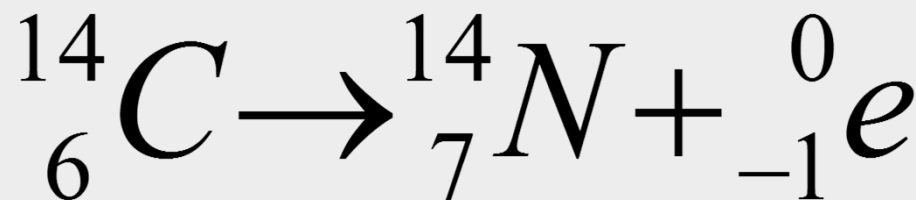
Beta částice jsou elektrony (ale ne z elektronového obalu!!!)

Vznikají rozpadem neutronu



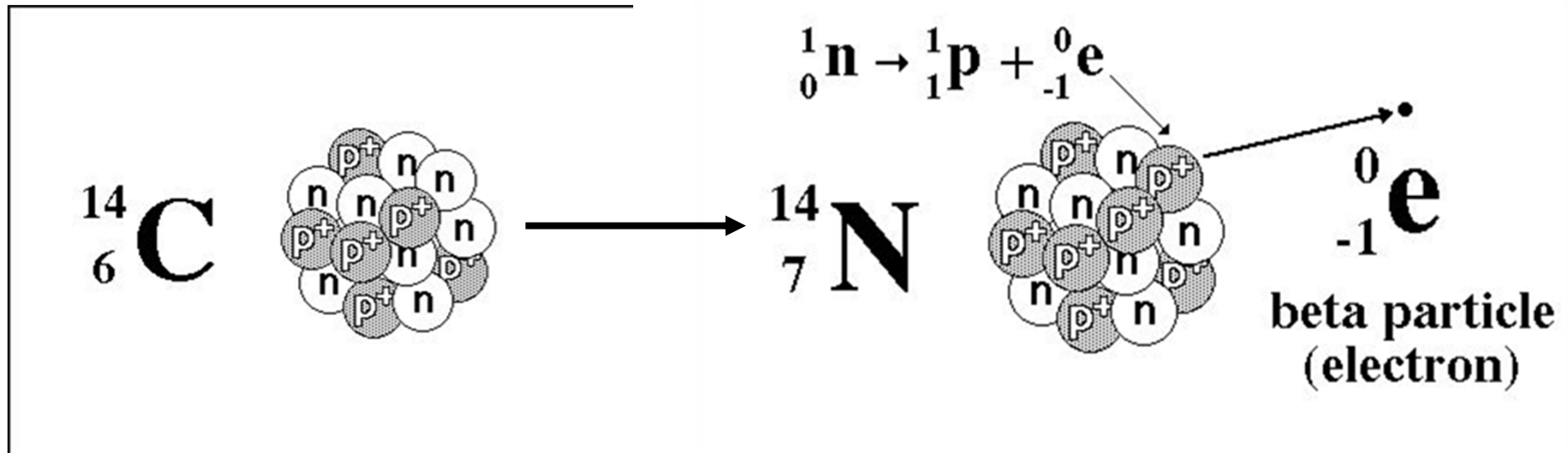
e opouští jádro rychlostí 90% c

Penetrace větší než alfa, několik m ve vzduchu,
zastaví je 1 cm Al folie



Beta emise

Posun v periodické tabulce o jeden prvek doprava



Krypton-87

Beta emise

Zinek-71

Křemík-32

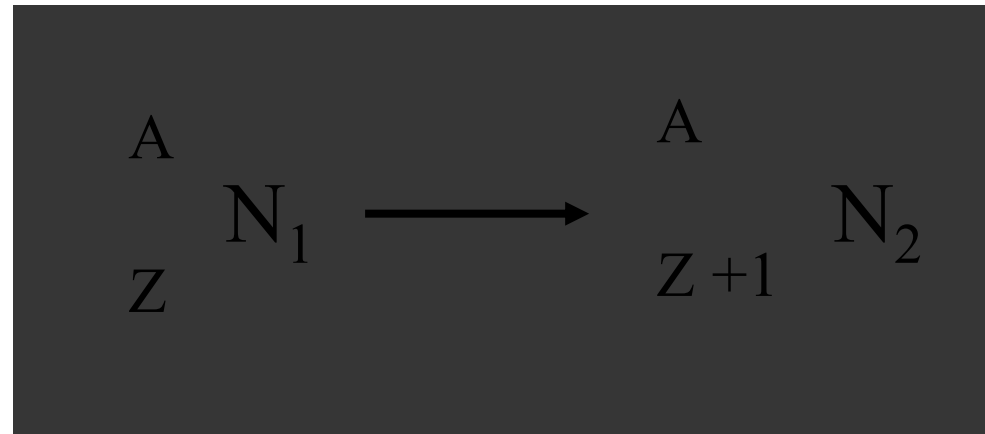
Kobalt-60

Hořčík-27

Sodík-24

Železo-59

Fosfor-32



Posun v periodické tabulce o jeden prvek
doprava

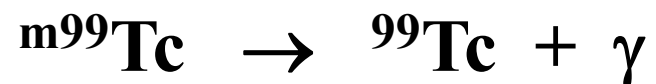
Gama částice

Jádra s nadbytkem energie emitují gama částice

Elektromagnetické záření s velmi krátkou vlnovou délkou,
Vysoká energie, MeV

Rychlost světla

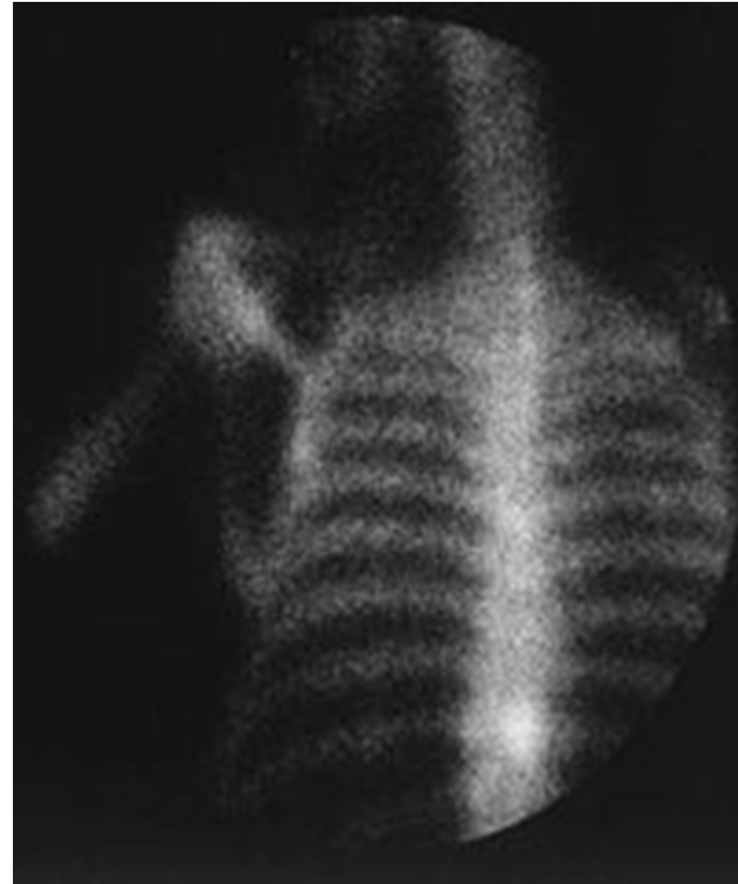
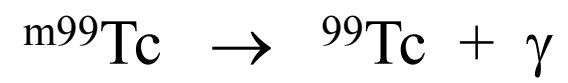
Hluboká penetrace, 500 m ve vzduchu



Tracer

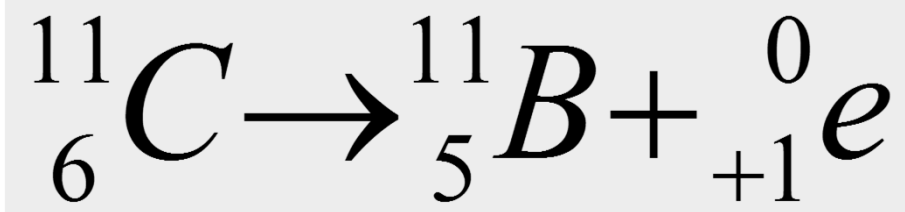
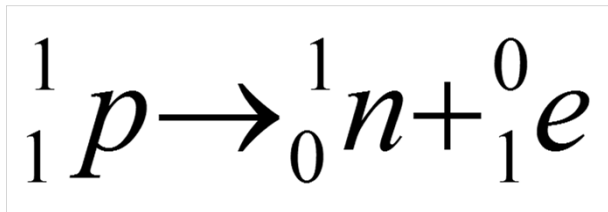
Gyorgy Hevesy 1913

NP 1943



Positronová emise 0_1e

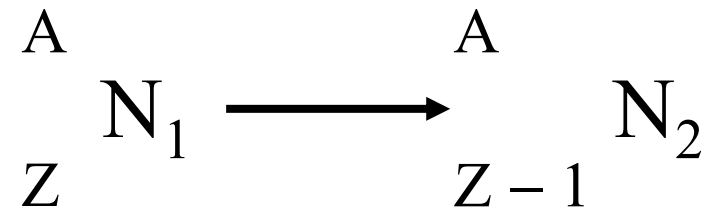
Jádra s nadbytkem protonů, nedostatek neutronů



Positron (antičástice) se rekombinuje během 10^{-10} s

Velmi malá penetrace

Anihilace ${}^0_1e + {}^0_{-1}e \rightarrow \gamma$



Posun v periodické tabulce o jeden prvek doleva

Positronová emise

Rubidium-81

Germanium-66

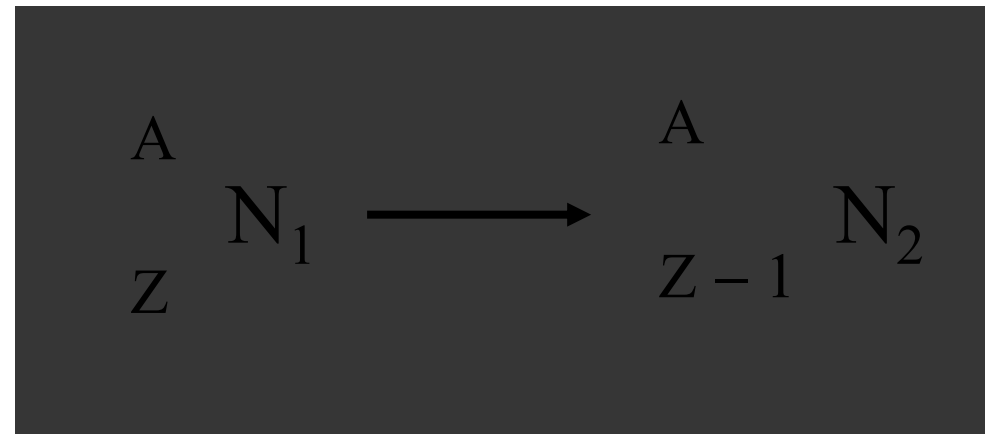
Praseodym-140

Neon-18

Kyslík-15

Dusík-13

Měď-59

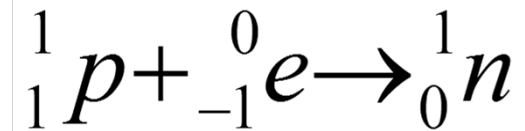


Posun v periodické tabulce o jeden prvek doleva

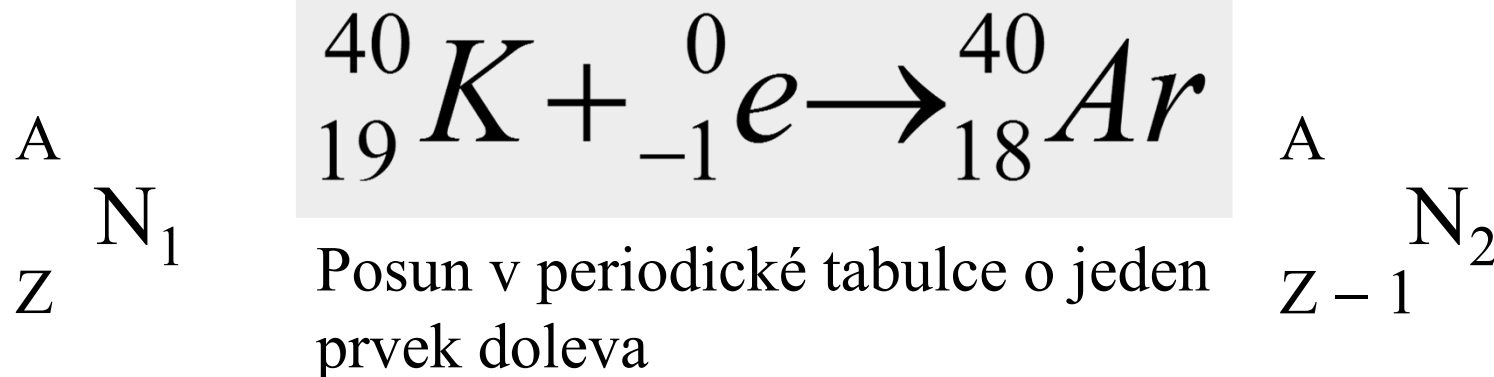
Elektronový záchyt

Elektron z elektronového obalu atomu může být zachycen jádrem

Zachycený e přemění p na n,
e z vnější slupky klesne na volnou hladinu,
emise rentgenového záření



Jádra s $Z > 83$ nemohou dosáhnout stability beta emisí,
pozitronovou emisí nebo elektronovým záchytem

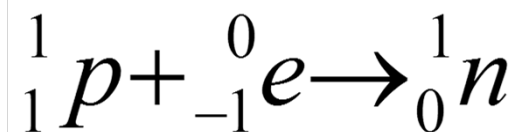


Rubidium-83

Elektronový záchyt

Vanad-48

Gallium-67

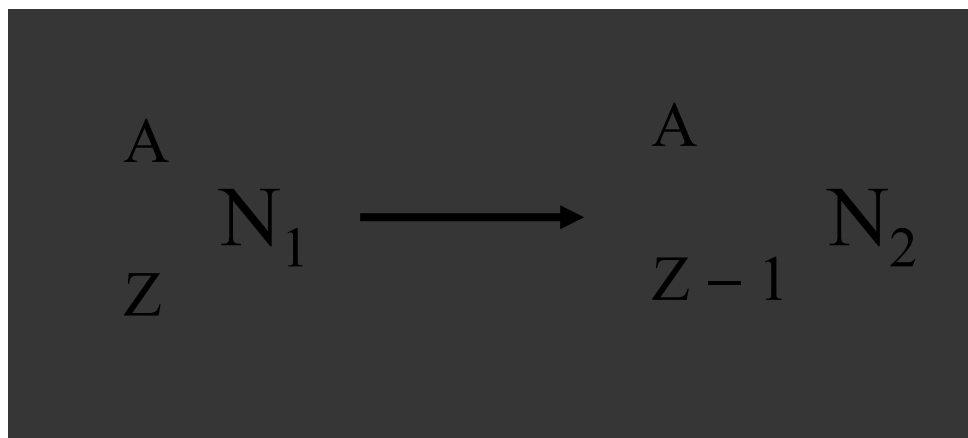


Beryllium-7

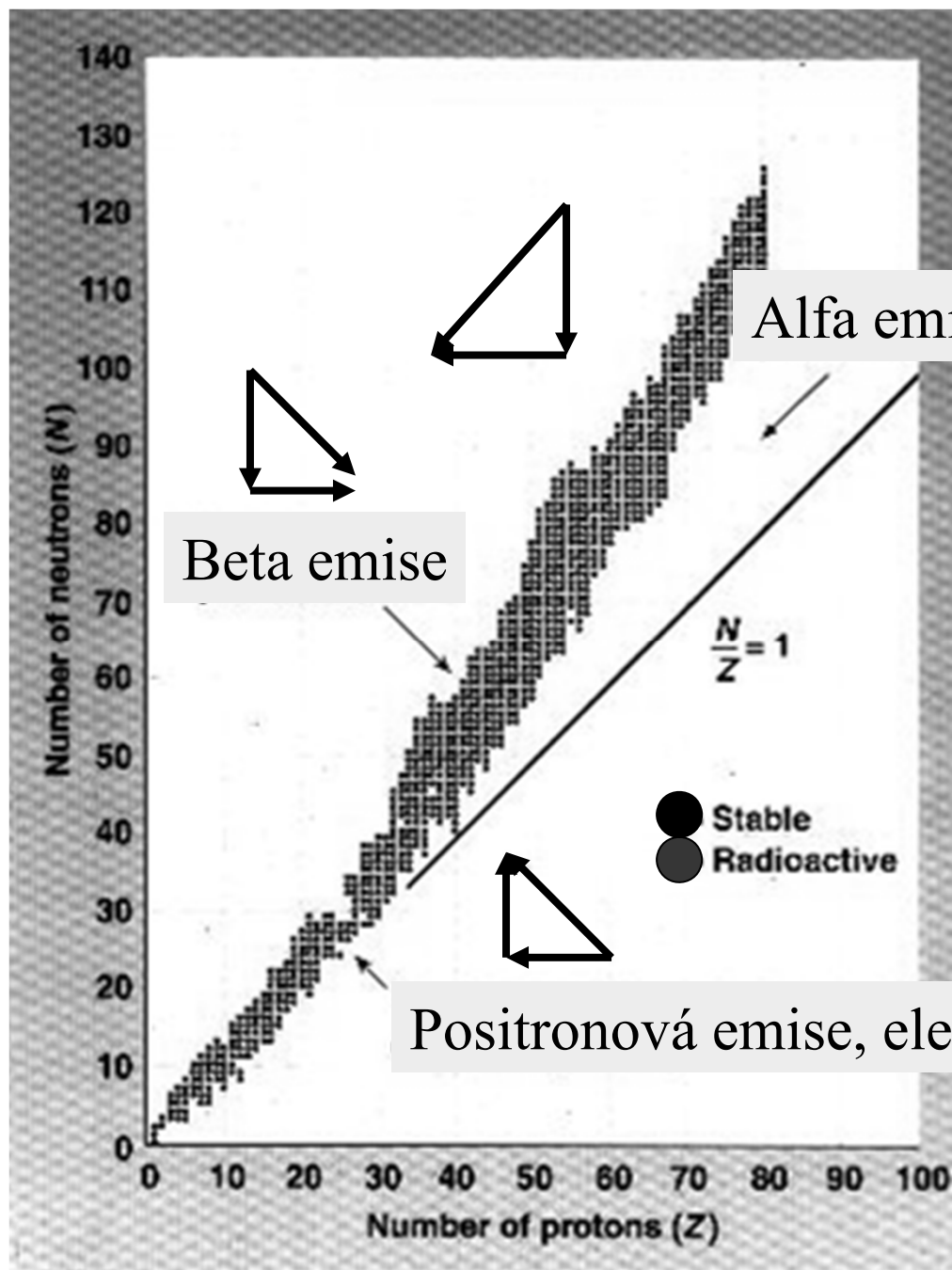
Vápník-41

Kobalt-57

Selen-72



Posun v periodické tabulce o jeden prvek doleva



Rozpadové řady

Thoriová ^{232}Th - ^{208}Pb

$$A = 4n$$

Neptuniová (umělá) ^{241}Pu - ^{209}Bi

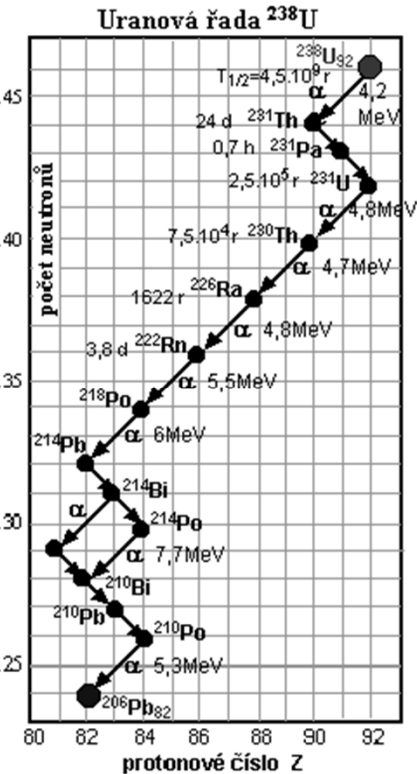
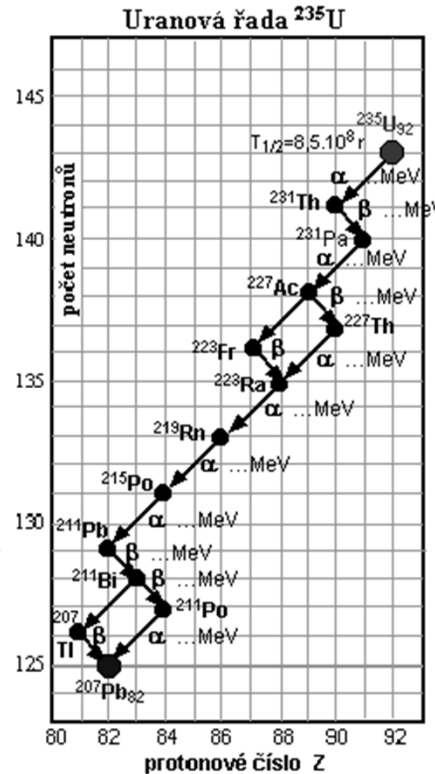
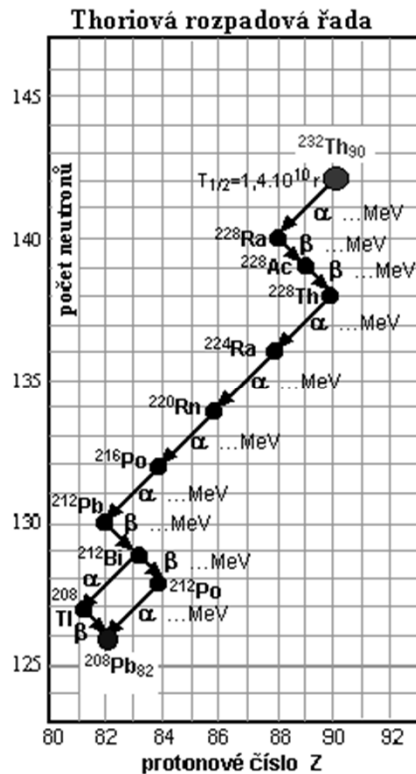
$$A = 4n + 1$$

Uranová ^{238}U - ^{206}Pb

$$A = 4n + 2$$

Aktinuranová ^{235}U - ^{207}Pb

$$A = 4n + 3$$



Samovolné štěpení

Těžké jádro se rozpadá na dva nebo tři fragmenty a jeden nebo více neutronů



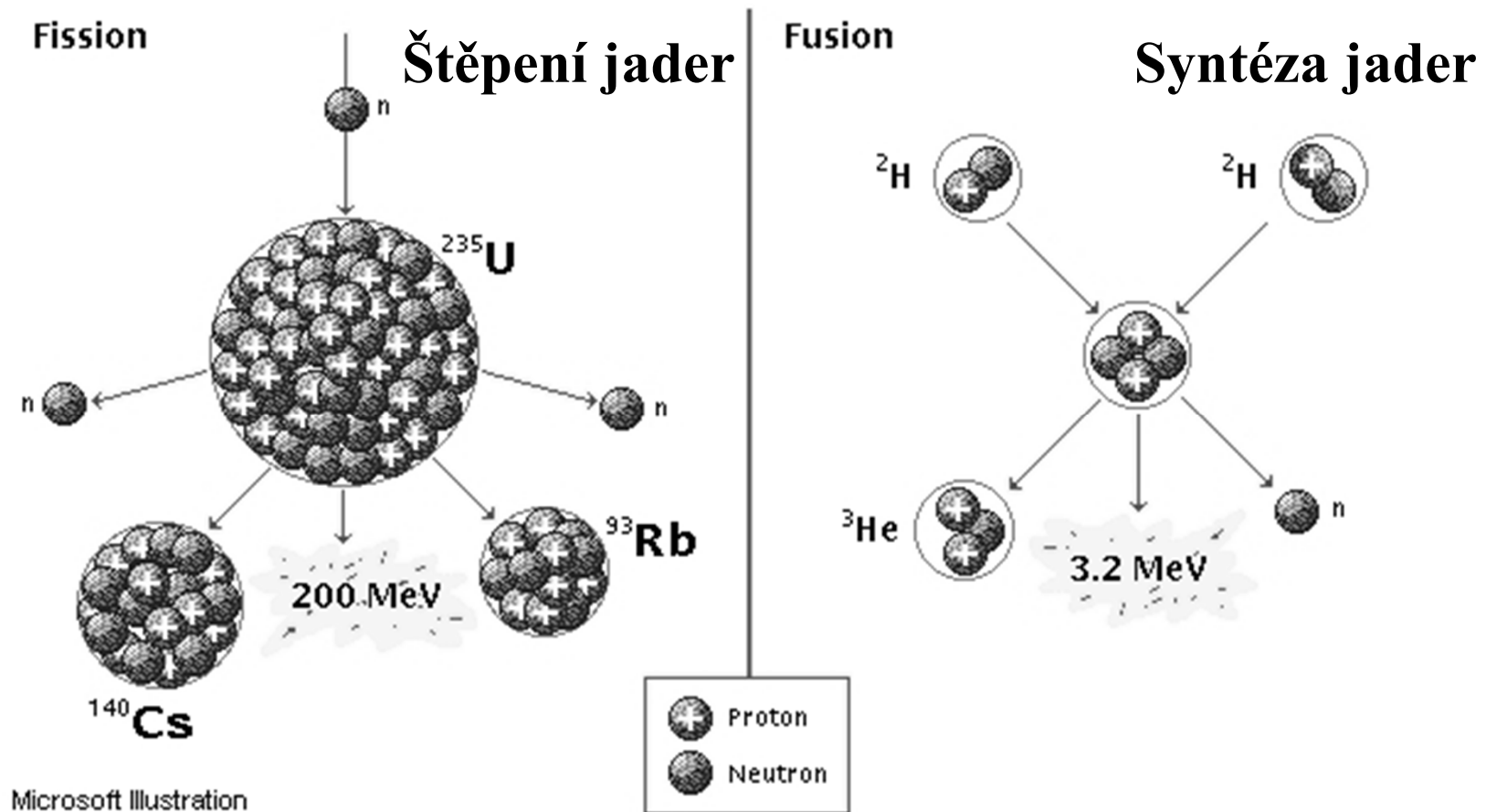
^{252}Cf - průmyslová výroba (ORNL: 0,25 g/rok) a využití

- Alfa-emise 97 %
- Samovolné štěpení 3 % (~3,7 neutronu)

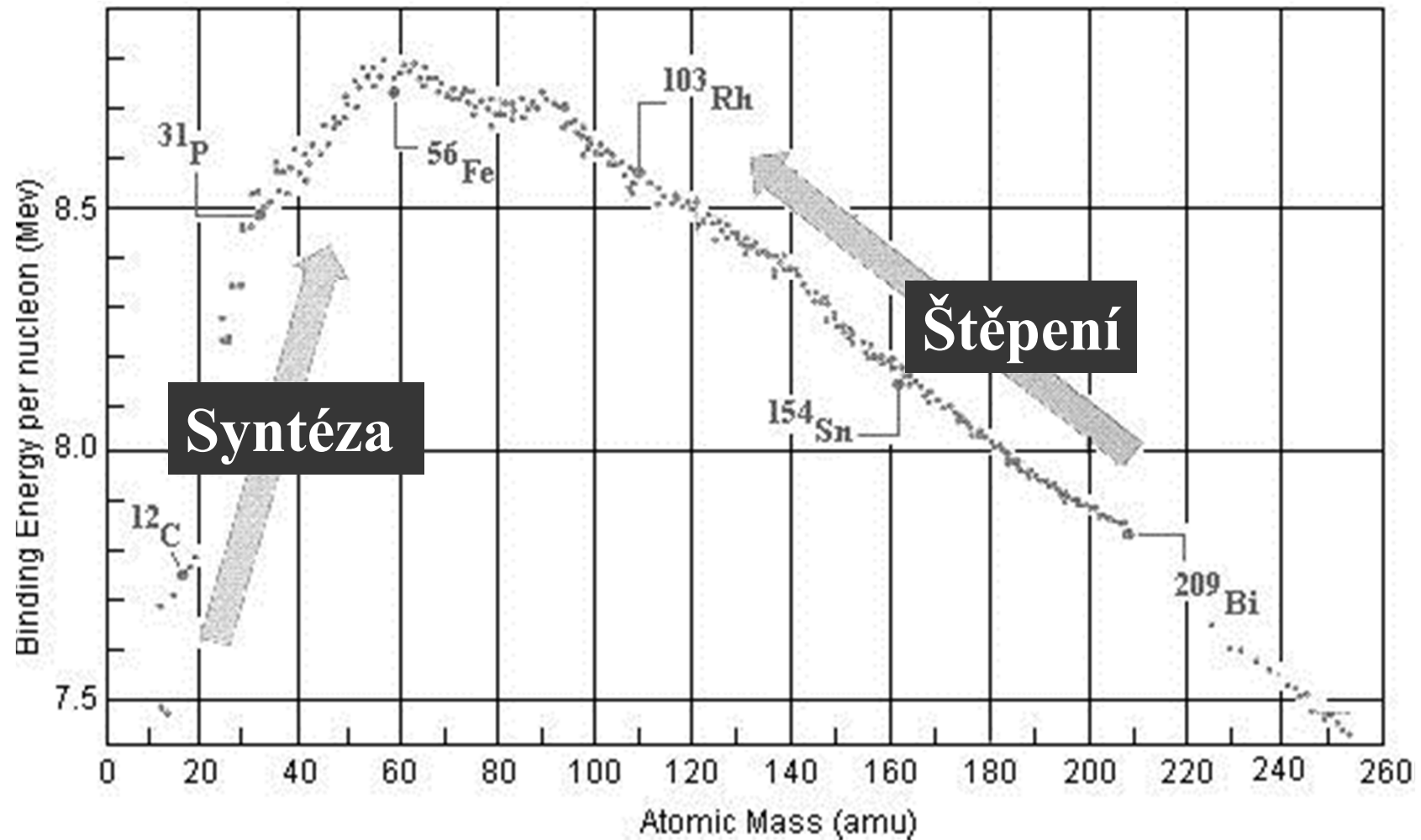
Poločas rozpadu 2,65 let

Zdroj neutronů pro start reaktorů, aktivační analýzu, difrakci, detektory zlata, výbušnin, vody a ropy, terapii rakoviny, BNCT³⁷

Syntéza a štěpení jader



Syntéza a štěpení jader - vazebná energie jádra



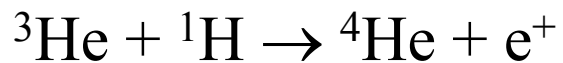
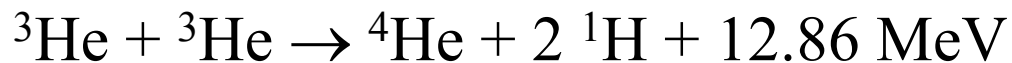
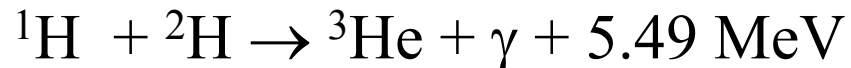
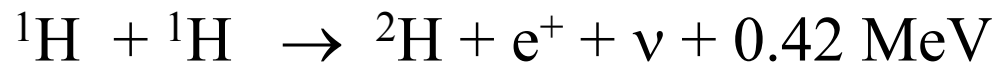
Syntéza jader ve vesmíru

Big Bang

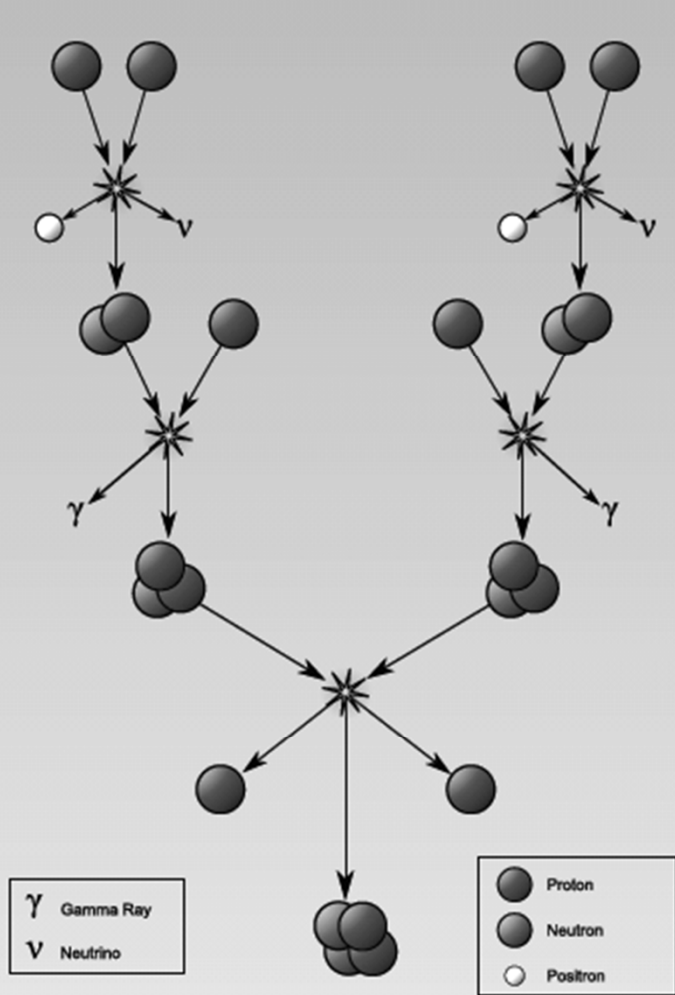


Slunce (teplota = 2×10^6 K v nitru, energie z PP nebo CN cyklu)

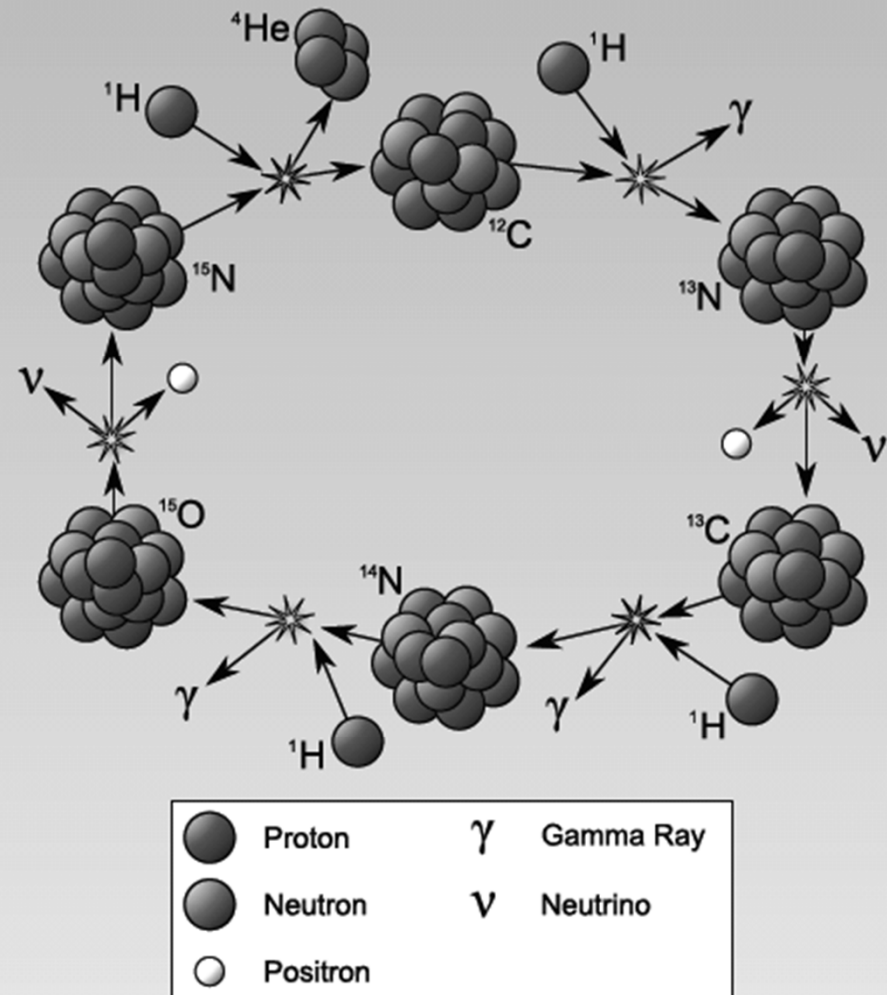
PP cyklus



PP cyklus

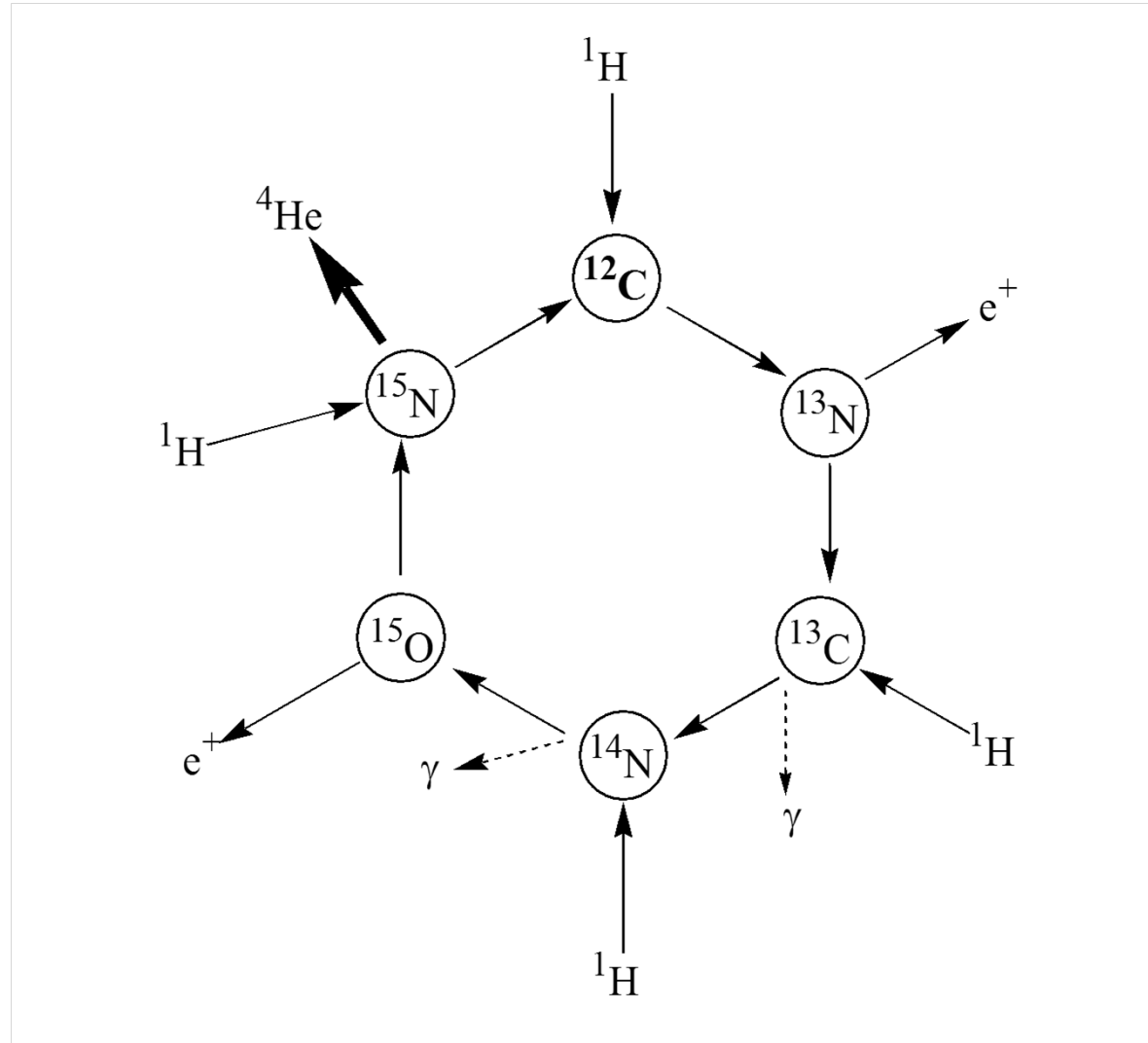
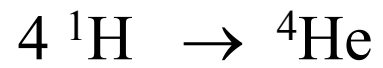


CN cyklus



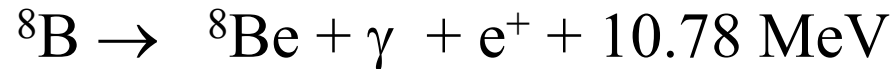
Uhlíkový cyklus

CN cyklus



Syntéza jader ve vesmíru

Slunce → rudý obr → bílý trpaslík



Syntéza jader ve vesmíru

Těžké hvězdy

$^{12}\text{C} \rightarrow \text{Ne, Mg}$

$^{16}\text{O} \rightarrow \text{Si, S}$

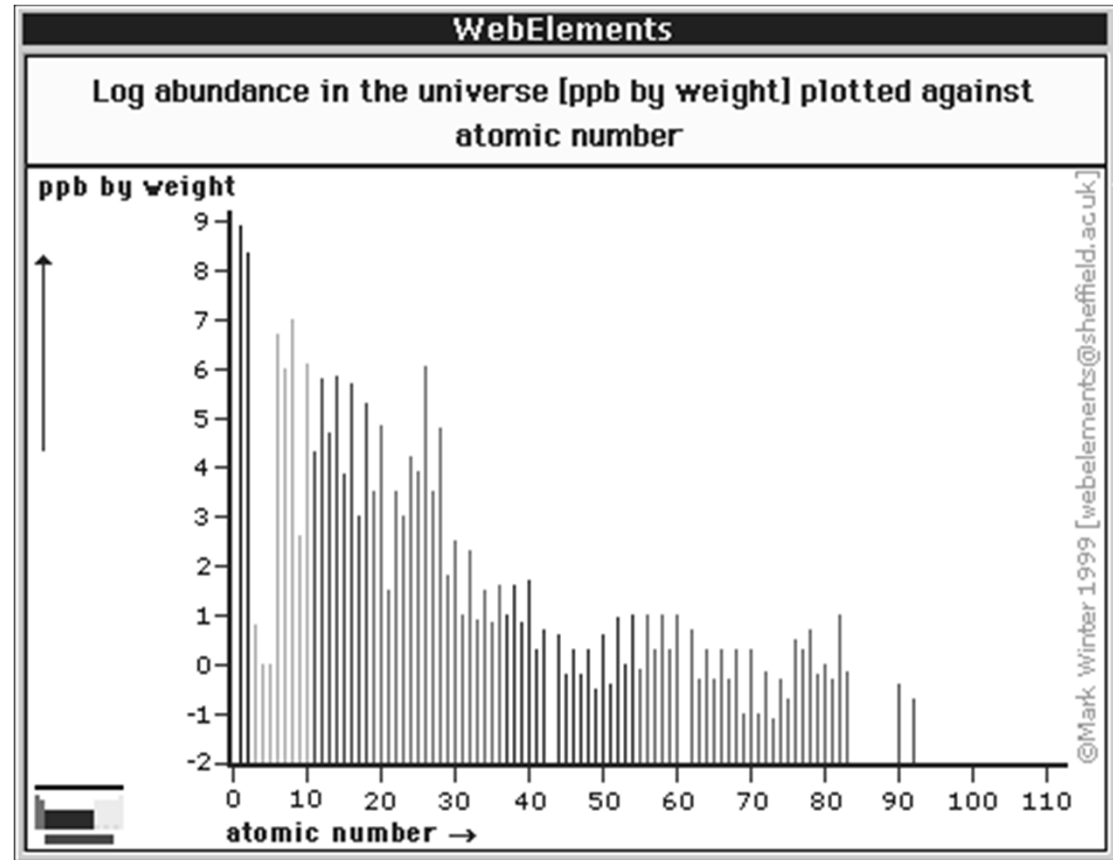
$\text{Si} \rightarrow ^{58}\text{Fe}$

Fe jádra nejstabilnější

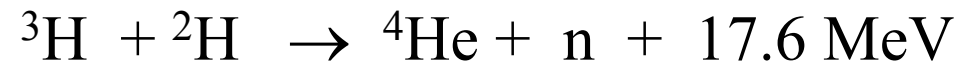
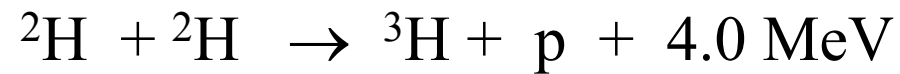
Jak dál?

Výbuch supernovy
vysoké toky neutronů

$\text{Fe} + \text{n} \rightarrow \text{Au} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{U}$



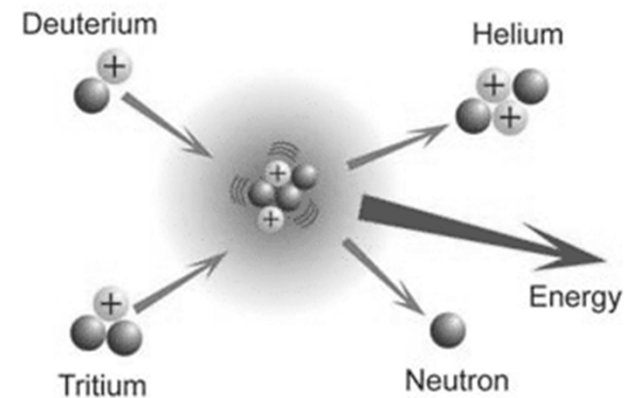
Termojaderné reakce



A další...

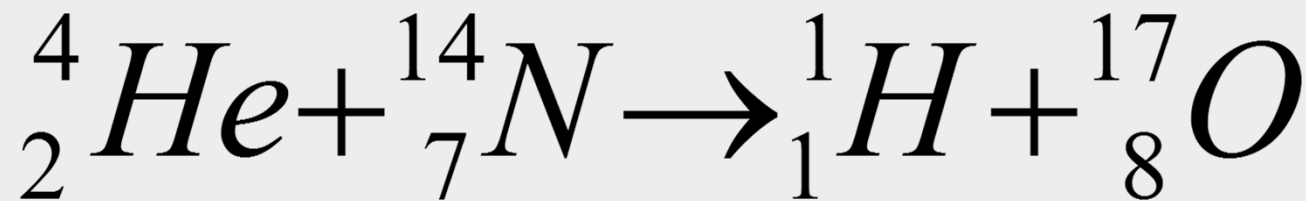
ITER Cadarache, Francie

National Ignition Facility, USA



Transmutace

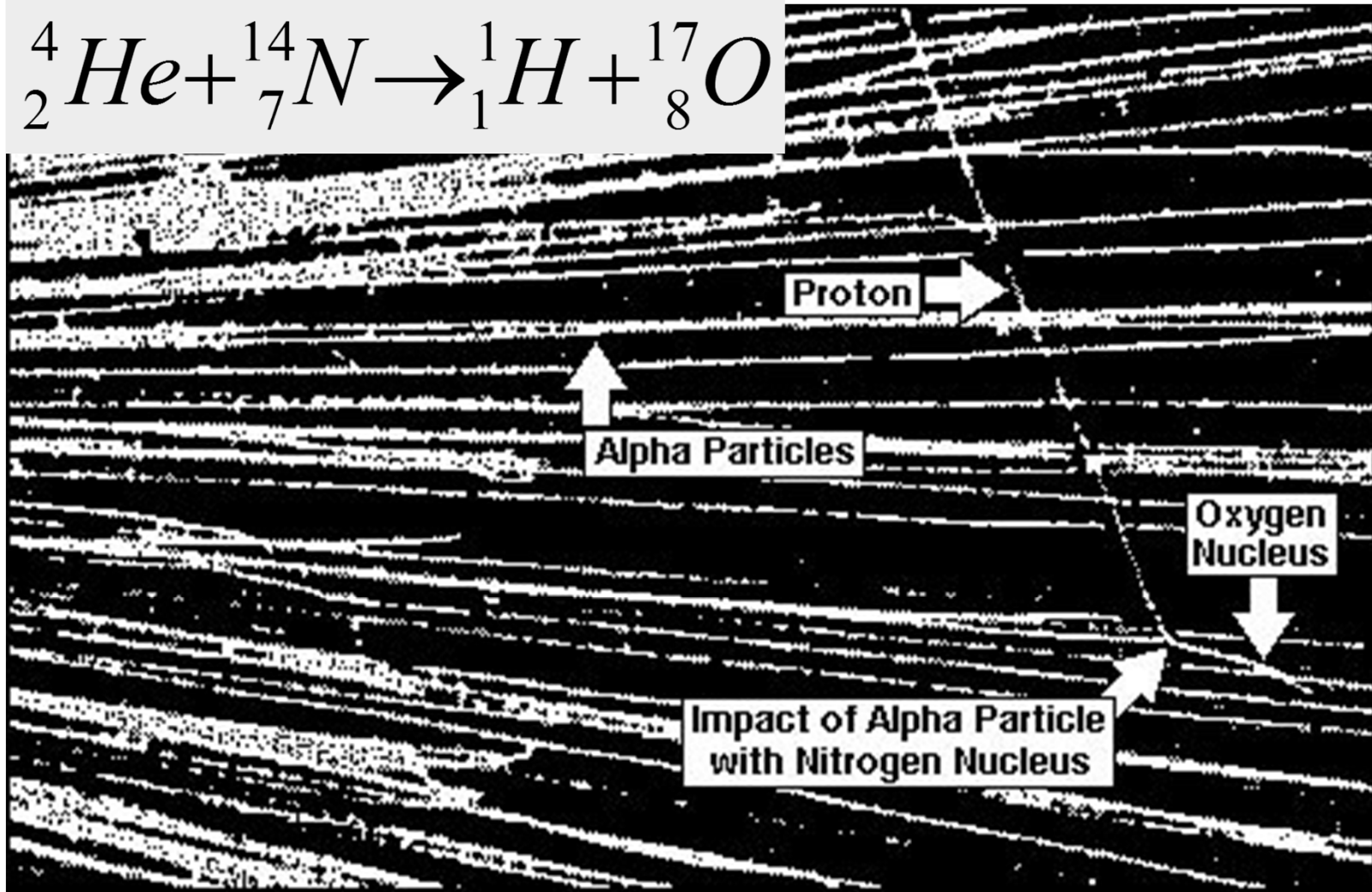
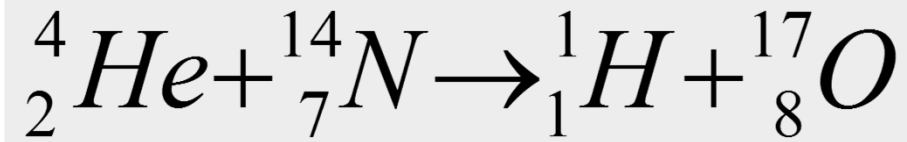
1919, Rutherford, první umělá příprava prvku



ekvivalentní zápis jaderné rovnice ${}^{14}\text{N}(\alpha, \text{p}){}^{17}\text{O}$



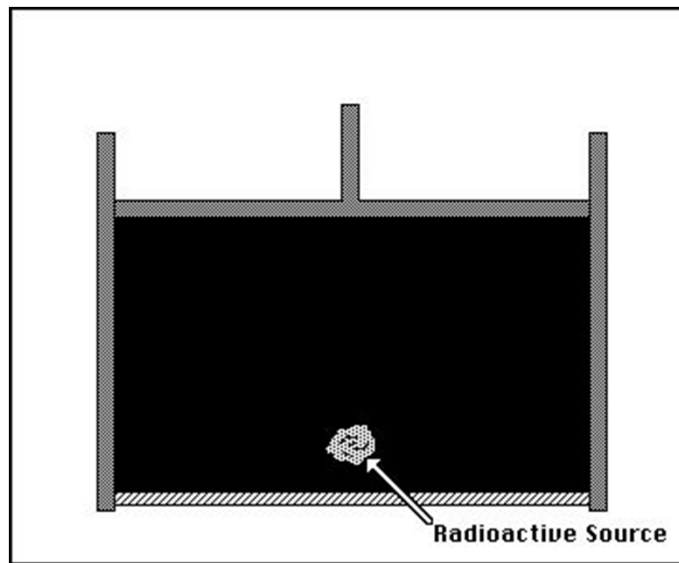
Transmutace



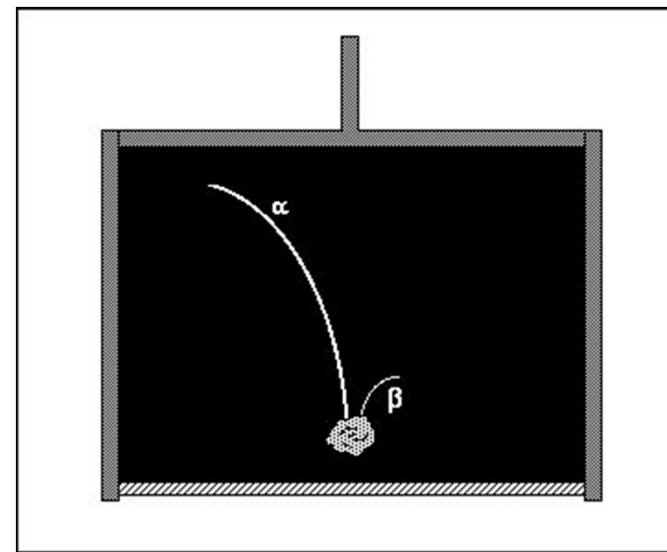


Wilsonova mlžná komora

Charles Wilson (1869-1959) NP za fyziku 1923



Plyn (vzduch, He, Ar,...)
a páry vody nebo alkoholu v
komoře se zářičem, píst pro
změnu objemu



Expanze, ochlazení, vznik
přesycené páry, částice při
průletu ionizují okolní atomy,
kondenzace na ionizovaných₄₈
atomech – kondenzační stopa

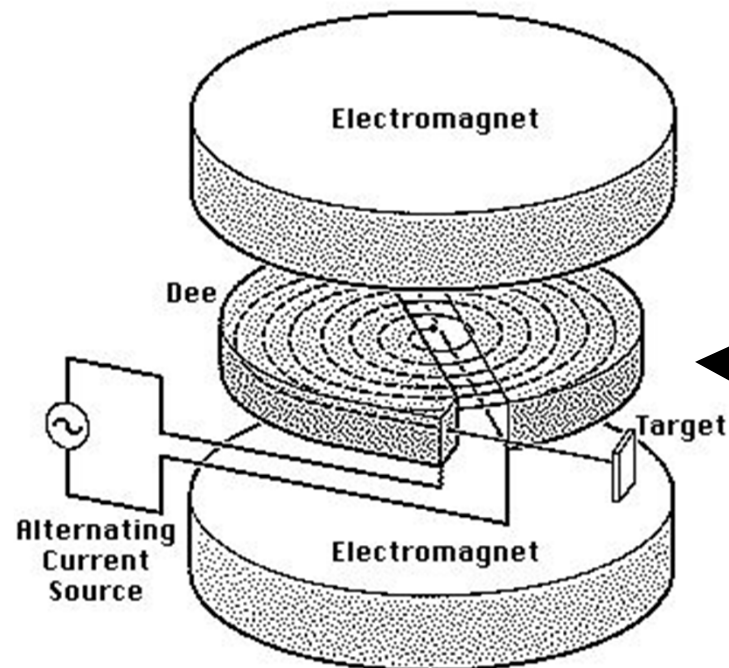
1929

Cyklotron

urychlovač pozitivních iontů (H^+ , D^+ , ...)
přechod potenciálovým rozdílem,
střídavé poz/neg nabíjení D elektrod,
kruhový pohyb v magnetickém poli,
energie do 100 MeV

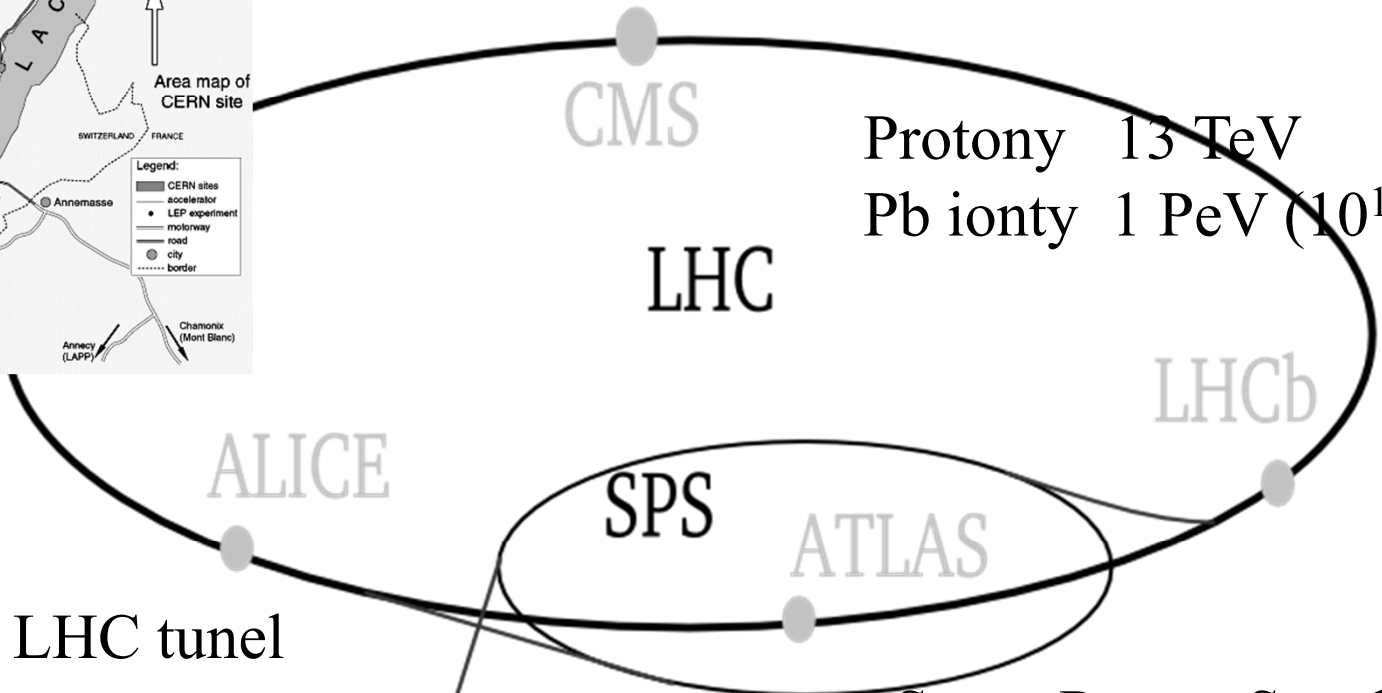


Ernest O. Lawrence
(1901-1958)
NP za fyziku 1939



← duté elektrody tvaru D

Large Hadron Collider

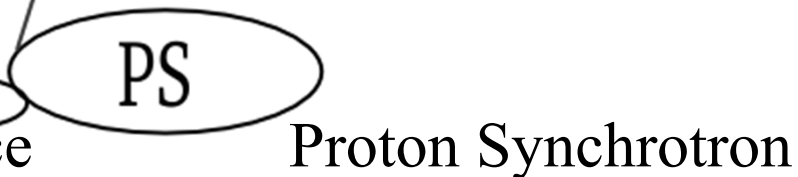


Protony 13 TeV
 Pb ionty 1 PeV (10^{15} eV)

27 km LHC tunel

Super Proton Synchrotron

Lineární urychlovače
 (protony a ionty)



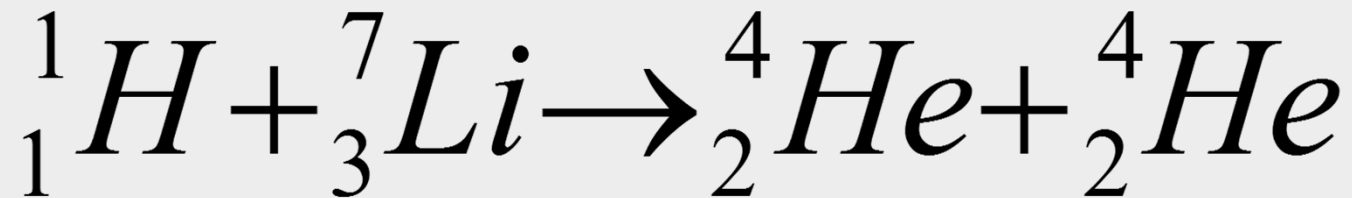
Štěpení jader

1932

John D. Cockcroft (1897-1967) a Ernest T. S. Walton (1903-1995)

Kaskádový urychlovač, protony 800 keV

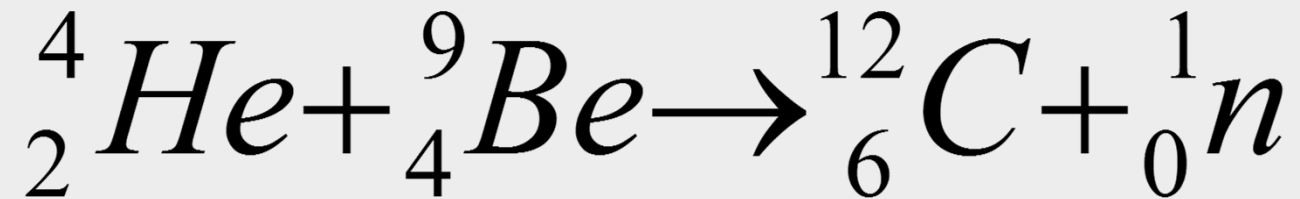
První štěpení stabilního jádra urychlenou částicí



1951 společně NP za fyziku

1932

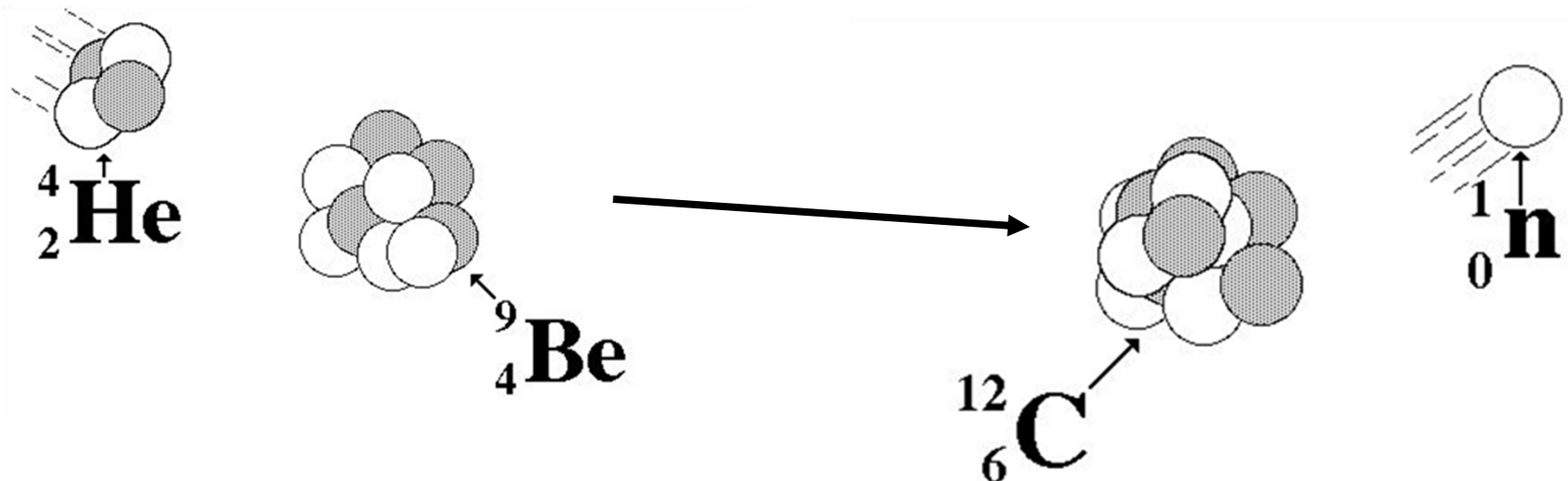
Objev neutronu



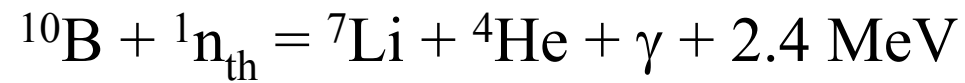
neutron = částice s nulovým nábojem, spin $\frac{1}{2}$
 $m = 1,67470 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

James Chadwick
(1891-1974)

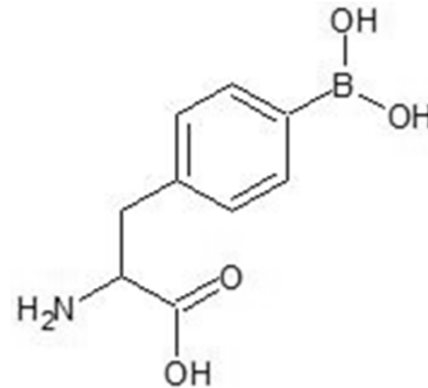
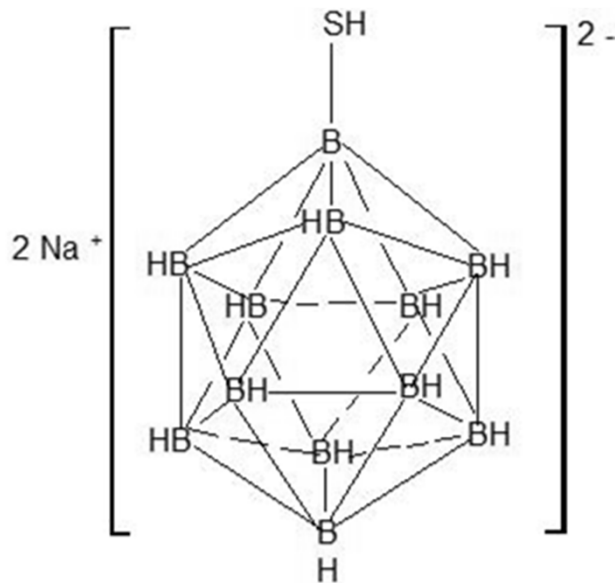
NP za fyziku 1935



BNCT = Boron Neutron Capture Therapy



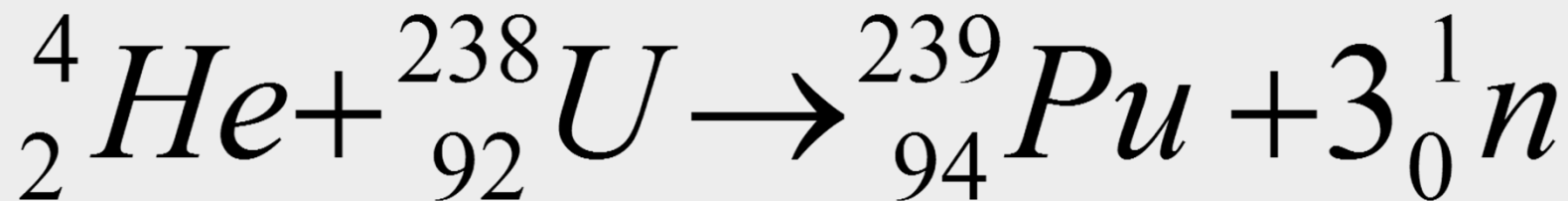
Dolet v tkáni asi 12 μm – průměr buňky



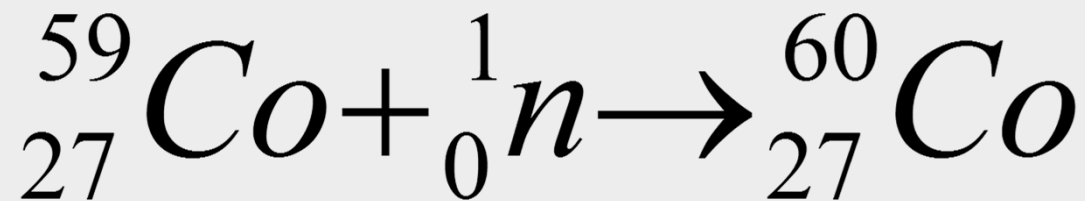
Akumulace v tumoru
(20 $\mu\text{g/g}$ tumoru)

Transmutace

Cyklotron



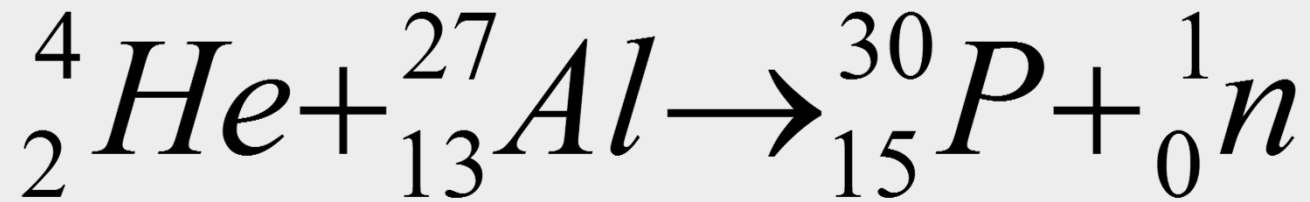
Bombardování neutrony

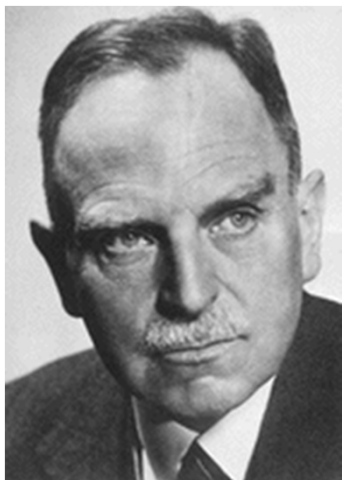


1933

Umělá radioaktivita

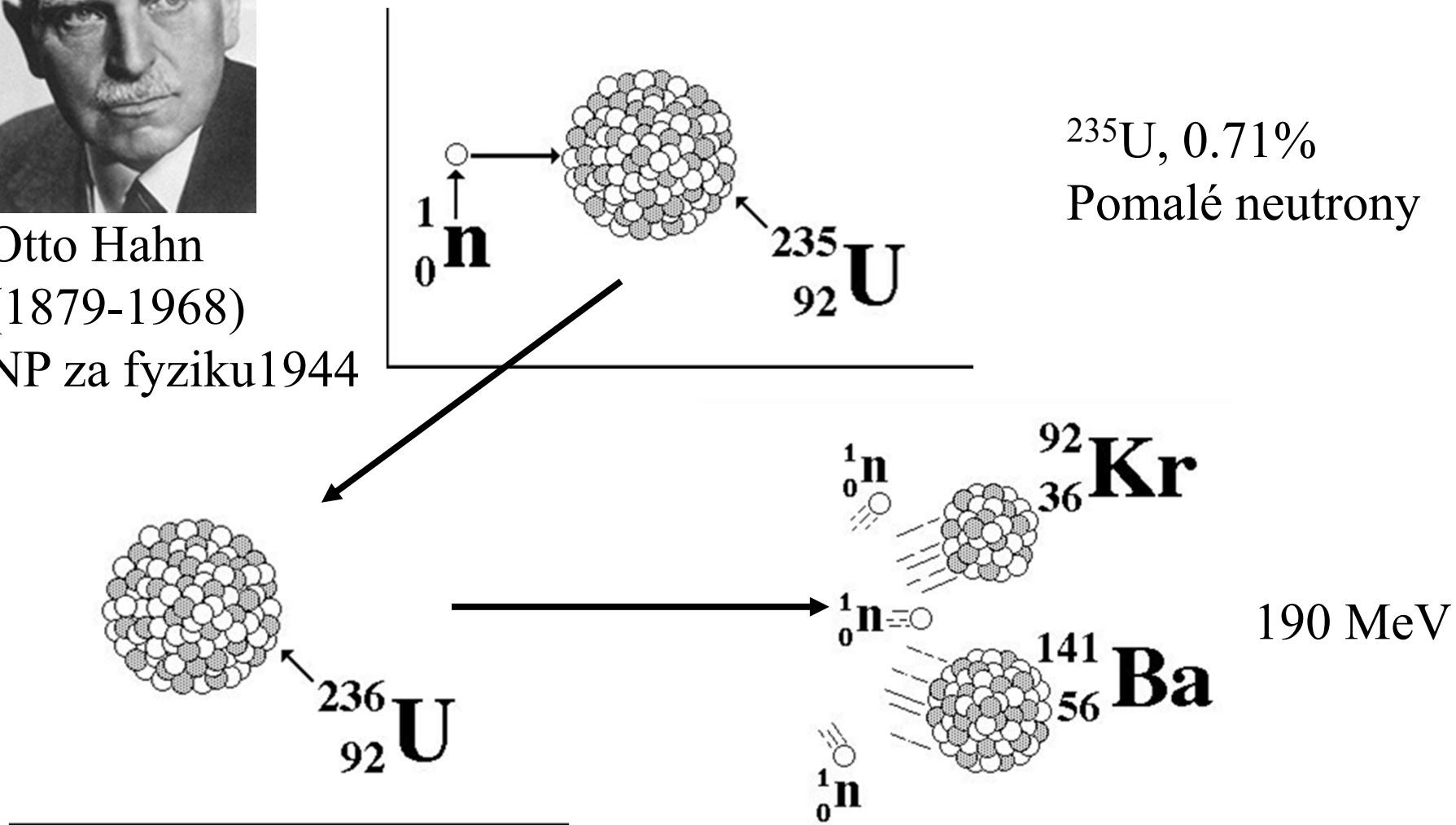
Frederic and Irene Joliot-Curie
(1900-1958) (1897-1956)





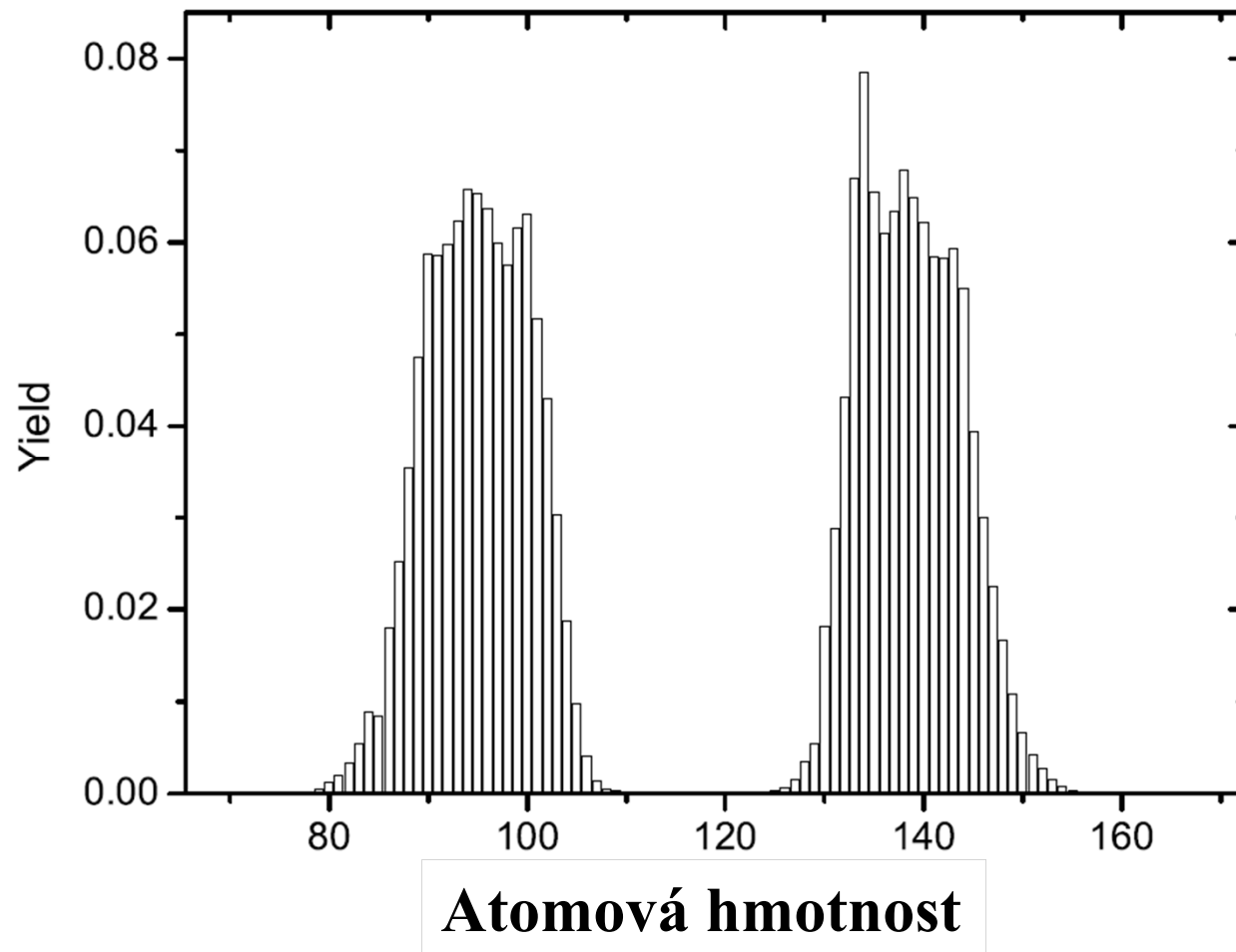
Otto Hahn
(1879-1968)
NP za fyziku 1944

Štěpení jader

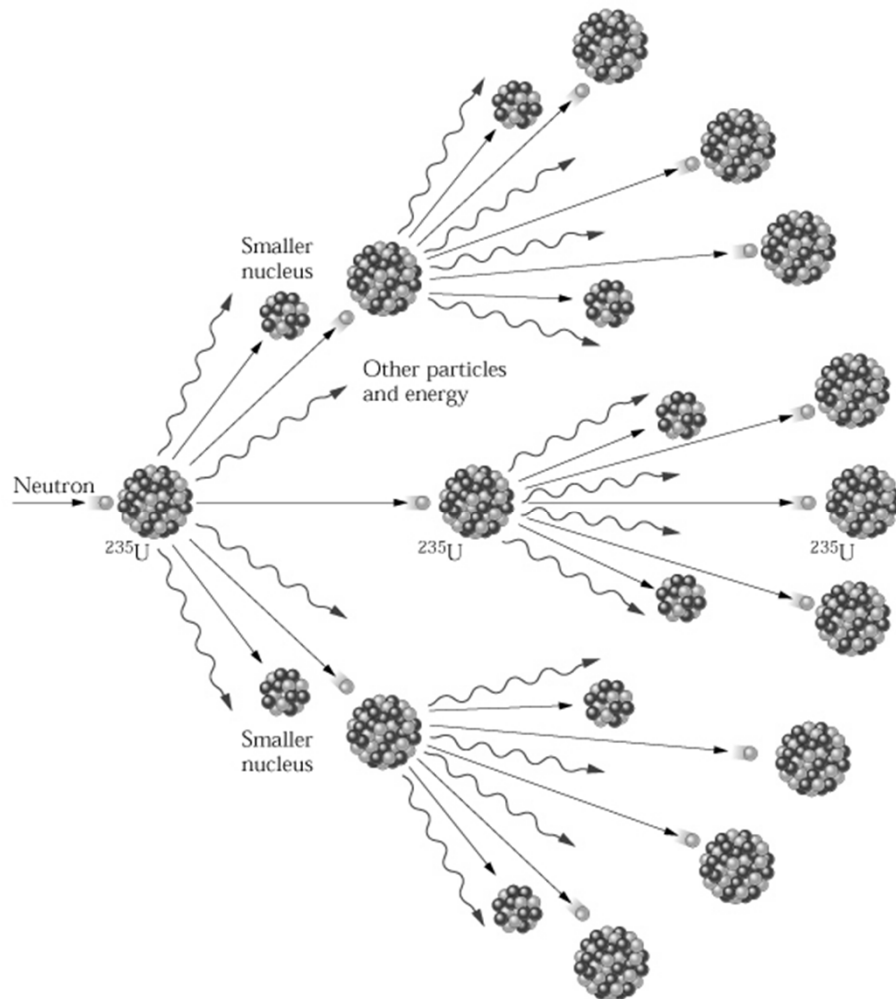


Štěpení ^{235}U

Rozložení výtěžku štěpných produktů pro ^{235}U .



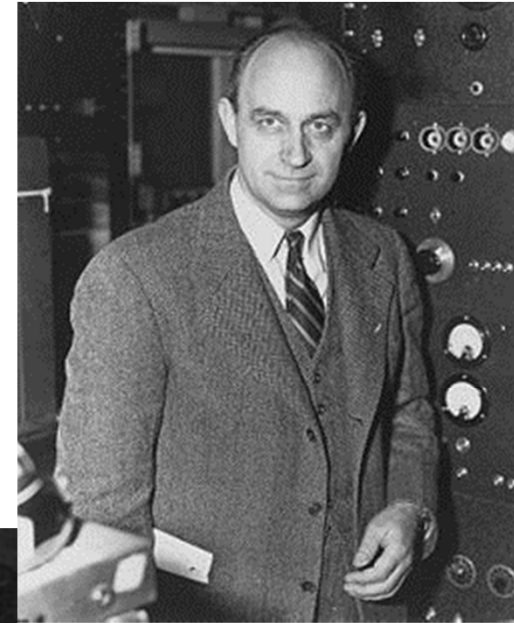
Řetězová reakce neřízená



Jaderný reaktor

1942 Chicago Pile - 1

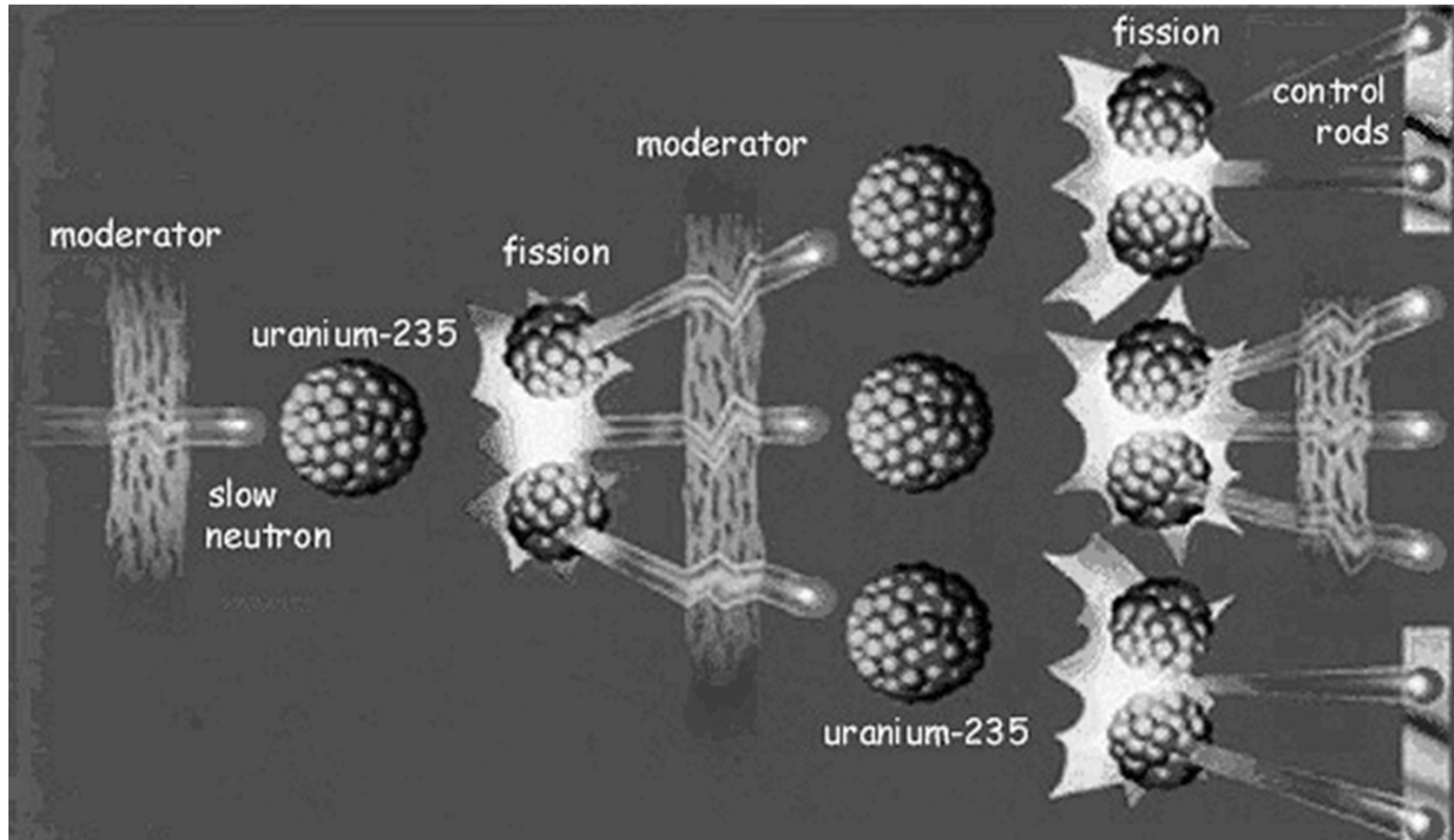
První řízená štěpná reakce ^{235}U



Enrico Fermi
(1901-1954)
NP za fyziku 1938



Řízená štěpná reakce ^{235}U



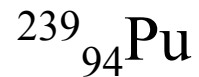
Moderátor = zpomalení neutronů – grafit
Cd dobře pohlcuje neutrony – zachycení n

Transurany

Do 1940 nejtěžší přírodní prvek $Z = 92$ (U)
Prvky $Z \geq 93$ (Np) transurany pouze umělé

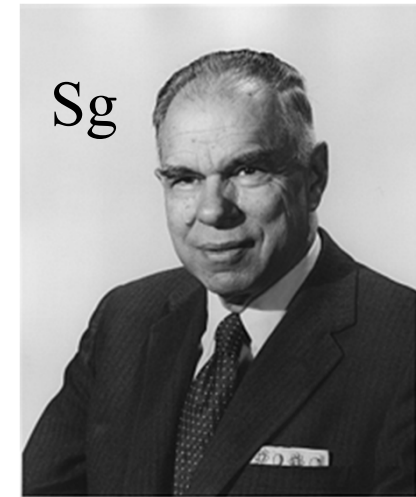
1940 První umělý transuran = $^{239}_{93}\text{Np}$

bombardování neutrony

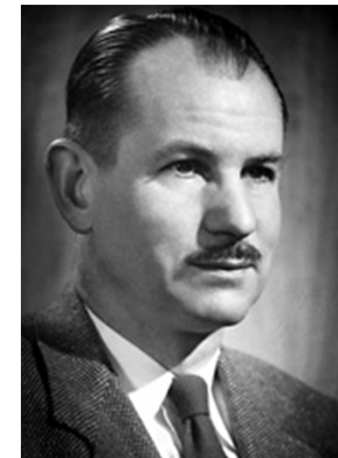


Adresa Glenna Seaborga
Sg, Lr, Lv, Bk, Cf, Am

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Thorium	Protactinium	Uranium	Neptunium	Plutonium	Americium	Curium	Berkelium	Californium	Einsteinium	Fermium	Mendelevium	Nobelium	Lanthanum



Glenn T. Seaborg
(1912-1999)



Sdílená NP
za chemii 1951

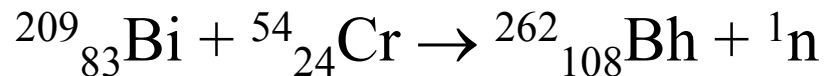
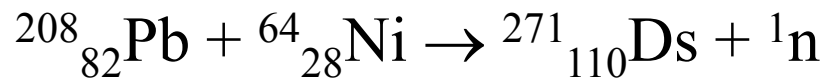
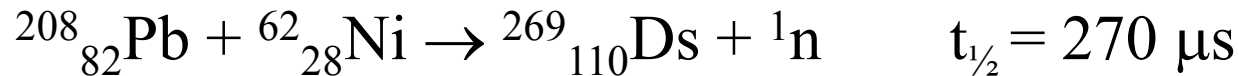
Edwin M. McMillan
(1907-1991) 61

Syntéza transuranů

Bombardování kladnými ionty

^4He , ^{12}C , ^{15}N , ^{18}O , ...

připraveny transurany po $Z = 118$



- Spojený ústav jaderných výzkumů, Dubna, Rusko
- GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung), Německo
- Lawrence Berkeley and Livermore National Laboratories, CA, USA
- RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science, Japonsko

Syntéza transuranů

Bombardování kladnými ionty

${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{15}\text{N}$, ${}^{18}\text{O}$, ... ${}^{70}\text{Zn}$

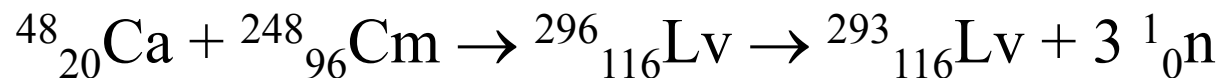
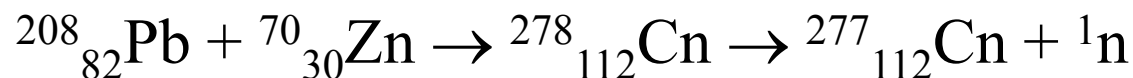
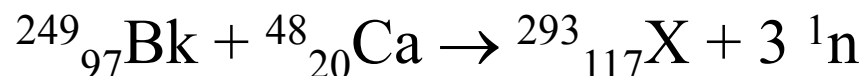
připraveny transurany po $Z = 118$

Nihonium Nh, 113

Moscovium Mc, 115

Tennessine Ts, 117

Oganesson Og, 118



Kinetika radioaktivního rozpadu

$$-dN/dt = k N$$

$$dN/N = -k dt$$

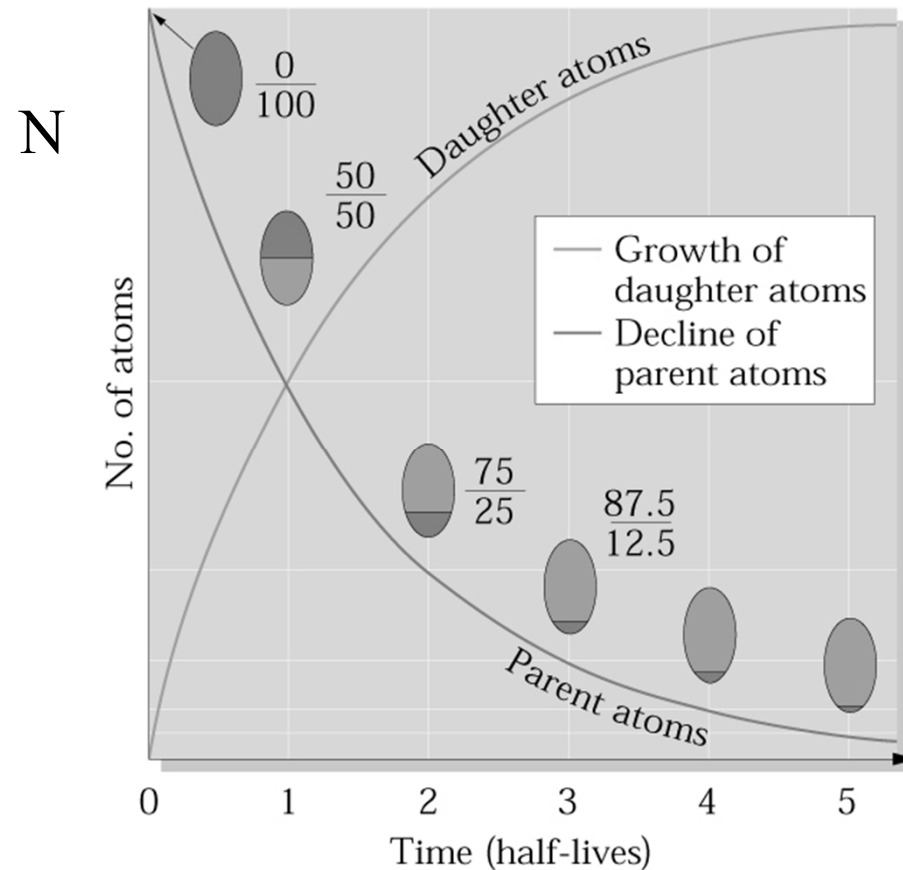
Integrace

$$t = 0 \quad N = N_0$$

$$\ln(N/N_0) = -k t$$

$$N/N_0 = \exp(-k t)$$

$$N = N_0 \exp(-k t)$$



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Poločas rozpadu, $t_{1/2}$

$$t = t_{1/2} \quad N = N_0/2$$

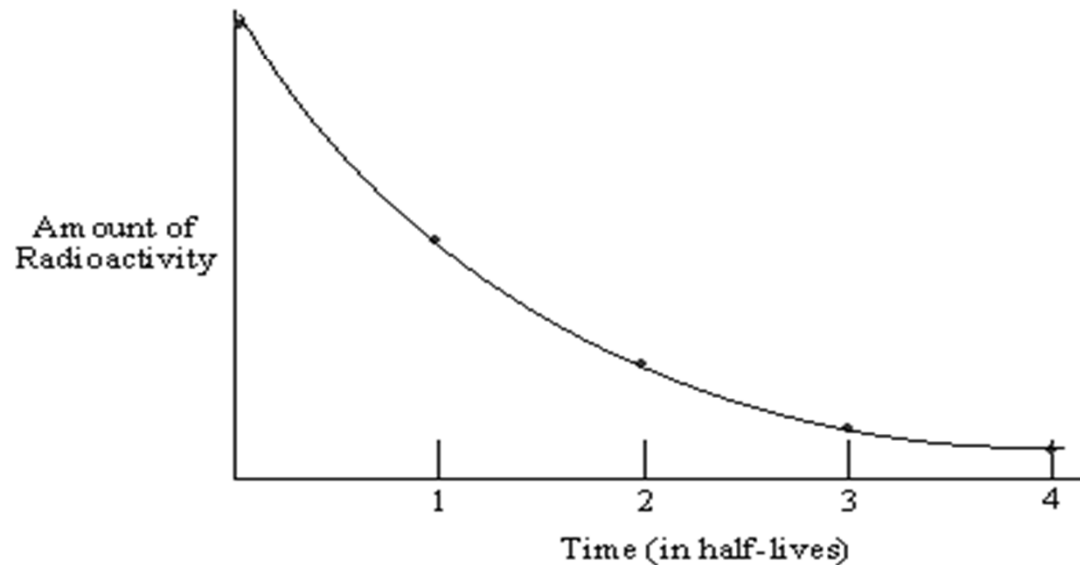
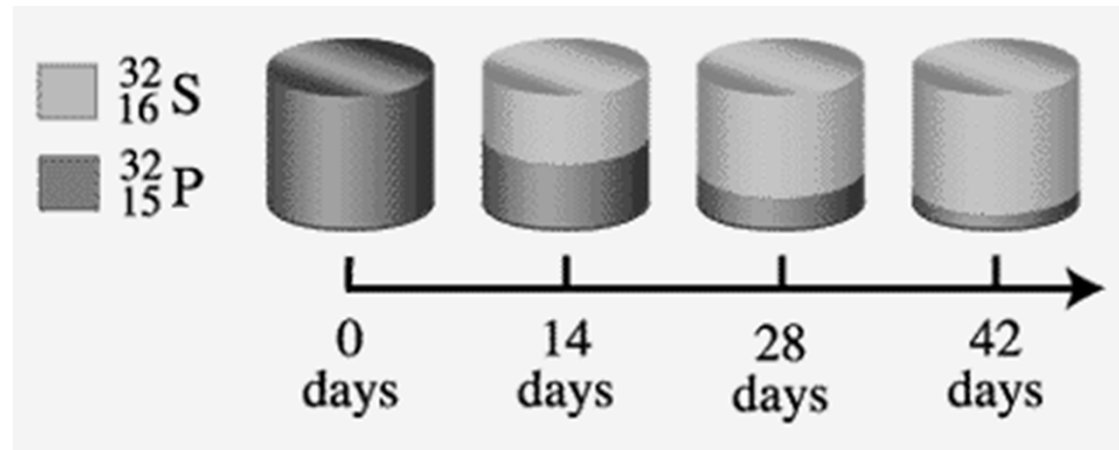
$$\ln(N/N_0) = -k t$$

$$\ln(1/2) = -k t_{1/2}$$

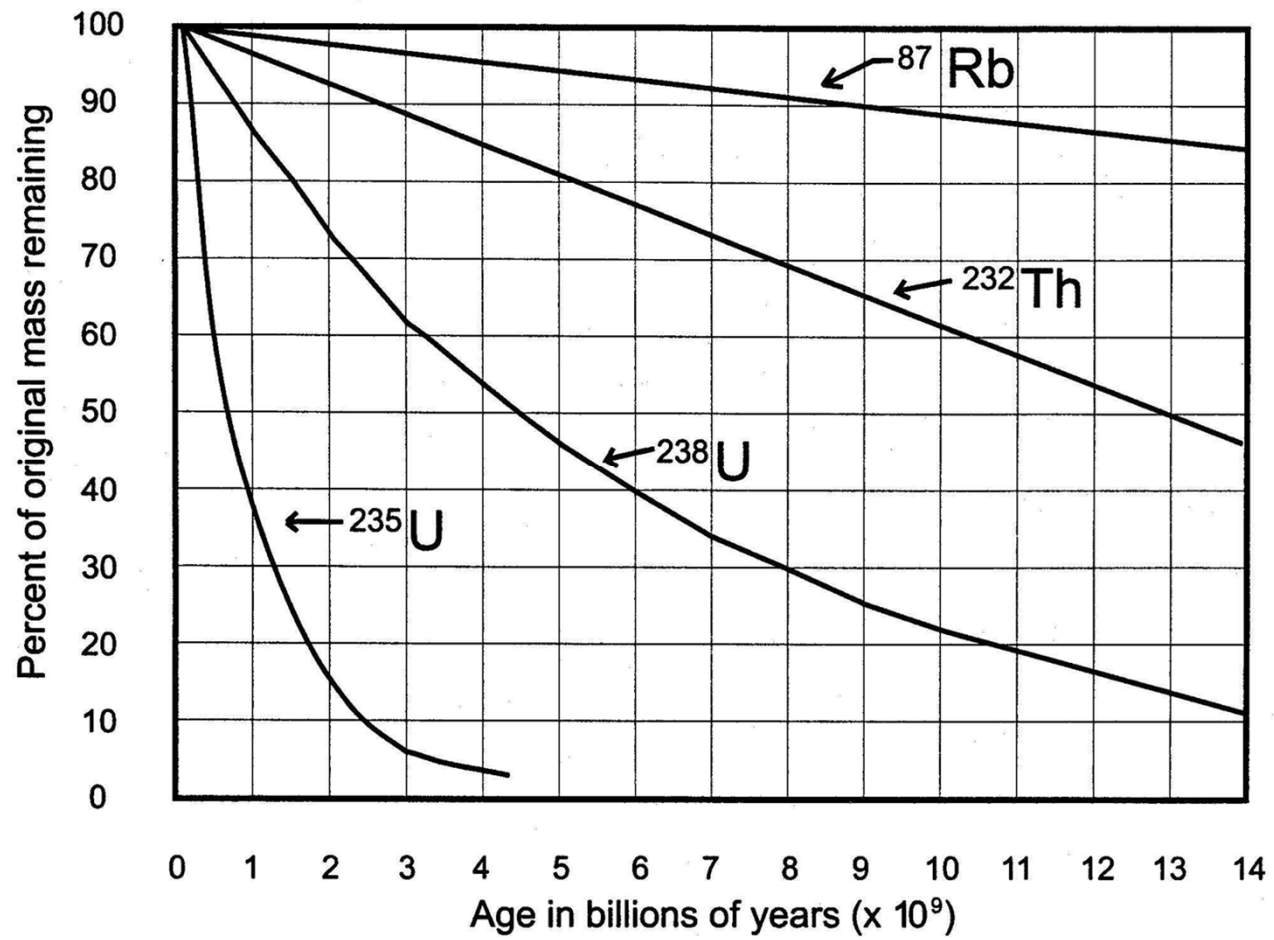
$$t_{1/2} = \ln(2) / k$$

$$k = \ln(2) / t_{1/2}$$

$$\ln(N/N_0) = -t \ln(2) / t_{1/2}$$



Poločas rozpadu

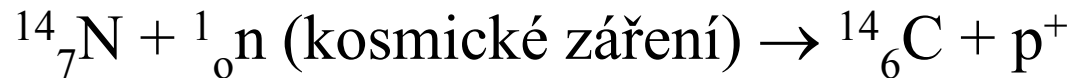


Datování pomocí ^{14}C

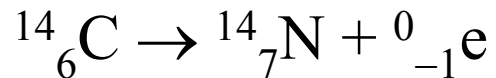


Willard Libby
(1908 - 1980)
NP za chemii 1960

^{14}C vzniká kontinuálně vysoko v atmosféře



Rozpadá se beta rozpadem s poločasem $t_{1/2} = 5730$ let



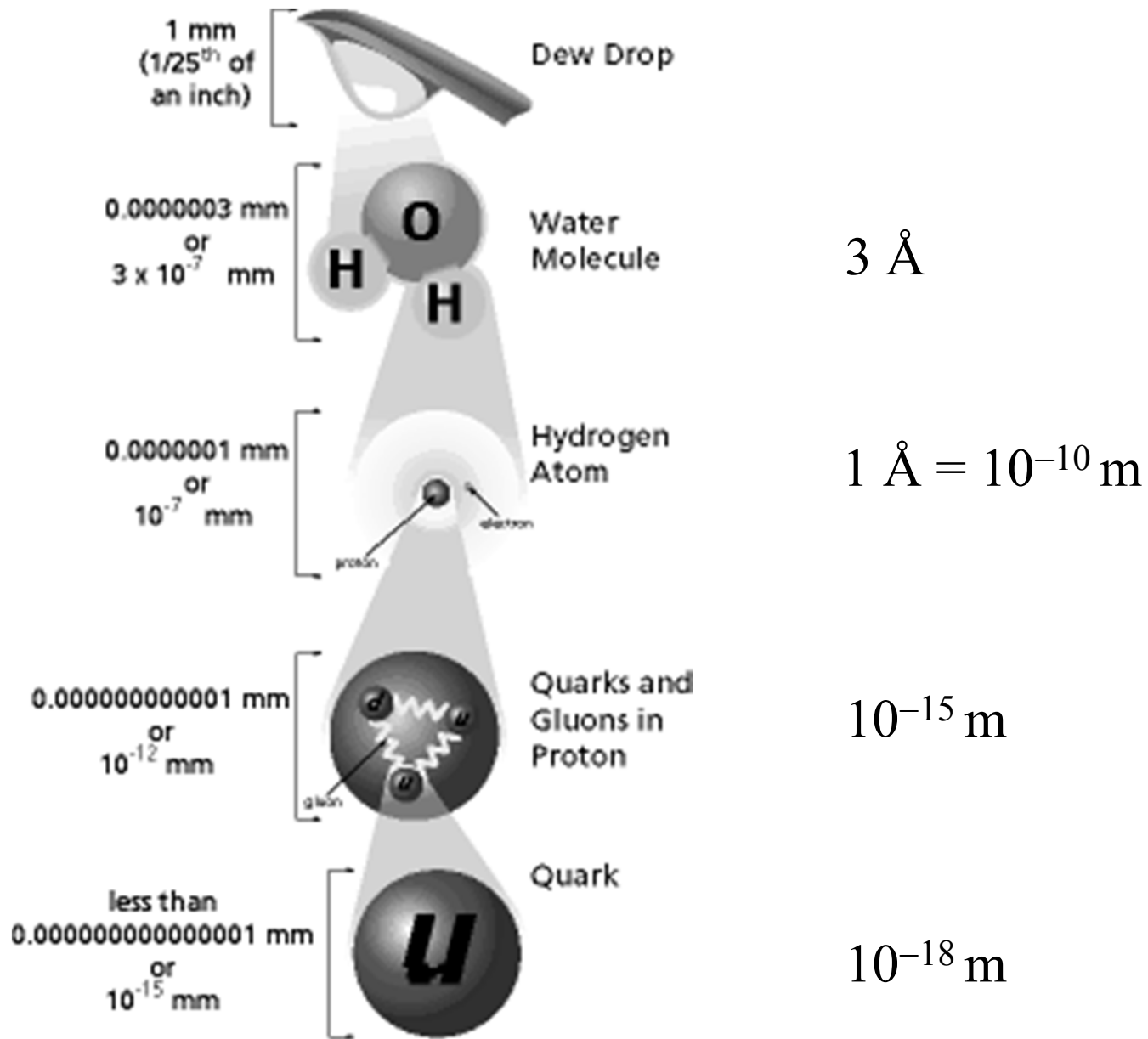
V atmosféře a živých rostlinách (CO_2 , fotosyntéza) se ustaví rovnovážná koncentrace ^{14}C . Po smrti organismu koncentrace ^{14}C klesá.

$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ se určí hmotnostní spektrometrií

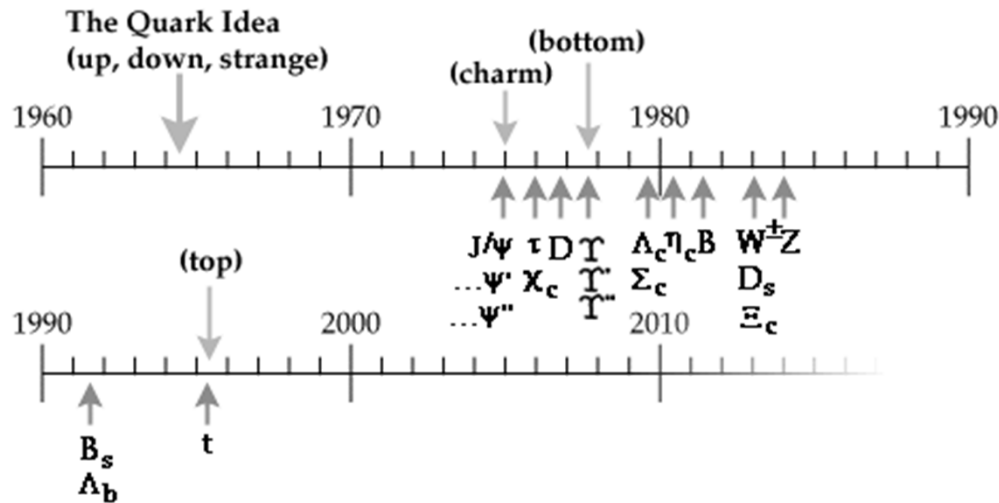
$$\ln(N/N_0) = -k t$$

$$k = \ln(2) / t_{1/2}$$

$$\ln(N/N_0) = -t \ln(2) / t_{1/2}$$



Elementární částice



Zoologická zahrada částic

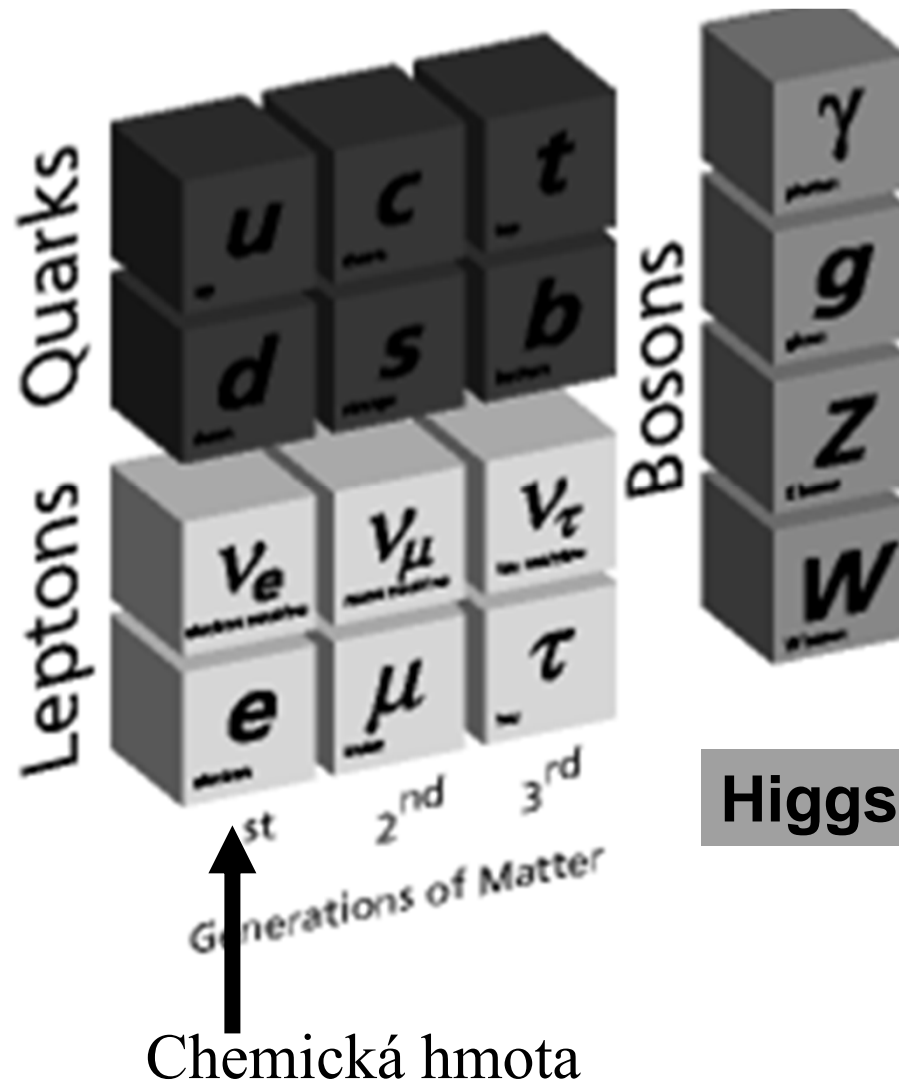
Quarky

- Spin
- Zlomkový náboj

Murray Gell-Mann
(1929 -)
NP za fyziku 1969

Elementární částice – Standardní Model

Astrofyzika a
částicová
fyzika



Přenašeče interakcí

← Elmagn.

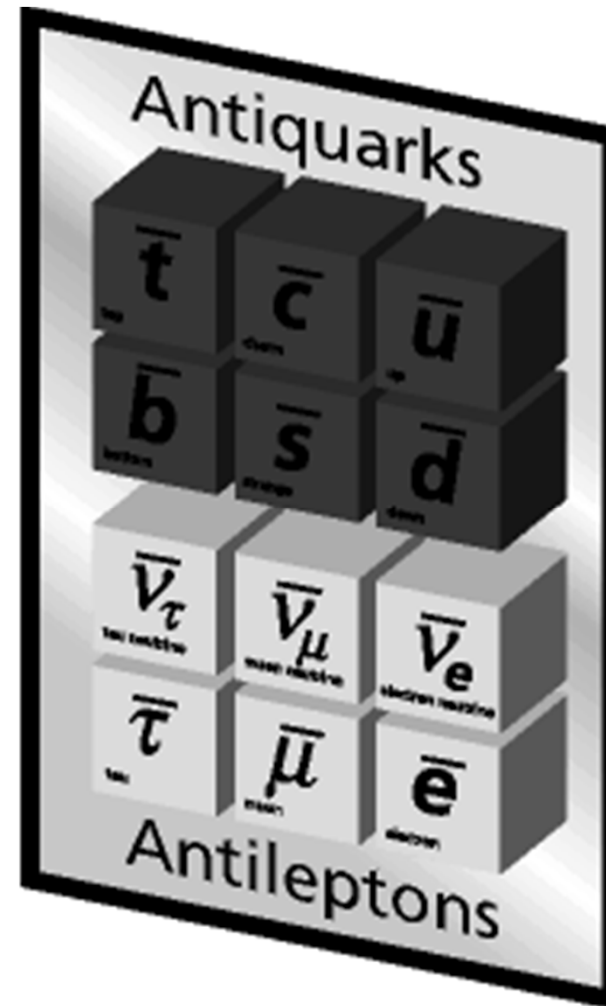
← Silné inter.

← Slabé inter.

γ a g nemají hmotnost
 Z a W mají hmotnost

Higgs dodává
hmotnost Z a W
bosonům

Antičástice



Chemická hmota**Leptony**

lepton	značka	el. náboj	m [amu]
elektron	e^-	-1	$5.5 \cdot 10^{-4}$
elektronické neutrino	ν_e	0	
mion	μ	-1	0.1144
mionické neutrino	ν_μ	0	
tauon	τ	-1	1.915
tauonické neutrino	ν_τ	0	

Leptony

Existují volné, nevážou se

Náboj číslo 0 nebo -1 , kvantování el. náboje
Levoruké a s opačnou helicitou
(neexistují pravoruká neutrina)

Antileptony mají opačný náboj

Leptonové číslo L

$L = 1$ pro leptony

$L = -1$ pro antileptony

$L = 0$ pro ostatní

Quarky

Quark	značka	el. náboj
down	d	$-1/3$
up	u	$+2/3$
strange	s	$-1/3$
charm	c	$+2/3$
bottom	b	$-1/3$
top	t	$+2/3$

Chemická hmota

Quarky

Quarky nejsou známy volné, nemají hmotnost

Existují jen ve vázaných stavech – Hadrony (Baryony a Mezony)

Nábojové číslo $+2/3$ a $-1/3$

Levoruké a s opačnou helicitou

Antiquarky opačný náboj

Baryon = 3 quarky (např. proton se skládá z uud)

Antibaryon = 3 antiquarky

Mezon = 1 quark + 1 antiquark

Baryonové číslo

$B = 1$ pro baryony

$B = -1$ pro antibaryony

$B = 0$ pro ostatní

Quarky

Vazebné síly mezi quarky:

- Zprostředkovány gluony
- Slabé na malou vzdálenost, při oddalování rostou

(Proto není možné quarky zachytit volně)

Hadrony

Hadron	značka	el. náboj	složení
pozitivní pion	Π^+	+1	ud
pozitivní kaon	K^+	+1	us
proton	p	+1	uud
neutron	n	0	udd
lambda	Λ	0	uds

Bosony

Zprostředkovatelé interakcí

Boson	značka	el. náboj	interakce
foton	γ	0	elektromagnetická
gluon	g	0	silná
W-boson	W^+ W^-	+1 -1	slabá
Z-boson	Z	0	slabá

Zákon zachování B a L čísla

Součet B a L před reakcí a po reakci musí být stejný

např.



$$\text{L} \quad 1 \quad -1 \quad 0$$



$$\text{B} \quad 1 \quad 1$$