

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	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Avogadrov broj	$N_A = 6,022 \cdot 10^{26} \text{ molekula po kg molu}$
Planckova konstanta	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ $\hbar = 1,05457 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 0,65821 \cdot 10^{-21} \text{ MeVs}$ $\hbar c = 197,3270 \text{ MeVfm}$
Elementarni naboj	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} = 1,44 \text{ MeVfm}$
Konstanta fine strukture	$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} = \frac{1}{137,036}$
Boltzmanova konstanta	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1} = 0,8617 \cdot 10^{-4} \text{ eVK}^{-1}$
Atomska jedinica mase	$u = 1,660538 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = m_u$ $m_u c^2 = 931,494 \text{ MeV}$
Elektron	$m_e = 9,10938 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ $\frac{m_e}{m_u} = \frac{1}{1823}$ $m_e c^2 = 0,510998 \text{ MeV}$
Proton	$m_p = 1,672621 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $\frac{m_p}{m_u} = 1,00727647$ $m_p c^2 = 938,272 \text{ MeV}$
Vodikov atom	$m_H = 1,6735333 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $\frac{m_H}{m_u} = 1,007825$

	$m_H \cdot c^2 = 938,783 \text{ MeV}$
Neutron	$m_n = 1,67492716 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
	$\frac{m_n}{m_u} = 1,008664915$
	$m_n c^2 = 939,565 \text{ MeV}$
Faktori pretvorbe	Fermi $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$
	MeV $1 \text{ MeV} = 1,602176 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
	$\frac{1 \text{ MeV}}{c^2} = 1,783 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$
Udarni presjek (barn)	$1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$
Klasični radijus elektrona	$r_0 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2} = 2,818 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Godina	$1 \text{ god} = 3,1536 \cdot 10^7 \text{ s}$

DODATNE FORMULE

Nuklearna struktura

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

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 ${}_Z^AX$:

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

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

Udarni presjek

a) Totalni: $\sigma_{TOT} = \frac{\Delta N}{N \cdot n},$

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:
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\Delta N}{N \cdot n \cdot \Delta\Omega},$$

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 $\Delta\Omega \approx \frac{\Delta S}{r^2}$, 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)

$$1\text{Bq} = 1/\text{s}$$

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

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

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

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

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

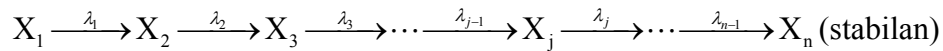
Radioaktivni niz

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:

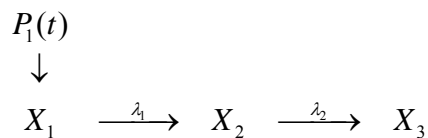


$$N_j(t=0) = \begin{cases} N_{10}, j=1 \\ 0, 2 \leq j \leq n \end{cases}$$

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

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

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



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 .