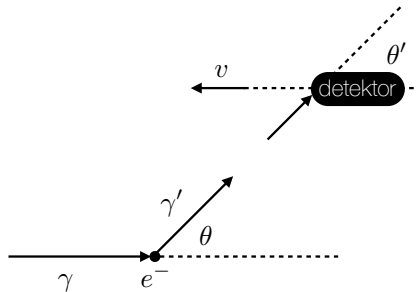


# 1.a izpit iz Moderne fizike 1

6. december 2018

*čas reševanja 90 minut*

1. Vesoljska ladja na poti mimo Zemlje proti Marsu potuje s hitrostjo  $v = 0,5 c$  in ob preletu sinhronizira uro z Zemljo. Na pol poti do Marsa, ki je oddaljen 250 milijonov kilometrov, pošlje na Zemljo podatek o trenutnem času svoje ure. Kdaj bo signal dosegel Zemljo in katero vrednost bodo odčitali? Kolikšen čas bo takrat kazala ura na ladji?
2. Elektron v neskončni potencialni jami širine  $0,4 \text{ nm}$  ob času  $t = 0$  opisuje valovna funkcija  $\psi \propto \psi_1 + 2i\psi_2$ , ki je linearna kombinacija osnovnega in prvega vzbujenega stanja. Normiraj valovno funkcijo  $\psi$  in izračunaj povprečno vrednost energije ter povprečno vrednost koordinate delca  $\langle x(t) \rangle$  ob času  $t = 0$  ter ob času  $t = \pi\hbar/(2E_2 - 2E_1)$ , kjer sta  $E_1$  ter  $E_2$  energiji osnovnega in prvega vzbujenega stanja. Namig:  $\int_0^\pi x \sin(nx)^2 dx = \pi^2/4$ ,  $\int_0^\pi x \sin(nx) \sin(mx) dx = 2(-1 + (-1)^{m+n})mn(m^2 - n^2)^{-2}$ .



3. Fotoni z energijo  $2 \text{ eV}$  se comptonsko sipajo na mirujočih elektronih. Sipane fotone zaznavamo s fotoefektom v detektorju, ki se giblje v smeri vpadnega fotonskega curka (glej sliko). V sistemu detektorja jih zaznavamo pod kotom  $\theta' = 45^\circ$ . Izračunaj izstopno delo detektorske snovi ob podatku, da prve izbite elektrone opazimo, ko ima detektor hitrost  $0,6 c$ .
4. Elektron se nahaja v homogenem električnem polju, katerega jakost spreminjamo tako, da se povečuje linearno z lastnim časom  $\tau$  elektrona  $E = E_0\tau/\tau_c$ , kjer je  $\tau_c = 1 \mu\text{s}$  ter  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$ . Kolikšna je hitrost delca ob lastnem času  $\tau_c$ , če je elektron na začetku (ob času  $\tau = 0$ ) miroval? Kolikšen pa je laboratorijski čas pri tej hitrosti? Računaj relativistično in privzemi  $B = 0$ .

# 1.b izpit iz Moderne fizike 1

28. december 2018

*čas reševanja 90 minut*

1. Curek elektronov z energijo  $E = 4 \text{ eV}$  prehaja iz območja s potencialom  $V = 0$  v območje s potencialom  $V = -12 \text{ eV}$ . Kolikšna je prepustnost potencialne stopnice?
2. Izračunaj  $\langle r^i \rangle$ , kjer je  $i$  celo število, ter produkt nedoločenosti  $\delta p \delta r$  za atom vodika v stanju  $n = 3$ ,  $l = 2$  in  $m_l = 0$ . Namig: uporabi virialni teorem ter upoštevaj, da je valovna funkcija

$$\psi_{320} = \frac{1}{81\sqrt{6\pi}r_B^{3/2}} \left(\frac{r}{r_B}\right)^2 (3\cos^2\theta - 1) e^{-r/(3r_B)}, \quad r_B = \frac{\hbar c}{\alpha m_e c^2}.$$

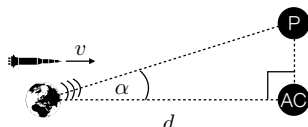
3. V rotacijskem spektru molekul  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$  opazimo tri črte. Intenziteti prve in zadnje črte z  $l = 0$  in  $l = 2$  sta enaki ter za polovico manjši od sredinske z  $l = 1$ . Določi ravnovesno razdaljo  $r_0$  med atomoma molekule, če je rotacijski prispevek k povprečni energiji  $39 \mu\text{eV}$ . Za masi Na in Cl vzemi  $m_{\text{Na}} = 23 m_p$  in  $m_{\text{Cl}} = 35 m_p$ . Privzemi, da je intenziteta črte  $l$  sorazmerna z verjetnostjo, da je molekula v stanju  $l$ .
4. Določi velikost popravka  $ls$  sklopitve k energiji iona helija  $\text{He}^+$  v stanju  $n = 3$  in  $l = 2$  in poljubnim  $m_l$ . Upoštevaj da je  $\langle \frac{1}{r^3} \rangle$  neodvisen od  $m_l$ . Skiciraj razcep energijskih nivojev za  $B = 0$  in določi število stanj (degeneracijo) v posameznih vejah. Skiciraj še do katere mere se stanja razcepijo v šibkem  $B$ .

## 2. izpit iz Moderne fizike 1

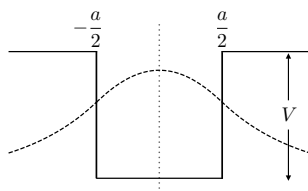
12. junij 2019

*čas reševanja 90 minut*

1. Atom vodika ob času  $t = 0$  je v stanju  $\psi(0) = \mathcal{N}(\psi_{1,0,0} + \psi_{2,1,0} + i\psi_{2,1,1})$ , kjer je  $\mathcal{N}$  normalizacijska konstanta. Zapiši časovni razvoj valovne funkcije  $\psi(t)$  in določi povprečno vrednost energije, operatorja kvadrata vrtilne količine ter projekcije vrtilne količine na  $z$  os atoma vodika v stanju  $\psi(t)$ .



2. Raketa, ki leti mimo Zemlje proti Alpha Centauri ( $d = 4$  svetlobna leta) s hitrostjo  $v = 0,6 c$ , prestreže signal, ki ga z Zemlje pošiljajo z valovno dolžino 10 m in pod kotom  $\alpha = 10^\circ$  proti oddaljenemu planetu  $P$ . Kolikšno frekvenco izmerijo na ladji? Na planetu  $P$  signal odbijejo proti AC, kamor prispe pod pravim kotom. Koliko časa preteče med prejetjem signala in prihodom rakete do AC; kdo pride prej? Kolikšna je sedaj izmerjena frekvenca na ladji in na AC?
3. Elektron je v kocki z robom  $a = 0,1$  nm. Potencial znotraj kocke je  $V = 0$ , zunaj kocke pa  $V = \infty$ . Določi in skiciraj prvih pet energijskih nivojev in označi degeneracijo. Z računom pokaži, v katera izmed možnih stanj lahko z izsevanjem fotona pri dipolnem prehodu preide elektron, ki ga pripravimo v stanju  $n_x = 3$ ,  $n_y = 2$ ,  $n_z = 1$  ter določi frekvenco fotona. Določi, kateri izmed možnih prehodov se zgodi z največjo verjetnostjo in določi njegov razpadni čas.



4. V končni potencialni jami pripravimo vezano stanje z energijo  $E = (\hbar k)^2/(2m) = \hbar^2 \pi^2/(8ma^2)$ , kjer je  $m$  masa delca in  $a$  je širina jame. Določi globino  $V$  ter verjetnost, da delec najdemo izven jame. Namig: upoštevaj simetrijo problema, oz. valovne funkcije, kot je nakazano na skici.

### 3. izpit iz Moderne fizike 1

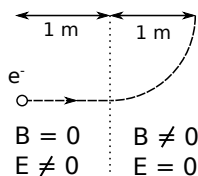
23. avgust 2019

*čas reševanja 90 minut*

1. Mione z  $mc^2 = 0.1$  GeV pospešimo z napetostjo 0.2 GV. Kolikšen je razpadni čas, če je mirovni  $\tau_\mu = 2 \mu s$ ? Kolikšen pa je po čelnem trku s fotoni z energijo 100 GeV?
2. Izračunaj razpadni čas za prehod atoma vodika iz stanja  $\psi_{211}$  v osnovno stanje  $\psi_{100}$ . Kateri dipolni matrični elementi prispevajo in kolikšna je energija izsevanega fotona?

$$\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi r_B^3}} e^{-r/r_B}, \quad \psi_{211} = -\frac{1}{8\sqrt{\pi r_B^3}} \left(\frac{r}{r_B}\right) e^{-r/(2r_B)} \sin \theta e^{i\phi}.$$

3. Elektron iz mirovanja pospešimo v homogenem električnem polju dolžine 1 m. Nato preide v območje magnetnega polja z jakostjo 0,1 T, pravokotno na smer gibanja elektrona, tako da elektron zaokroži. Določi jakost električnega polja  $E$ , če je polmer krožnice 1 m. Koliko časa potrebuje elektron, da doseže območje magnetnega polja?



4. Stanje elektrona v harmonskem potencialu ob  $t = 0$  je podano z

$$\psi(x, t = 0) = A(\psi_0 + i\psi_2),$$

kjer so  $\psi_n$  lastna stanja in  $A$  normalizacijska konstanta. Kolikšna je polna energija ob poljubnem času in kolikšna je najmanjša vrednost nedoločenosti  $\delta x$  ter največja vrednost nedoločenosti  $\delta p$ , če je  $\omega = 10$  THz? *Namig:* za  $\psi_n$  velja

$$x\psi_n = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} \left( \sqrt{n+1}\psi_{n+1} + \sqrt{n}\psi_{n-1} \right).$$