Základné vlastnosti jadier

1-FYZ-601 Jadrová fyzika

ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI ATÓMOVÉHO JADRA

Praktické jednotky v jadrovej fyzike

Je praktické využiť pre jednotky hmotnosť MeV/c^2, energie MeV a vzdialenosti fm.

Takto máme typicky 1 eV = 1.602×10^{-19} J, 1 fm = 10^{-15} m. Podobne mame aj hodnoty pre niektoré konštanty napr.

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_O} = 1.440 MeV fm \text{ (kde } e \text{ je elementárny náboj)}$$

$$1u = 931{,}494 \frac{MeV}{c^2}$$

$$\hbar c = 197.3\ MeV \cdot fm$$

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_O \hbar c} = \frac{1}{137}$$

Objav neutrónu

- V r. 1920 E. Rutherford navrhol, že v jadre sa okrem protónov vyskytujú ďalšie neutrálne častice, aby vysvetlil vyššie hmotnosti atómov.
- V r. 1931 Walter Bothe a Hebert Becker objavilo pri reakcii α častíc z polónia s berýliom, lítiom a bórom žiarenie schopné prenikať aj nikoľkými vrstvami olova.
- O rok neskor Irene Joliot Curie a Frederic Joliot preukázali, že toto žiarenie má schopnosť vyraziť vysokoenergetické protóny z parafínu.
- James Chadwick z Cavendish Laboratory v Cambridge ukázal, že ide o prenikavú neutrálnu časticu s hmotnosťou podobnou ako má protón (Nobelova cena v r. 1935). Teraz vieme že ide o neutrón.

Základné vlastnosti neutrónu

- Neutrón: m_n = 1.00867 amu = 939.6 MeV, o 1.3 MeV viac ako m_p
  $T_{1/2}$ = 10.8 min,
- s_n = ½,
- Elektrický náboj 0
- Izospin T = ½ (vysvetlíme neskôr)
- Parita = +1
- Interakcia neutrónov predstavuje jeden z najčastejších prípadov jadrovej interakcie. Na rozdiel od nabitých častíc neutróny prenikaju voľne do jadra pretože necítia kulombovské odpudzovanie.

Z čoho sa skladá jadro atómu?

- Teraz už vieme, že jadro sa skladá zo Z protónov a N neutrónov. Drží ich pritom spolu silná interakcia.
- $m_p = 1.672 \times 10^{-27} kg = 938.3\ MeV/c^2$
- $m_n = 1.674 \times 10^{-27} kg = 939.6\ MeV/c^2$
- Celkový počet nukleónov sa zvyčajne označuje ako A=Z+N.
- Jadrá jedného chemického prvku majú rovnaký počet protónov, avšak môžu mať rôzny počet neutrónov. Tieto mávajú rôzne jadrovo-fyzikálne vlastnosti ale ich chemické vlastnosti sú prakticky rovnaké.
- Počet nukleónov zvyčajne označuje ľavý horný index ${}^{A}_{Z}X$

Základná definícia a pojmy

- Atómové jadrá s definovanýnm počtom protónov a neutrónov sa zvyknú nazývať aj *nuklidy* a tie čo podliehajú rádioaktívnej premene (rozpadu) *rádionuklidy*
- Izotopy - jadrá s rovnakým počtom protónov a rôznym počtom neutrónov (napr. ^{208}Pb, ^{207}Pb, ^{206}Pb...).
- Izotony – jadrá s rovnakým počtom neutrónov a rôznym počtom protónov (napr. ^{207}Tl, ^{208}Pb, ^{209}Bi...)
- Izobary – jadrá s rovnakým počtom nukleónov (napr. ^{13}C, ^{13}N).

HMOTNOSŤ JADRA ATÓMU

Hmotnosť atómov

- Už sme zaviedli atómovú hmotnostnú jednotku $1u = 1.6604 \times 10^{-27} = 931{,}49432\ MeV/c^2$ a je definovaná ako 1/12 hmotnosti neutrálneho atómu ^{12}C.
- Väčšina chemických prvkov má v prírode zastúpené rôzne stabilné izotopy. Napríklad izotopy zinku (Z = 30)

Hmotnostné číslo	Atómová hmotnosť (u)	Relatívne zastúpenie %
64	63.92914	**48.89**
66	66.92605	**27.81**
67	66.92715	**4.11**
68	67.92486	**18.56**
70	69.92535	**0.62**

Atómový hmotnostný úbytok

- Hmotnosť v hmotnostných jednotkách je určená ako násobok 1/12 hmotnosti ^{12}C. V hmotnosti ^{12}C je pritom už zahrnutá väzbová energia nukleónov v tomto jadre.

- Atómový hmotnostný úbytok (atomic mass excess) je definovaný ako rozdiel atómovej hmotnosti v hmotnostných jednotkách a počtu nukleónov.

$$\Delta M = (m - A) \times u$$

Pričom $u = 931.494\ \mathrm{MeV/c^2}$

Príklad: Hmotnosť ^{238}U je 238.05078826 u, teda jeho hmotnostný úbytok je 0.05078826 u čo zodpovedá 0.05078826$\times$ 931.494 = 48.308 MeV

Väzbová energia

- Celková hmotnosť jadra sa dá vyjadriť ako rozdiel hmotnosti atómu, hmotností elektrónov a ich väzbovej energie.

$$m_n\, c^2 = m_A c^2 - Z m_e c^2 + \sum_{i=1}^{Z} B_i$$

- Väzbová energia (binding energy) je definovaná ako rozdiel hmotností jadra a prislušného počtu protónov a neutrónov

$$B = \left\{ Z m_p + N m_n - \left[m\left({}^{A}X - Z m_e \right) \right] \right\}$$

resp. rozdielu atómových hmotností

$$B = \left\{ Z m\left({}^{1}H \right) + N m_n - \left[m\left({}^{A}X \right) \right] \right\}$$

VEĽKOSŤ JADRA ATÓMU

Veľkosť jadra

Hrubý odhad možno urobiť z výpočtu najtesnejšieho priblíženia alfa častice k jadru zlata. Zvoľme α časticu s energiou 7.7 MeV. Predpokladajme, že najväčšie priblíženie je v momente, keď sa energia častice vyrovná s energiou potenciálu v eletrostatickom poli. Veľkosť kulombovského poľa okolo jadra je $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_O}\frac{2e^2Z}{r}$.

Pre vzdialenosť získavame vzťah $r[fm] = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}[MeVfm]\frac{Z_aZ_X}{V_{coul}[MeV]} = 1.440\ MeVfm\frac{2\times79}{6\ MeV} = 37.9fm.$

Tento výsledok možno brať ako hornú hranicu veľkosti atómového jadra.

Experimentálne určenie

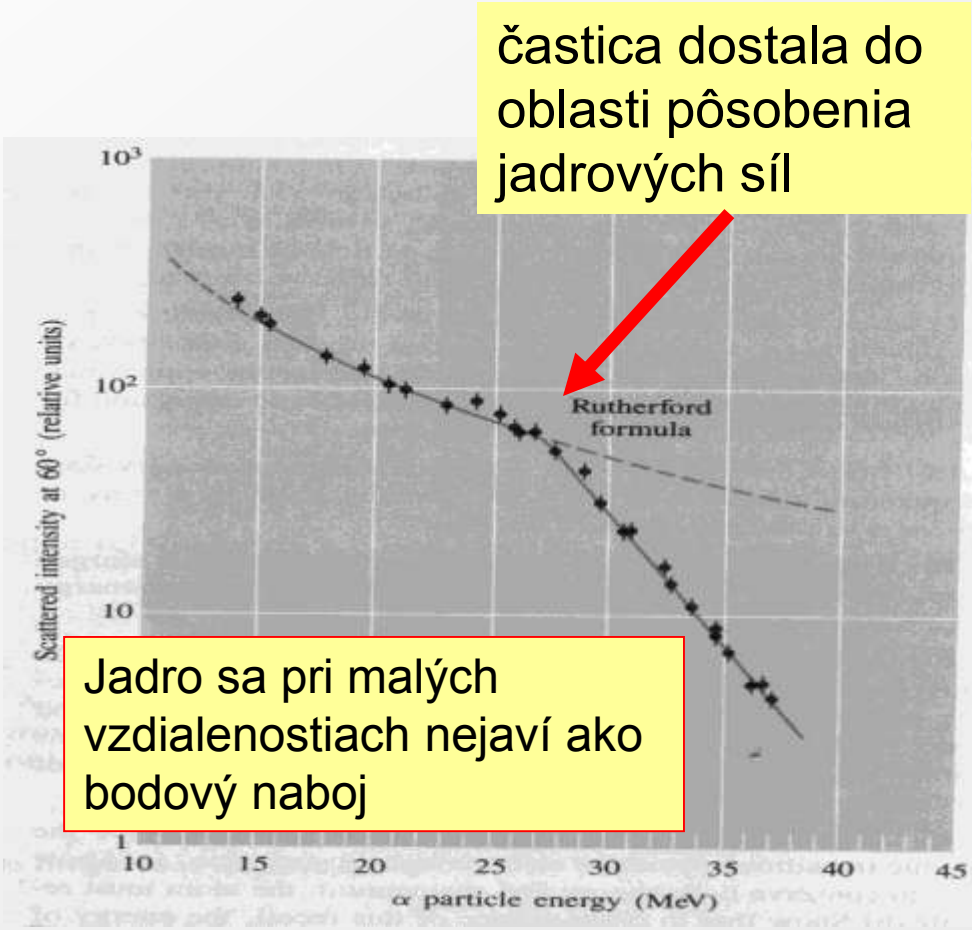
Bombardovanie jadier α časticami a sledovanie uhlov rozptylu.

Pri určitej energii sa alfa častica dostane na dosah jadrových síl a prejavý sa výchylka od rutherfordovského rozptylu.

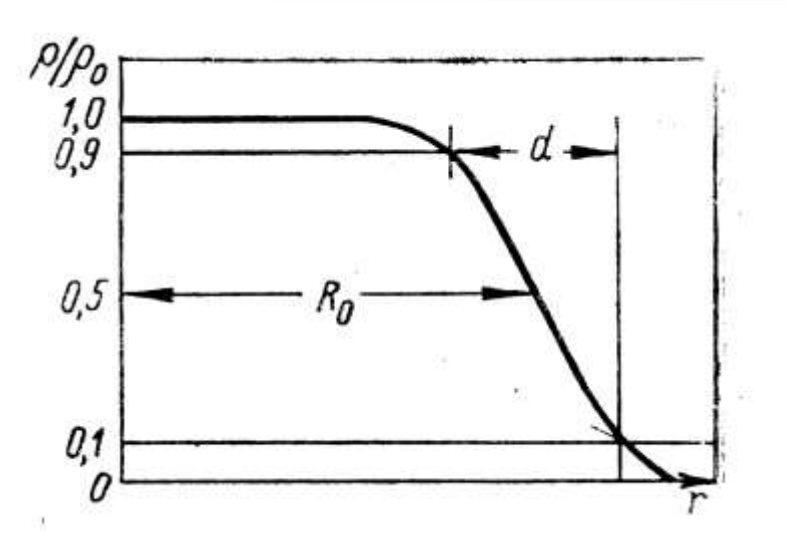
Veľkosť jadra je približne $R = R_0 A^{1/3}$.

$$R_0 = 1.2\ fm$$

.



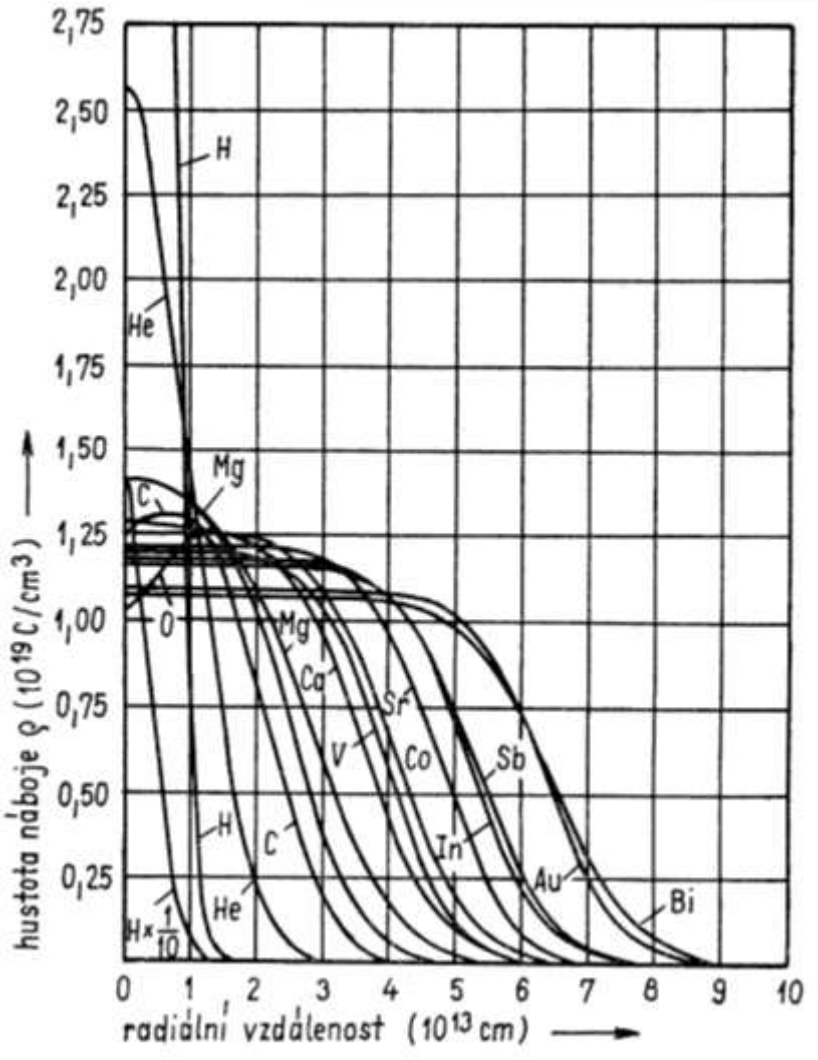
Rozloženie náboja v jadre



Rozloženie hmoty možno opísať vzťahom

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + exp\left(\frac{r - R_0}{\delta}\right)}$$

Parameter δ je cca 0.5 fm

R je približne veľkosť jadra

Prípad pre rôzne prvky