

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Poreč, 10.–13. travnja 2019.

Srednje škole - 4. skupina

1. Higgsov bozon h je neutralna čestica mase $m_h c^2 = 125 \text{ GeV}$ koja se u akceleratorima čestica može stvoriti na razne načine, između ostalog i u sudaru dva kvarka. U ovom ćemo zadatku promotriti produkciju Higgsovog bozona uslijed sudara b kvarka sa svojom antičesticom, \bar{b} anti-kvarkom,

$$b\bar{b} \rightarrow h.$$

Postoji nekoliko načina kako sudariti kvarkove:

- kvarkove možemo ubrzati do iste brzine v_1 te ih zatim čeonno sudariti ili
- možemo jedan kvark (npr. b) ubrzati do brzine v_2 te ga sudariti s drugim mirujućim kvarkom (\bar{b}).

Odredite kolike moraju biti brzine v_1 i v_2 da bi došlo do produkcije Higgsovog bozona prilikom sudara u oba slučaja. Izračunajte koliko uložene energije zahtijeva svaki od mehanizama pod pretpostavkom da prije sudara oba kvarka miruju. Prilikom izračuna zanemarite (elektromagnetske itd.) interakcije među kvarkovima prije sudara. Masa b kvarka iznosi $m_b c^2 = 4.5 \text{ GeV}$.

[18 BODOVA]

2. Kvantni sustavi koji se nalaze u pobuđenom stanju nisu stabilni već imaju karakteristično vrijeme života τ . Poznate Heisenbergove relacije tada uvjetuju neodređenost u energiji ΔE pripadnog stanja tako da vrijedi

$$\tau \Delta E = \frac{h}{4\pi}.$$

Drugim riječima, ne možemo točno odrediti energiju pobuđenog stanja, jedino što znamo da ona po prima vrijednosti iz intervala $E \in [\bar{E} - \Delta E/2, \bar{E} + \Delta E/2]$, oko neke srednje vrijednosti \bar{E} . Srednju vrijednost energije računamo tako da zanemarujemo nestabilnost pobuđenih stanja. Na primjer, srednje energije stanja vodikovog atoma su dane dobro poznatom jednadžbom

$$\bar{E}_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2},$$

s tim da energija osnovnog stanja nema neodređenost $E_1 = \bar{E}_1 = -13.6 \text{ eV}$. Preciznim mjerenjima spektralnih linija moguće je odrediti neodređenosti u energiji pobuđenih stanja, pa i izračunati njihovo vrijeme života.

U jednom se eksperimentu mjerio spektar plinovitog vodika čiji su atomi bili u pobuđenim stanjima s kvantnim brojevima $n = 2$ i $n = 3$. Dobivene su tri široke spektralne linije sa sljedećim vrijednostima valnih duljina

$$\lambda_1 \in [102.65 \text{ nm}, 102.82 \text{ nm}], \quad \lambda_2 \in [121.75 \text{ nm}, 121.77 \text{ nm}], \quad \lambda_3 \in [653.72 \text{ nm}, 661.38 \text{ nm}].$$

Odredite kojim prijelazima odgovaraju ove linije te izračunajte neodređenosti u energijama za pobuđena stanja, ΔE_2 i ΔE_3 , kao i njihova vremena života τ_2 i τ_3 .

[16 BODOVA]

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Poreč, 10.–13. travnja 2019.

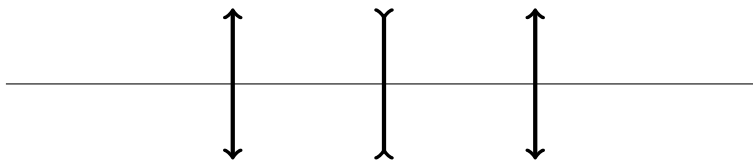
3. Spremnik stalnog volumena sadrži atomski plin vodika gustoće $\rho = 0.1 \text{ g/cm}^3$. Postupnim zagrijavanjem dolazi do ionizacije te se plin pretvara u plazmu, koja se ponaša kao dvokomponentni idealni plin. Pretpostavite da do ionizacije dolazi na točno određenoj temperaturi T_i i ugrubo odredite tu temperaturu. Vodite se idejom da je tipična termalna energija $E_{\text{term}} \approx kT$ (predfaktori tipa $3/2$ nisu bitni za grubu ocjenu temperature) te da ona uzrokuje ionizaciju. Također, zanemarite utjecaj defekta mase. Dolazi li do promjene tlaka Δp uslijed ionizacije? Ako da, izračunajte tu promjenu. Daljnjim zagrijavanjem plazme, na stijenke spremnika, osim same plazme, sve više djeluje i tlak termičkog zračenja. Veza između tlaka zračenja i temperature T dana je formulom

$$p_{\text{rad}} = \frac{4\sigma}{3c} T^4,$$

gdje su σ i c fundamentalne konstante. U trenutku kad se tlakovi plazme i zračenja izjednače dolazi do pucanja spremnika. Odredite na kojoj temperaturi spremnik puca te koji je tlak u tom trenu djelovao na njegove stijenke.

[18 BODOVA]

4. Optički sustav od tri tanke leće konstruiran je kao na slici. Dvije su leće konvergentne, dok je jedna divergentna, a sve imaju istu žarišnu duljinu $f = 10 \text{ cm}$. Konvergentne leće su udaljene za $\ell = 10 \text{ cm}$, a divergentna leća se nalazi točno na polovici između njih.



- Ako snop svjetlosti upada s lijeva na prvu leću paralelno optičkoj osi, nađite udaljenost d od treće leće do točke na optičkoj osi gdje snop konvergira.
- Ako se točkasti predmet stavi na optičku os na udaljenosti x ispred prve leće, a njegova slika nastaje na istoj udaljenosti iza treće leće, odredite x .

[18 BODOVA]

Vrijednosti fizikalnih konstanti:

- brzina svjetlosti: $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$;
- masa elektrona: $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$;
- masa protona: $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- Planckova konstanta: $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s} = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV s}$;
- Boltzmannova konstanta: $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$;
- Stefan-Boltzmannova konstanta: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.