

1. kolokvij iz Moderne fizike 1

5. december 2014

čas reševanja 90 minut

1. Veliki hadronski trkalnik LHC trka simetrična curka protonov pri težiščni energiji 14 TeV v tunelu z obsegom 27 km. Potencialni naslednik LHC-ja bi lahko bil trkalnik mionov. Recimo, da recikliramo obstoječi tunel skupaj z magneti. Koliko obhodov miona bi pričakovali preden razpade?
2. Elektron, ki se nahaja v neskončno globoki potencialni jami širine $a = 1$ nm ($V(x) = 0$ za $0 < x < a$), v nekem trenutku opiše valovna funkcija

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{30}{a^5}} x(x-a).$$

Kolikšna je pričakovana vrednost energije elektrona? Kolikšni sta verjetnosti, da ga najdemo v prvem oziroma v drugem vzbujenem stanju?

3. Lansko leto so v observatoriju IceCube opazili visokoenergijski antinevtrino $\bar{\nu}_e$ z energijo 10^{15} eV. Kakšna bi morala biti masa delca X , ki ga antinevtrino še lahko ustvari pri sipanju na mirujočem elektronu v ledu:

$$\bar{\nu}_e e^- \rightarrow X \rightarrow \bar{\nu}_e e^-?$$

Koliko energije izgubi $\bar{\nu}_e$, če se odkloni za 1° od vpadne smeri? Kolikšno energijo ima v tem primeru izbiti elektron in kolikšen Čerenkov kot ($\cos \theta_c = 1/n\beta_e$) pričakujemo?

4. Proton je sestavljen iz dveh u-kvarkov in enega anti-d kvarka. Fenomenološki potencial med njimi opišemo z

$$V = k \sum_{i>j} r_{ij},$$

kjer je $k \simeq 0.09 \frac{\text{GeV}^2}{\hbar c}$ in r_{ij} razdalja med posameznima kvarkoma. Kolikšna je najmanjša masa protona v skladu z načelom nedoločenosti?

Za mase osnovnih delcev vzemi: $m_e c^2 = 0.51 \text{ MeV}$, $m_\mu c^2 = 106 \text{ MeV}$, $m_p c^2 = 938 \text{ MeV}$, $m_u = m_{\bar{d}} = 340 \text{ MeV}/c^2$. Razpadni čas miona v mirovanju je $\tau_\mu = 2.2 \mu\text{s}$. Lomni koeficient za led je $n = 1.31$.

2. kolokvij iz Moderne fizike 1

2. februar 2015

čas reševanja 90 minut

1. Curek elektronov sipamo na potencialni plasti, kjer je produkt višine in širine plasti $V_0 a = 1.5 \text{ eV nm}$. Kolikšna je energija vpadnih elektronov, če se polovica elektronov odbije? Upoštevaj, da je $V_0 - E_e \ll \hbar^2/(m_e a^2)$.
2. Kolikšna je verjetnost, da elektron v stanju

$$\psi_{210} = \frac{1}{\sqrt{32\pi r_B^3}} \frac{r}{r_B} e^{-\frac{r}{2r_B}} \cos \theta$$

atoma vodika najdemo v tako imenovanem "prepovedanem območju" v klasični sliki, to je na razdalji, kjer je $U(r) > E$; $U(r)$ predstavlja potencialno energijo, E pa polno energijo atoma.

Namig: Upoštevaj $\int x^n e^{-x} dx = -e^{-x} \sum_{j=0}^n \frac{n!}{j!} x^j$.

3. V emisijskem spektru vodika, ki prehaja iz neznanega vzbujenega stanja v osnovno stanje, izmerimo 6 spektralnih črt. Določi razlike med sosednjimi črtami v spektru v šibkem zunanjem magnetnem polju $B = 0.1 \text{ T}$.
4. Med atomoma helija deluje van der Waalsova interakcija, ki jo približno opišemo s potencialom $U(r) = \frac{A}{r^{12}} - \frac{B}{r^6}$. Minimum potenciala $U_0 = -0.79 \text{ meV}$ je pri ravnovesni razdalji $r_0 = 0.30 \text{ nm}$. Ali je takšna molekula He_2 stabilna?

Namig: Razvij potencial okrog minimuma do harmonskega člena.

1. popravni kolokvij iz Moderne fizike 1

9. februar 2015

čas reševanja 90 minut

1. Fotonu, ki se pri Comptonovem sipanju odkloni za 30° od začetne smeri, izmerimo energijo 1.2 MeV. Pod kolikšnim kotom glede na začetno smer fotona odleti elektron in kolikšna je njegova hitrost?
2. Kozmični žarki ob naletu na atmosfero ustvarijo pione z maso $m_\pi = 140$ MeV. Lastni razpadni čas piona v mirovanju je $\tau_\pi \sim \tau_\mu/100 = 0.02 \mu s$. Kolikšna je energija pionov, če ob pravokotnem naletu v povprečju dosežejo površje Zemlje? Predpostavi, da se pioni ustvarijo na robu atmosfere (11 km) in se potem več ne sipajo. Kakšno razmerje med mioni in pioni bi izmerili na tleh, če se na robu atmosfere hkrati s pioni ustvari tudi enako število mionov z enako energijo in maso $m_\mu = 105$ MeV?
3. Stanje delca opiše valovna funkcija

$$\psi(x) = Ax^2 e^{-|x|/2},$$

kjer je A konstanta. Kolikšen je produkt nedoločenosti lege in gibalne količine delca v tem stanju?

4. Stanje delca v harmonskem potencialu je ob nekem trenutku podano z valovno funkcijo

$$\psi(x, t = 0) = A \left(\frac{x^2}{b^2} + i \frac{x}{b} + 1 \right) e^{-x^2/2b^2},$$

kjer je A normalizacijska konstanta in je $b = \sqrt{\hbar/m\omega}$ ($m = 1.66 \cdot 10^{-27}$ kg, $\omega = 50$ THz). Kolikšna je pričakovana vrednost lege delca ob času $t' = 20$ fs?

Namig: Lastne funkcije harmonskega oscilatorja so

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{1}{2^n n! \sqrt{\pi} b}} e^{-x^2/2b^2} H_n \left(\frac{x}{b} \right)$$

in med njimi velja zveza $\sqrt{2} \left(\frac{x}{b} \right) \psi_n = \sqrt{n+1} \psi_{n+1} + \sqrt{n} \psi_{n-1}$. Hermitovi polinomi so podani z

$$H_n(\xi) = (-1)^n e^{\xi^2} \frac{d^n}{d\xi^n} e^{-\xi^2}.$$

2. popravni kolokvij iz Moderne fizike 1

7. september 2015

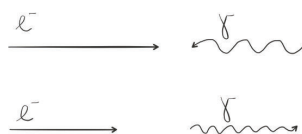
čas reševanja 90 minut

1. Higgsov bozon (h) razpade v dva fotona. Kolikšen je kot med fotonoma v lastnem sistemu h ? Kolikšen medsebojni kot izmerimo v laboratorijskem sistemu, ki se giblje z 90% svetlobne hitrosti pod kotom $\alpha = 90^\circ$ glede na zveznico fotonov v težiščnem sistemu? Kaj pa pri $\alpha = 30^\circ$?
2. Atom se nahaja v 4F_J stanju. Izračunaj premike energijskih nivojev zaradi interakcije LS, če je

$$\Delta W_{LS} = \lambda \langle \vec{L} \cdot \vec{S} \rangle$$

in je $\lambda = 0.1 \text{ meV}$!

3. Elektroni v galaktičnih skupkih tvorijo plin s temperaturo $T_e \simeq 10^7 \text{ K}$ in kinetično energijo $3/2 k T_e$ ($k = 8.6 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$). Ali so takšni elektroni relativistični? Za koliko se poveča energija hladnega kozmičnega fotona ($E_\gamma \ll k T_e$) pri t.i. efektu Sunyaev–Zel’dovich, ko medgalaktični elektron trči s kozmičnim fotonom? Predpostavi čelni trk kot na skici!



4. Elektrostatsko kristalno polje s kubično simetrijo, $V_c = a(x^4 + y^4 + z^4 - \frac{3}{5}r^4)$, delno odpravi petkratno degeneracijo elektronskih stanj atoma $\psi_{n=3,l=2,m} = R_{3,2}(r)Y_{2,m}(\theta, \varphi)$ in vodi do orbitalnega dubleta in tripleta. Predstavnik prvega je lastno stanje

$$\psi_{x^2-y^2} = R_{3,2}(r) \cdot \sqrt{\frac{15}{16\pi}} \frac{x^2 - y^2}{r^2},$$

drugega pa

$$\psi_{xy} = R_{3,2}(r) \cdot \sqrt{\frac{15}{4\pi}} \frac{xy}{r^2}.$$

Izračunaj energijski razcep med tema stanjema, če je $a \cdot \langle r^4 \rangle = 13 \text{ meV}$!

Namig: Problem rešuj v sferičnih koordinatah in upoštevaj, da za $f(x) = \cos x$ in $f(x) = \sin x$ velja $\int_0^{\pi, 2\pi} [f(x)]^n dx = \frac{n-1}{n} \int_0^{\pi, 2\pi} [f(x)]^{n-2} dx$!