

# DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Poreč, 10.–13. travnja 2019.

Srednje škole - 4. skupina, rješenja i smjernice za bodovanje

Upute za bodovanje: Ovdje je prikazan jedan način rješavanja zadataka. Ukoliko učenici riješe zadatak drugačijim, a fizikalno ispravnim načinom, treba im dati puni broj bodova predviđen za taj zadatak. Ako učenici ne napišu posebno svaki ovdje predviđeni korak, a vidljivo je da su ga napravili, treba im dati bodove kao da su ga napisali.

1. • Ako se dva kvarka čeonu sudaraju istom brzinom tada će, zbog zakona očuvanja količine gibanja, nužno stvoriti Higgsov bozon u mirovanju. [1 BOD]

Prema tome, energija svakog kvarka prije sudara mora biti

$$E = \gamma_1 m_b c^2 = \frac{1}{2} m_h c^2. \quad [2 \text{ BODA}]$$

Iz toga slijedi

$$v_1 = c \sqrt{1 - \left(\frac{2m_b}{m_h}\right)^2} \quad [2 \text{ BODA}]$$

$$= 2.9922 \times 10^8 \text{ m/s}. \quad [1 \text{ BOD}]$$

Pritom je potrebno uložiti energiju jednaku zbroju kinetičke energije oba kvarka

$$T_1 = m_h c^2 - 2m_b c^2 \quad [2 \text{ BODA}]$$

$$= 116 \text{ GeV}. \quad [1 \text{ BOD}]$$

- Ako pak sudaramo jedan kvark u drugi, mirujući, kvark, tada će se stvoreni Higgsov bozon gibati. Najlakši način da odredimo parametre ovog sudara jest da napravimo Lorentzovu transformaciju prethodnog slučaja. [1 BOD]

U sustavu koji se giba brzinom  $v_1$  anti-kvark će mirovati, a kvark će imati brzinu

$$v_2 = \frac{2v_1}{1 + \frac{v_1^2}{c^2}} = c \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{2m_b}{m_h}\right)^2}}{1 - 2\left(\frac{m_b}{m_h}\right)^2} \quad [3 \text{ BODA}]$$

$$= 2.9999 \times 10^8 \text{ m/s}. \quad [1 \text{ BOD}]$$

Budući da se Higgsov bozon nakon sudara giba brzinom  $v_1$ , uložena energija, tj. kinetička energija kvarka, u ovom slučaju je

$$T_2 = \gamma_1 m_h c^2 - 2m_b c^2 = \frac{(m_h^2 - 4m_b^2)c^2}{2m_b} \quad [3 \text{ BODA}]$$

$$= 1.7271 \text{ TeV}. \quad [1 \text{ BOD}]$$

Očito, čeonu sudar zahtijeva manje uložene energije.

# DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Poreč, 10.–13. travnja 2019.

2. Za početak izračunamo valnu duljinu prijelaza  $n \rightarrow m$  zanemarujući neodređenost u energiji. Iz formule

$$\lambda_{n \rightarrow m} = \frac{hc}{\bar{E}_n - \bar{E}_m} \quad [2 \text{ boda}]$$

lako nalazimo

$$\lambda_{2 \rightarrow 1} = 121.76 \text{ nm}, \quad \lambda_{3 \rightarrow 1} = 102.74 \text{ nm}, \quad \lambda_{3 \rightarrow 2} = 657.53 \text{ nm}. \quad [3 \text{ boda}]$$

Prema tome, zaključujemo da spektralna linija  $\lambda_1$  odgovara prijelazu  $3 \rightarrow 1$ ,  $\lambda_2$  prijelazu  $2 \rightarrow 1$ , a  $\lambda_3$  prijelazu  $3 \rightarrow 2$ . [1 bod]

Dalje, širine pobuđenih stanja računamo prema

$$\begin{aligned} \Delta E_2 &= h\Delta\nu_{2 \rightarrow 1} = hc \left( \frac{1}{\lambda_{2,\min}} - \frac{1}{\lambda_{2,\max}} \right) & [2 \text{ boda}] \\ &= 1.68 \text{ meV}, & [1 \text{ bod}] \end{aligned}$$

za  $n = 2$ , odnosno

$$\begin{aligned} \Delta E_3 &= h\Delta\nu_{3 \rightarrow 1} = hc \left( \frac{1}{\lambda_{1,\min}} - \frac{1}{\lambda_{1,\max}} \right) & [2 \text{ boda}] \\ &= 0.02 \text{ eV}, & [1 \text{ bod}] \end{aligned}$$

za  $n = 3$ . Konačno, vremena života su

$$\tau_2 = \frac{h/4\pi}{\Delta E_2} = 1.96 \times 10^{-13} \text{ s}, \quad \tau_3 = \frac{h/4\pi}{\Delta E_3} = 1.65 \times 10^{-14} \text{ s}. \quad [4 \text{ boda}]$$

# DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Poreč, 10.–13. travnja 2019.

3. Temperaturu ionizacije možemo procijeniti iz uvjeta da termička energija  $kT$  bude jednaka energiji vezanja vodika  $E_{\text{vez}} = 13.6 \text{ eV}$ ,

$$E_{\text{term}} = E_{\text{vez}} \quad \rightsquigarrow \quad T_i = \frac{E_{\text{vez}}}{k} = 1.58 \times 10^5 \text{ K}. \quad [4 \text{ BODA}]$$

Tlak vodika prije ionizacije računamo iz jednadžbe stanja idealnog plina

$$p_{\text{vod}} = \frac{N}{V} k T_i, \quad [2 \text{ BODA}]$$

gdje je  $N$  broj atoma vodika u spremniku volumena  $V$ , dok, nakon ionizacije, tlak plazme računamo pomoću Daltonovog zakona o parcijalnim tlakovima gdje posebno promatramo pozitivne (protone) i negativne (elektrone) ione kao idealni plin. Budući da iz svakog vodika dobijemo jedan proton i jedan elektron, broj protona je opet  $N$ , što je ujedno i broj elektrona. Budući da i protoni i elektroni ispunjavaju spremnik te se nalaze na istoj temperaturi, vrijedi

$$p_{\text{pl}} = \frac{N}{V} k T_i + \frac{N}{V} k T_i = 2 p_{\text{vod}}. \quad [3 \text{ BODA}]$$

Prema tome, promjena u tlaku tijekom ionizacije iznosi

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_{\text{pl}} - p_{\text{vod}} = p_{\text{vod}} = \frac{N m_v}{V m_v} k T_i \\ &= \frac{\rho}{m_v} k T_i \quad [2 \text{ BODA}] \\ &= 1.30 \times 10^{11} \text{ Pa}. \quad [1 \text{ BOD}] \end{aligned}$$

U predzadnjoj smo jednakosti uveli gustoću vodika  $\rho = N m_v / V$  i masu atoma vodika  $m_v = m_p + m_e$ . Tlak plazme i tlak zračenja će biti jednaki na temperaturi određenoj uvjetom

$$\frac{4\sigma}{3c} T^4 = \frac{2\rho}{m_v} k T \quad \rightsquigarrow \quad T = \left( \frac{3\rho c k}{2\sigma m_v} \right)^{1/3} = 1.87 \times 10^7 \text{ K}. \quad [3 \text{ BODA}]$$

Pri toj temperaturi ukupni je tlak na stijenku spremnika

$$p_{\text{uk}} = p_{\text{pl}} + p_{\text{rad}} = \frac{4\rho}{m_v} k T = 6.18 \times 10^{13} \text{ Pa}. \quad [3 \text{ BODA}]$$

## DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Poreč, 10.–13. travnja 2019.

4. • Koristimo jednadžbu tankih leća za svaku leću posebno. Ako svjetlost upada paralelno na prvu leću, to znači da se izvor nalazi u beskonačnosti,  $a_1 = \infty$ , pa imamo

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f} \quad \rightsquigarrow \quad b_1 = f = 10 \text{ cm.} \quad [3 \text{ BODA}]$$

Slika prve leće je izvor za drugu leću i nalazi se na udaljenosti  $a_2 = -(b_1 - \ell/2)$  od nje. Prema tome, jednadžba leće daje

$$\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = -\frac{1}{f} \quad \rightsquigarrow \quad b_2 = -\frac{a_2 f}{a_2 + f} = 10 \text{ cm,} \quad [3 \text{ BODA}]$$

gdje smo vodili računa da je druga leća divergentna. Konačno, izvor za treću leću je na udaljenosti  $a_3 = -(b_2 - \ell/2)$  od nje pa je konačni položaj slike

$$\frac{1}{a_3} + \frac{1}{b_3} = \frac{1}{f} \quad \rightsquigarrow \quad b_3 = \frac{a_3 f}{a_3 - f} = 3.33 \text{ cm.} \quad [3 \text{ BODA}]$$

- Da bi optički sustav napravio simetričnu sliku, nužno je da i središnja leća napravi simetričnu sliku. Odnosno, mora vrijediti

$$|a_2| = |b_2| = 2f = 10 \text{ cm.} \quad [3 \text{ BODA}]$$

Sad je lako vidjeti da je, npr.

$$b_1 = |a_2| + \ell/2 = 25 \text{ cm,} \quad [3 \text{ BODA}]$$

pa jednadžba leće za prvu leću daje, uz  $a_1 = x$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f} \quad \rightsquigarrow \quad x = \frac{b_1 f}{b_1 - f} = 16.67 \text{ cm.} \quad [3 \text{ BODA}]$$