KONSTANTE I FORMULE ZA PRVI DIO KOLEGIJA
OSNOVE NUKLEARNE FIZIKE

U nuklearnoj fizici rabe se jedinice koje se ne uklapaju posve u SI sustav jedinica, a sve zbog praktičnih razloga i tradicije, kao i standardne jedinice koje se uklapaju u standardni sustav. Prikazujemo najznačajnije od njih, kao i najčešće pokrate vrlo korisne pri računanju:

Brzina svjetlosti $c = 2{,}99792458 \cdot 10^{8}\ \mathrm{ms^{-1}}$

Avogadrov broj $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{26}$ molekula po kg molu

Planckova konstanta $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js

$\hbar = 1{,}05457 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js} = 0{,}65821 \cdot 10^{-21}\ \mathrm{MeVs}$

$\hbar c = 197{,}3270$ MeVfm

Elementarni naboj $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} = 1{,}44 \text{ MeVfm}$$

Konstanta fine strukture $$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar e} = \frac{1}{137{,}036}$$

Boltzmanova konstanta $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{JK^{-1}} = 0{,}8617 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{eVK^{-1}}$

Atomska jedinica mase $u = 1{,}660538 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} = m_u$

$m_u c^2 = 931{,}494$ MeV

Elektron $m_e = 9{,}10938 \cdot 10^{-31}$ kg

$$\frac{m_e}{m_u} = \frac{1}{1823}$$

$m_e c^2 = 0{,}510998$ MeV

Proton $m_p = 1{,}672621 \cdot 10^{-27}$ kg

$$\frac{m_p}{m_u} = 1{,}00727647$$

$m_p c^2 = 938{,}272$ MeV

Vodikov atom $m_H = 1{,}6735333 \cdot 10^{-27}$ kg

$$\frac{m_H}{m_u} = 1{,}007825$$

	$m_H \cdot c^2 = 938{,}783$ MeV
Neutron	$m_n = 1{,}67492716 \cdot 10^{-27}$ kg
	$\frac{m_n}{m_u} = 1{,}008664915$
	$m_n c^2 = 939{,}565$ MeV
Faktori pretvorbe	Fermi 1 fm = 10^{-15} m
	MeV 1MeV = $1{,}602176 \cdot 10^{-13}$ J
	$\frac{1MeV}{c^2} = 1{,}783 \cdot 10^{-30}$ kg
Udarni presjek (barn)	1b = 10^{-28} m^2
Klasični radijus elektrona	$r_0 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_e c^2} = 2{,}818 \cdot 10^{-15} m$
Godina	1god = $3{,}1536 \cdot 10^7$ s

DODATNE FORMULE

Nuklearna struktura

Radius jezgre: $R = 1,2 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-15}\,[\mathrm{m}]$

Energija vezanja jezgre u atomskim masenim jedinicama (u):

$$E_B = Z_{m_H} + (A-Z)m_n - M \ ,$$

gdje je Z redni broj, A je maseni broj a M_H, m_n i M su redom masa H atoma, masa neutrona i masa atoma. Postoji i povoljnija forma za energiju vezanja jezgre:

$$E_B = Z \cdot \Delta_H + (A-Z)_{\Delta_n} - \Delta ,$$

gdje su Δ_H, Δ_n i Δ dekrementi mase [$\Delta = (M - A)$] za H atom, neutron i odgovarajući atom, sve u atomskim jedinicama mase (u). Delte (Δ) su u tablicama ili moraju biti zadane.

Semiempirijska forula za energiju vezanja jezgre ${}_Z^AX$:

$$E_B(\mathrm{MeV}) = 14.1A - 13A^{2/3} - 0.58\frac{Z^2}{A^{1/3}} - 19.3\frac{(A-2Z)^2}{A} + 33.5\frac{\delta}{A^{3/4}} .$$

- $\delta = +1$ (A i Z su parni)
- $\delta = 0$ (A neparan, Z bilo koji)
- $\delta = -1$ (A paran, Z neparan)

Udarni presjek

a) Totalni: $\sigma_{TOT} = \dfrac{\Delta N}{N \cdot n}$,
   to je vjerojatnost raspršenja po jednom centru raspršenja sveden na jedinični upadni tok u jedinici vremena, gdje su

   - N = intenzitet upadnih čestica
   - ΔN = intenzitet raspršenih čestica
   - n = broj centara raspršenja po jediničnoj površini mete

Ako se meta sastoji od izotopa masenog broja *M* (u atomskim jedinicama mase), što je približno jednako broju nukleona *A*, vrijedi:

$$n = \rho \frac{N_A}{M} \Delta x \, ,$$

gdje su:

ρ - gustoća materijala mete
N_A - Avogadrov broj
Δx - debljina mete

b) Diferencijalni: $\dfrac{d\sigma}{d\Omega} = \dfrac{\Delta N}{N \cdot n \cdot \Delta\Omega}$,
to je vjerojatnost raspršenja u neki smjer (ϑ, φ) po jednom centru raspršenja sveden na jedinični upadni tok i jedinični prostorni kut, gdje $\Delta\Omega$ predstavlja prostorni kut raspršenja.

Približno vrijedi relacija $\Delta\Omega \simeq \dfrac{\Delta S}{r^2}$, gdje su:

ΔS - površina detektora koji registrira raspršeni tok čestica,
r - udaljenost spomenute površine od mete raspršenja.

Zakon radioaktivnog raspada

$N(t)$ - broj aktivnih jezgara u promatranom uzorku
$A(t)$ - aktivnost (broj raspada u jednoj sekundi)

1Bq = 1/s
1Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$$

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N(t)$$

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Radioaktivni niz

Roditelj je (N_1, A_1, λ_1) a potomak je (N_2, A_2, λ_2).
Ako je ispunjeno $N_2(0)=0$, tada vrijedi veza:

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1 N_1(0)}{\lambda_2 - \lambda_1}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

- Jednadžbe Batemana za proizvoljno dugački radioaktivni niz:

$$\mathrm{X}_1 \xrightarrow{\lambda_1} \mathrm{X}_2 \xrightarrow{\lambda_2} \mathrm{X}_3 \xrightarrow{\lambda_3} \cdots \xrightarrow{\lambda_{j-1}} \mathrm{X}_\mathrm{j} \xrightarrow{\lambda_j} \cdots \xrightarrow{\lambda_{n-1}} \mathrm{X}_\mathrm{n}\ \text{(stabilan)}$$

$$N_j(t=0) = \begin{cases} N_{10}, \ j=1 \\ 0, 2 \le j \le n \end{cases}$$

$$A_j(t) = N_{10} \sum_{i=1}^{j} C_i e^{-\lambda_i t} = N_{10}(C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \cdots + C_j e^{-\lambda_j t})$$

$$C_m = \frac{\prod_{i=1}^{j} \lambda_i}{\prod_{i=1}^{j} (\lambda_i - \lambda_m)} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \cdots \lambda_j}{(\lambda_1 - \lambda_m)(\lambda_2 - \lambda_m)\cdots(\lambda_j - \lambda_m)}$$

Radioaktivni niz sa tri izotopa sa jednim članom koji opisuje proizvodnju. Izotop X_3 je stabilan.

$$\begin{array}{l} P_1(t) \\ \downarrow \\ X_1 \xrightarrow{\lambda_1} X_2 \xrightarrow{\lambda_2} X_3 \end{array}$$

Ovaj problem uključuje i proizvodnju i gubitak, čije je opće rješenje:

$$N_1(t) = N_{10} e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_1 t} \int_0^t P_1(t') e^{\lambda_1 t} dt'$$

$$N_2(t) = N_{20} e^{-\lambda_2 t} + e^{-\lambda_2 t} \int_0^t \lambda_1 N_1(t') e^{\lambda_2 t} dt'$$

$$N_3(t) = N_{30} + \int_0^t \lambda_2 N_2(t') dt'$$

Za rješenje sistema je potrebno znati funkciju $P_1(t)$ i početne uvjete N_{10}, N_{20} i N_{30}.

Za step funkciju $P_1(t) = \begin{cases} 0, t < 0 \\ P_0, t \geq 0 \end{cases}$, uz početne uvjete $N_{10} = N_{20} = N_{30} = 0$ dobivamo:

$$N_1(t) = \frac{P_0}{\lambda_1}(1 - e^{-\lambda_1 t}),$$

$$A_1(t) = P_0(1 - e^{-\lambda_1 t}).$$

Vidimo da se aktivnost asimptotski približava konstantom iznosu P_0.