



- základní charakteristiky
- spin
- magnetické a elektrické momenty
- vazebná energie
- modely atomového jádra

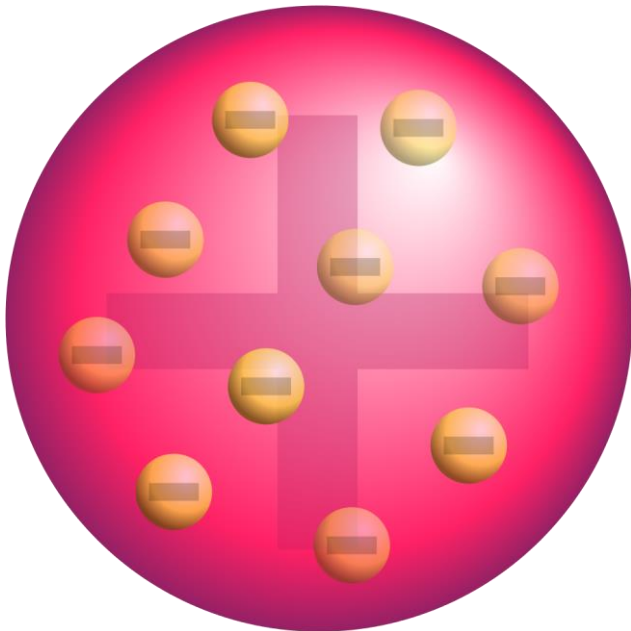


Univerzita obrany  
v Brně

# Atomové jádro

objev elektronu - 1897

**Thomsonův model atomu**  
(Pudinkový model)



Joseph John Thomson



18. prosince 1856 - 30. srpna 1940

Nobelova cena za fyziku 1906  
za výzkum vodivosti plynů



Univerzita obrany  
v Brně

# Atomové jádro

## Atomové jádro - objev

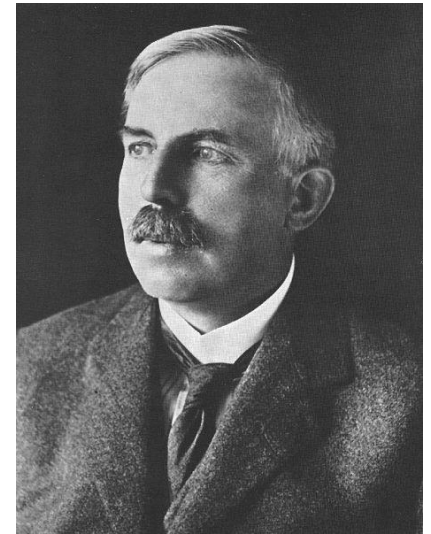
Rutherfordův experiment

(Geigerův-Marsdenův experiment)

Nobelova cena za chemii 1908

za výzkum rozpadu prvků a chemii radioaktivních látek

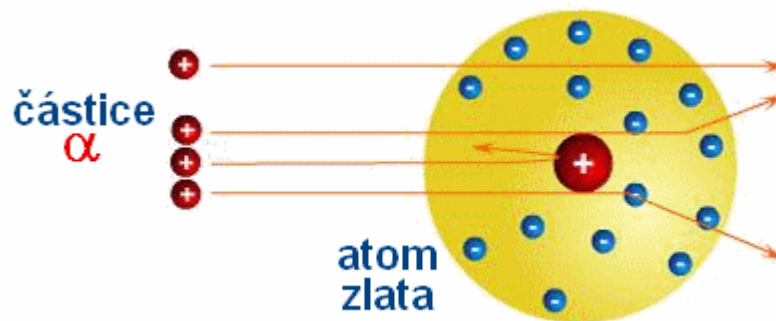
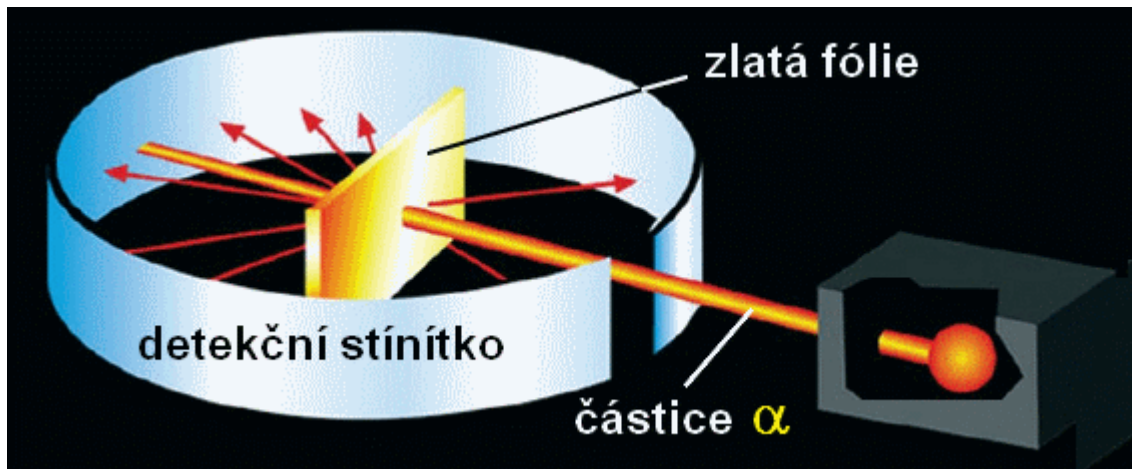
Ernest Rutherford



30. srpna 1871 - 19. října 1937



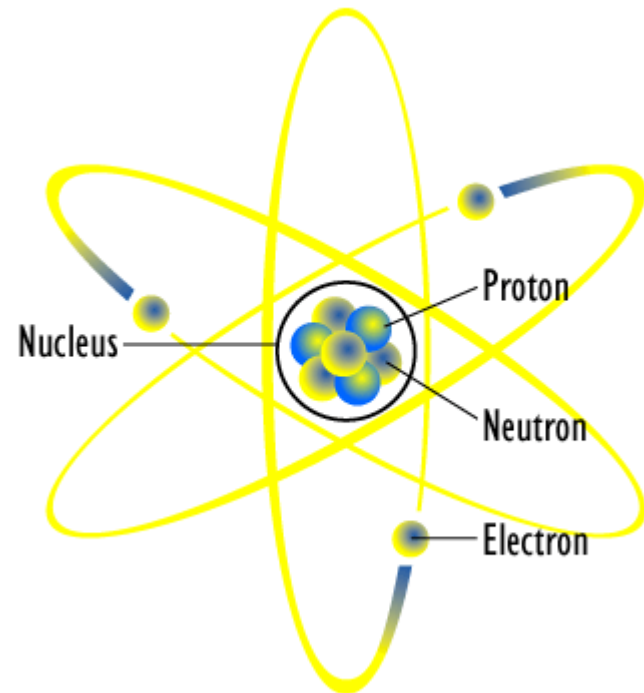
# Atomové jádro





## Atomové jádro

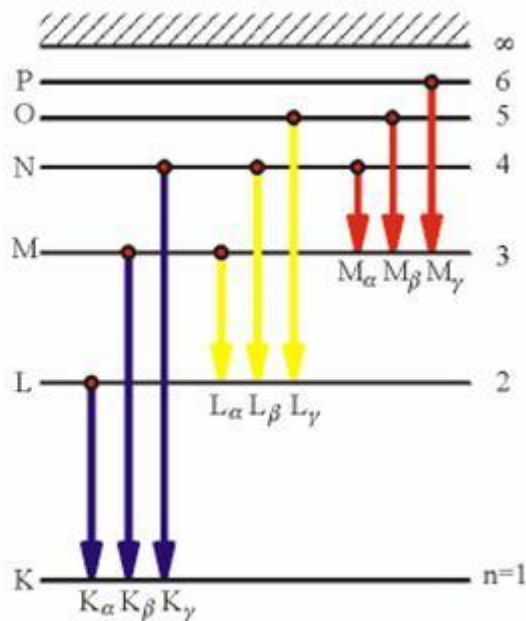
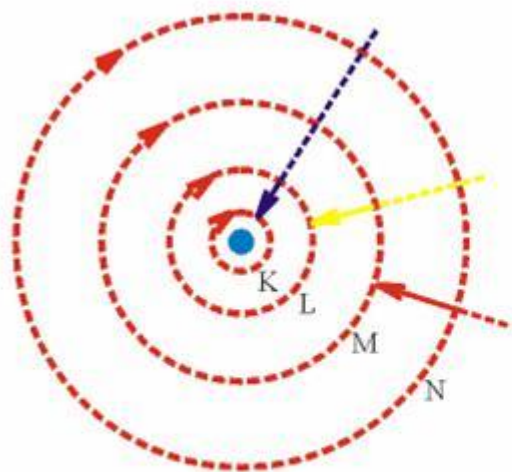
- centrální část atomu
- poloměr řádově  $10^{-15}$  m
- kladný elektrický náboj
- hmotnost je řádově 1000 krát větší než hmotnost atomového obalu





Univerzita obrany  
v Brně

# Bohrův model atomu



Niels Henrik David Bohr



7. října 1885 – 18. listopadu 1962

Nobelova cena za fyziku 1922

za výzkum struktury atomů a jejich záření



Způsob zápisu složení atomového jádra daného prvku:

X ... obecná značka prvku

Z ... protonové (atomové) číslo

počet protonů v jádře

počet elektronů v atomu

pořadové číslo prvku v periodické soustavě prvků



A ... nukleonové (hmotnostní) číslo

počet nukleonů (protonů a neutronů) v jádře

N ... neutronové číslo

počet neutronů v atomovém jádře

$$A = Z + N$$



## PRVEK

látka, jejíž všechny atomy mají stejné protonové číslo  $Z$

## NUKLID

látka, jejíž všechny atomy mají stejné protonové číslo  $Z$   
i nukleonové číslo  $A$

## IZOTOPY

různé nuklidy téhož prvku, které mají stejné protonové  
číslo  $Z$  a různá nukleonová čísla  $A$

pojem izotop používáme vždy ve vztahu k určitému  
prvku, např.: izotopy vodíku







Prvek	$A_r$ (stř.)	Izotop	Výskyt v přírodní izotopové směsi (%)	$A_r$
<b>Vodík</b>	1,0179	$^1\text{H}$	99,985	1,007825
		$^2\text{H}$	0,015	2,014102
<b>Lithium</b>	6,941	$^6\text{Li}$	7,52	6,015126
		$^7\text{Li}$	92,48	7,016005
<b>Uhlík</b>	12,011	$^{12}\text{C}$	98,892	12,00000
		$^{13}\text{C}$	1,108	13,003354
<b>Kyslík</b>	15,9994	$^{16}\text{O}$	99,759	15,994915
		$^{17}\text{O}$	0,037	16,999133
		$^{18}\text{O}$	0,204	17,999150
<b>Draslík</b>	39,08	$^{39}\text{K}$	93,08	38,963714
		$^{41}\text{K}$	6,92	40,961385
<b>Cín</b>	118,69	$^{112}\text{Sn}$	0,96	111,904940
		$^{114}\text{Sn}$	0,66	113,902960
		$^{115}\text{Sn}$	0,35	114,903530
		$^{116}\text{Sn}$	14,30	115,902110
		$^{117}\text{Sn}$	7,61	116,903060
		$^{118}\text{Sn}$	24,03	117,901790
		$^{119}\text{Sn}$	8,58	118,903390
		$^{120}\text{Sn}$	32,85	119,902130
		$^{122}\text{Sn}$	4,72	121,903410
		$^{124}\text{Sn}$	5,94	123,905240
<b>Uran</b>		$^{235}\text{U}$	0,72	235,03493
		$^{238}\text{U}$	99,28	238,050760



beryllium ( $^9\text{Be}$ )	fosfor ( $^{31}\text{P}$ )
fluor ( $^{19}\text{F}$ )	kobalt ( $^{59}\text{Co}$ )
sodík ( $^{23}\text{Na}$ )	jod ( $^{127}\text{I}$ )
hliník ( $^{27}\text{Al}$ )	zlato ( $^{197}\text{Au}$ )

- je známo více než 2000 nuklidů
- pouze 266 stabilních
- ostatní jsou nukleárně nestabilní - podléhají **radioaktivnímu rozpadu**



## radioaktivní prvky

- nemají stabilní nuklidy
- mohou se vyskytovat v přírodě nebo jsou připraveny uměle
- neoznačují se tak prvky, které mají pouze jeden radioaktivní izotop s malou aktivitou



## izobary

nuklidy, které mají stejné nukleonové  
a různé protonové číslo



v řadě těchto nuklidů bývá prostřední radioaktivní



## poloměr atomového jádra

$$R = r_0 A^{1/3}$$

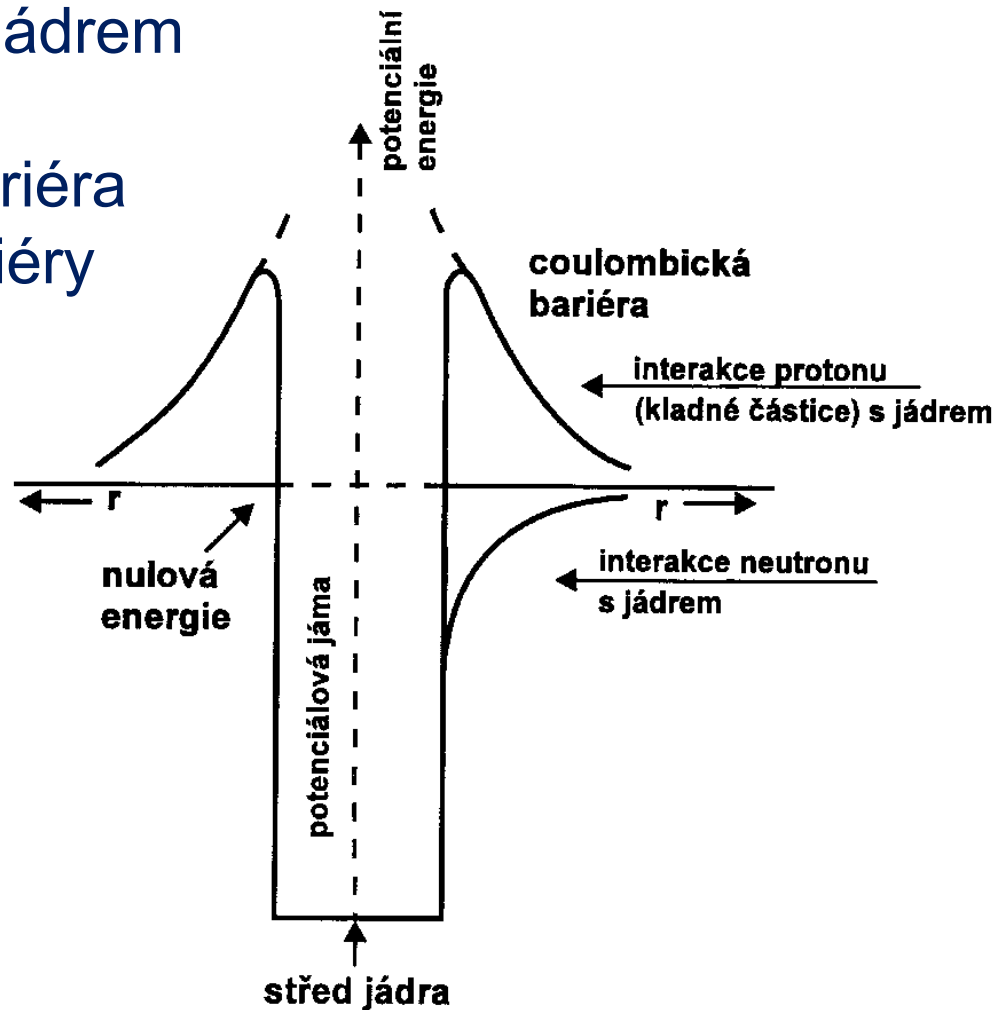
$$r_0 = (1,3 \pm 0,2) \times 10^{-15} \text{ m}$$

- R - vzdálenost od středu jádra, kde začínají převládat coulombovské síly nad jadernými silami



# Atomové jádro

- průběh interakce mezi jádrem a dalším nukleonem
- potenciálová jáma a bariéra
- výška potenciálové bariéry v MeV





**jádra mají konstantní hustotu jaderné hmoty**

**Příklad:** určete hustotu jaderné hmoty.

Předpokládáme sférický tvar jádra:  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$

Počet nukleonů v jádře:  $n = A / V$

Dosazením za  $R$  se  $A$  vykrátí - hustota tedy bude mít stejnou hodnotu pro všechny nuklidy.

Dosadíme-li do vztahu pro hustotu hmotnost  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg dostáváme hodnotu výsledné hustoty:

$$\rho = 1,8 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$$



## hmotnost atomového jádra

$$m_x = m_{ax} - Z m_e$$

Hmotnosti atomů lze určit pomocí hmotnostní spektroskopie.

Hmotnost jádra se často vyjadřuje pomocí atomové hmotnostní jednotky  $u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$





## spin

výsledný spin jádra je dán vektorovým součtem spinů nukleonů

kvantové číslo  $I = 0, 1/2, 1, 3/2, 2, \dots$

## magnetický moment

jádro budí ve svém okolí magnetické pole

## elektrické multipólové momenty

souvisí s tvarem jádra

deformovaná jádra mají nenulový elektrický moment



## vazebná energie

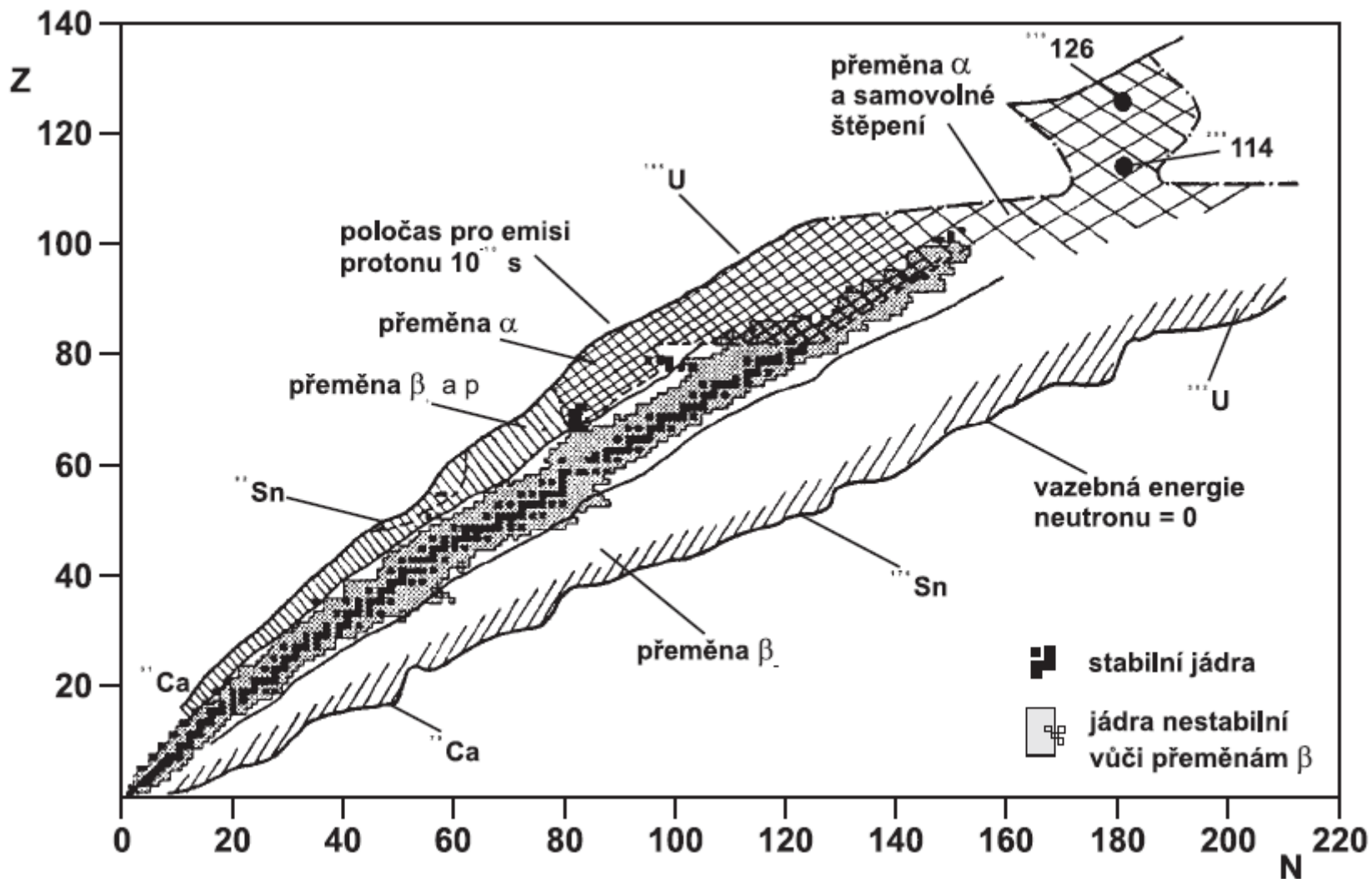
energie, která by se uvolnila při vytvoření jádra z volných nukleonů

je kladná

$$E_v(A, Z) = (Zm_p + Nm_n - m_x)c^2$$



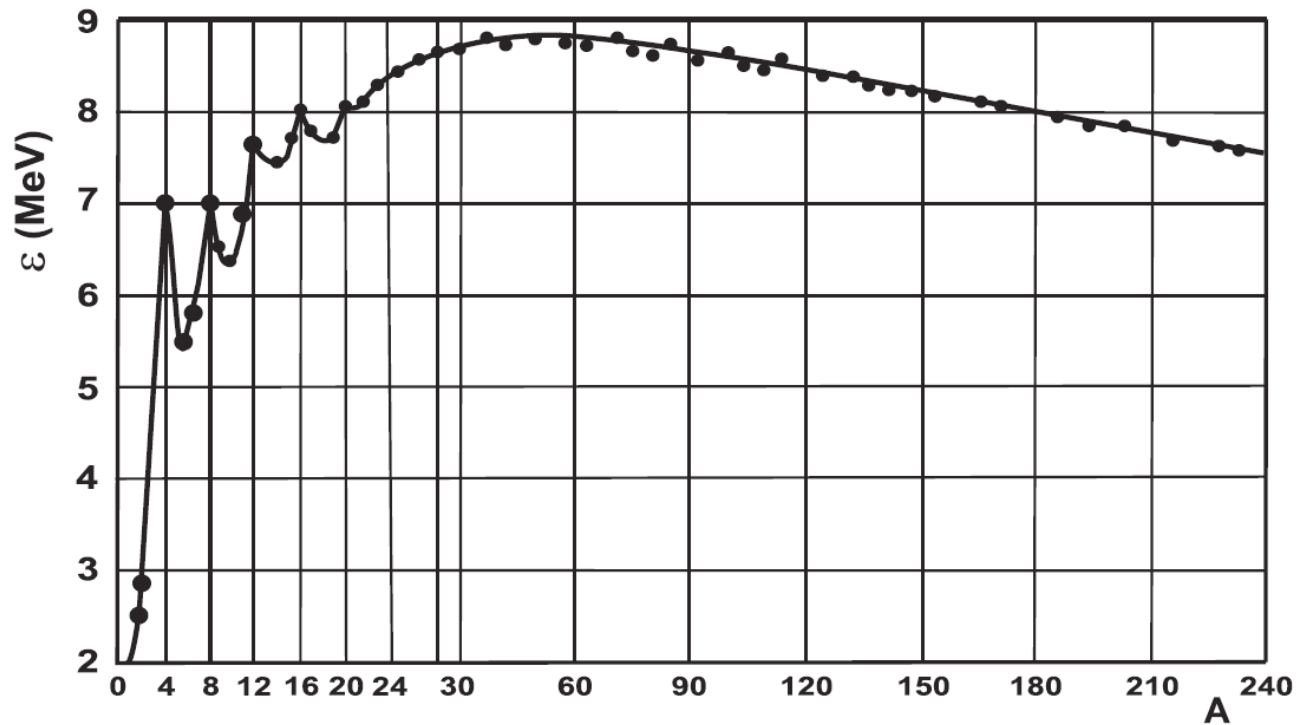
# Atomové jádro





Univerzita obrany  
v Brně

# Atomové jádro





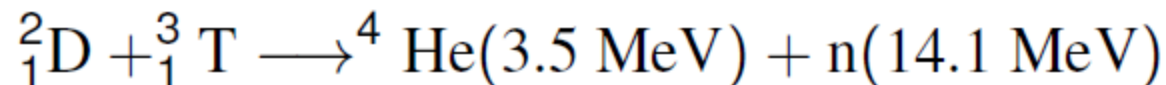
Univerzita obrany  
v Brně

# Atomové jádro

---

## možnosti získávání energie

slučování lehkých jader - termojaderná fúze



projekt ITER



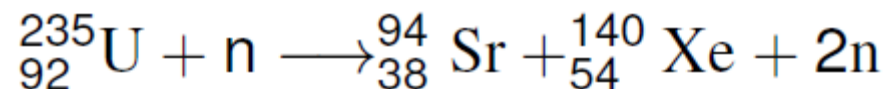
Univerzita obrany  
v Brně

# Atomové jádro

---

možnosti získávání energie

štěpení těžkých jader

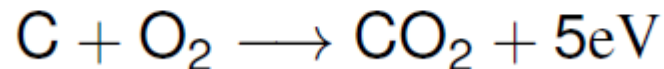
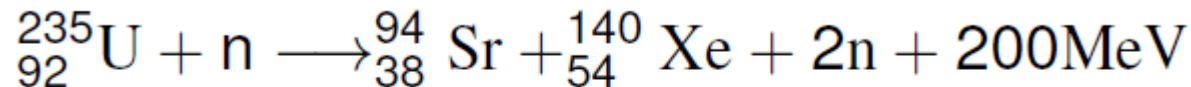


jaderné reaktory



## možnosti získávání energie

štěpení těžkých jader



kolik energie získáme při rozštěpení jednoho jádra



## jaderné síly - vlastnosti

jaderné síly jsou krátkodosahové,  
na malých vzdálenostech odpudivé, na větších přitažlivé

jaderné síly se jeví nasycené

jaderné síly jsou nábojově nezávislé

jaderné síly jsou spinově závislé



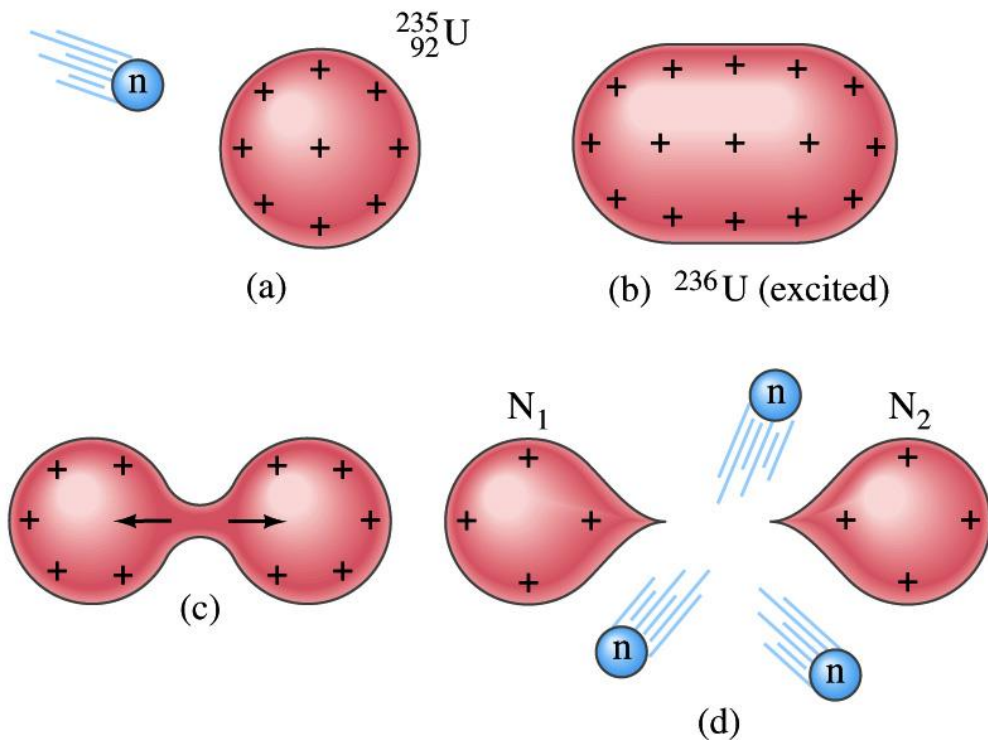


## kapkový model

<https://nielsbohr.webnode.cz/slozeny-model-jadra/>

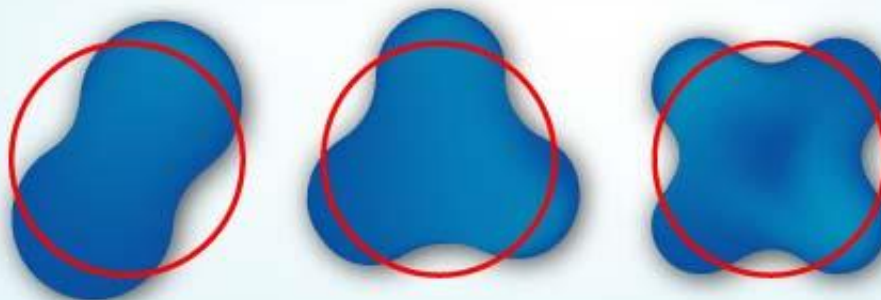
George Gamow  
(Georgij Antonovič Gamov)

Niels Bohr





*Vibrační módy jádra podle kapkového modelu*





## slupkový model (hladinový)

- energie jádra může nabývat jen diskrétních hodnot
- spin protonu i neutronu je  $\frac{1}{2}$
- platí obdoba Pauliho principu: nukleony v potenciálové jámě obsazují posupně jednotlivé kvantové stavy a vyšší stav se obsadí tehdy, až je nižší plně obsazen
- pro výpočet energie nukleonů platí obdobné vztahy jako pro elektrony (částice mají dualistický charakter)
- pro protony a neutrony existují samostatné soustavy energetických hladin



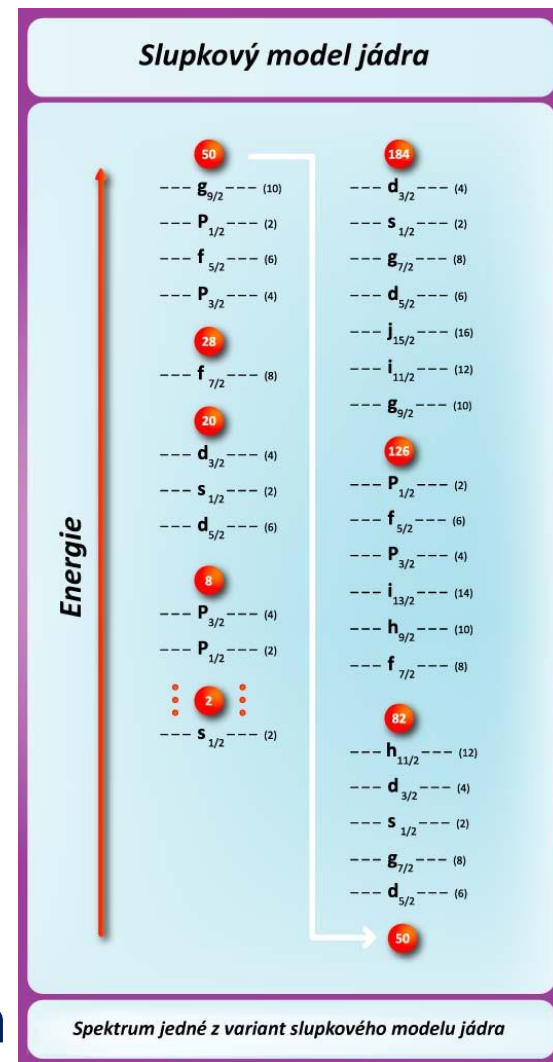
## slupkový model

velmi stabilní jádra - počet protonů, neutronů  
**magická čísla - 2, 8, 20, 28, 50 a 82**

magická čísla pro protony i neutrony  
**dvojitě magická jádra**

musí být splněna podmínka optimálního  
poměru počtů protonů a neutronů:  
 $N:Z = \text{cca } 1-1,5$

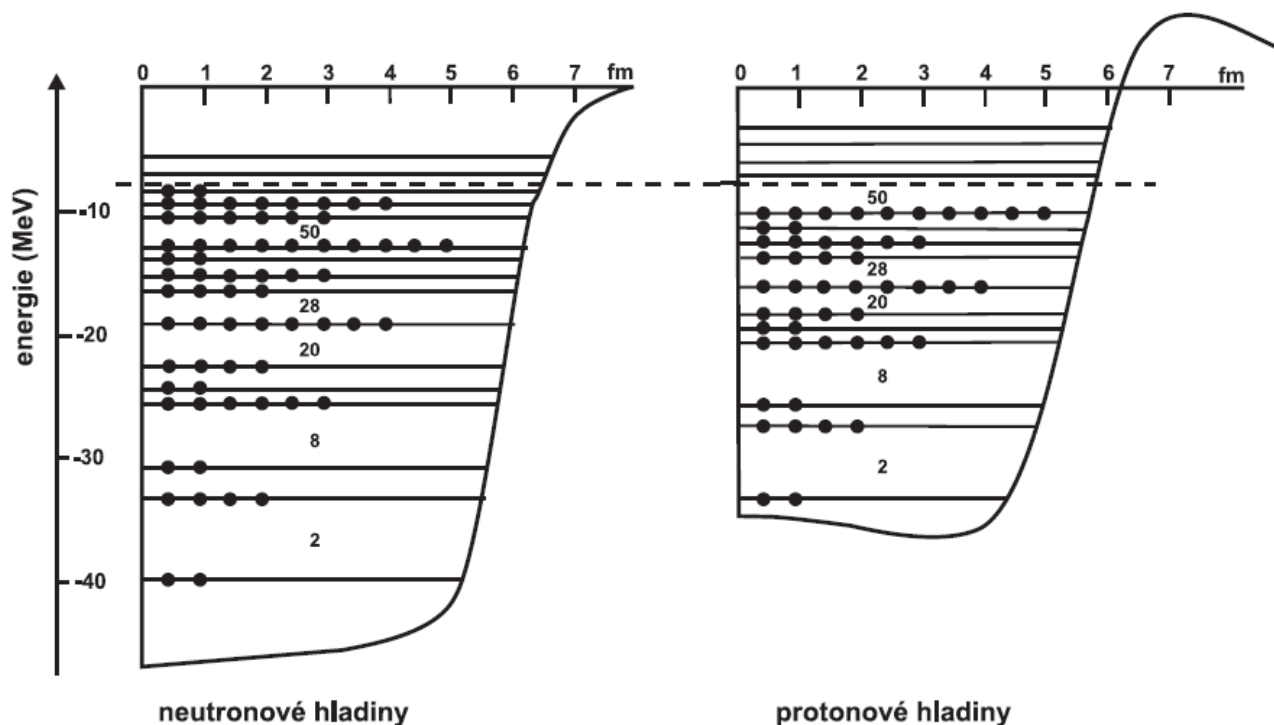
[http://artemis.osu.cz/mm fyz/jm/jm\\_2\\_3\\_5.htm](http://artemis.osu.cz/mm fyz/jm/jm_2_3_5.htm)





$^{110}_{50}\text{Sn}$  - velmi nestabilní pro relativní nedostatek neutronů

energiové hladiny v jádře  $^{116}_{50}\text{Sn}$





Na základě slupkového modelu jádra lze vysvětlit známé skutečnosti o výskytu nuklidů v přírodě.

Kombinace		Počet stabilních nuklidů
Z	N	
sudé	sudé	164
sudé	liché	55
liché	sudé	50
liché	liché	4



Také počty izotopů jednotlivých prvků se liší podle toho, jde-li o prvek sudý nebo lichý.

	$_{47}\text{Ag}$	$_{48}\text{Cd}$	$_{49}\text{In}$	$_{50}\text{Sn}$	$_{51}\text{Sb}$	$_{52}\text{Te}$	$_{53}\text{I}$
počet izotopů	2	8	1	10	2	8	1