

9-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
14-oji užduotis Nr. FT9-14 / 2016 04 20 – 2016 05 17

Protono smūgis

Sąlyga / FT9-14 ▼

Vandenilio atomą sudaro protonas (atomo branduolys) ir elektronas, jų matmenys maži. Protono masė $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, jo krūvis $e = +1,60 \cdot 10^{-19}$ C, elektrono krūvis tokio pat didumo, tik priešingo ženklo, jo masė $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. Vandenilio atomo jonizacijos energija, $A = 2,18 \cdot 10^{-18}$ J. Laisvas protonas pagreitinamas potencialų skirtumu $U = 100$ V ir nukreipiamas link nejudančio vandenilio atomo, esančio pagrindinėje būsenoje. Protono smūgiu atomas jonizuojamas, dalelės nutolsta dideliu atstumu.

- 1) Kokie yra protonų greičiai, jei elektrono greitis $v = 6 \cdot 10^5$ m/s, ir visų dalelių greičių kryptys vienodos?
- 2) Kokiu mažiausiu atstumu suartėja protonai?

Užduotį parengė mokyklos „Fizikos olimpas“ steigėjų tarybos narys, ilgametis mokyklos direktorius (11 m.) ir šio Fizikos turnyro užduočių parengimo spęsti ir jų sprendimų vertinimo komisijos pirmininkas prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2016 04 20.

Aiškinamasis sprendimas / FT9-14 ▼

Protonas įgauna energiją

$$E_k = Ue = \frac{m_p v_p^2}{2}, \quad E_k = 100 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} = 1,60 \cdot 10^{-17} \text{ (J)}.$$

Po netampraus smūgio į atomą ta energija virsta elektrono ir protonų kinetine energija, jų sąveikos energija bei panaudojama atomui jonizuoti. Kadangi elektrono masė maža, laikome, kad vandenilio atomo ir protono masės vienodos.

Protono greitis

$$v_p = \sqrt{\frac{2Ue}{m_p}}, \quad v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = 138000 \text{ (m/s)}.$$

Protono judesio kiekis

$$p_p = m_p v_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 138000 = 2,3 \cdot 10^{-22} \text{ (kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}).$$

Elektrono energija

$$E_e = \frac{m_e v_e^2}{2} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (6 \cdot 10^5)^2}{2} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (J)}.$$

Elektrono judesio kiekis

$$p_e = m_e v = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 6 \cdot 10^5 = 5,5 \cdot 10^{-25} \text{ (kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}).$$

Matome, kad elektrono ir energija, ir judesio kiekis žymiai mažesni už protono, į juos galime neatsižvelgti. Pažymime protonų greičius po jonizacijos v_1 ir v_2 ir panaudojame energijos ir judesio kiekio tvermės dėsnius.

$$\frac{m_p v_p^2}{2} = \frac{m_p v_1^2}{2} + \frac{m_p v_2^2}{2} + A,$$

$$m_p v_p = m_p v_1 + m_p v_2.$$

Iš antrosios lygties išreiškę v_1 per v_2 ir įrašę į pirmąją, gauname

$$v_2^2 - v_p v_2 + \frac{A}{m_p} = 0,$$

$$v_2 = \frac{v_p}{2} \mp \sqrt{\frac{v_p^2}{4} - \frac{A}{m_p}}.$$

Du sprendiniai ir atitinka protonų greičius:

$$v_1 = \frac{v_p}{2} + \sqrt{\frac{v_p^2}{4} - \frac{A}{m_p}} = 127000 \text{ m/s},$$

$$v_2 = \frac{v_p}{2} - \sqrt{\frac{v_p^2}{4} - \frac{A}{m_p}} = 10000 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Mažiausias atstumas d tarp protonų yra tuo momentu, kai jų greičiai vienodi ir lygūs $\frac{v_p}{2}$. Tada iš energijos tvermės dėsnio gauname:

$$2 \frac{m_p v_p^2}{8} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 d} = Ue - A,$$

$$d = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{Ue}{2} - A\right)},$$

$$d = \frac{(1,60 \cdot 10^{-19})^2}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \left(\frac{100 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}}{2} - 2,18 \cdot 10^{-18}\right)} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ (m)}.$$

Užduoties aiškinamąjį sprendimą pateikė jos autorius prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2020 08 25.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT9-14 ▼

Dauguma užduotį išsprendė.

Užduoties sprendimų aptarimą parengė jos autorius prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2020 08 25.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT9-14 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Pradinis pagreitinto protono greitis	2
	Elektrono judesio kiekis ir energija	3
	Nustatyti protonų greičiai	3
2.	Mažiausias atstumas, kuriuo suartėja protonai	2
3.	Pateikta ne pagal reikalavimus	-1
4.	Netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr.1-2)	iki (-2)
	Didžiausias galimas sprendimų įvertinimas	10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2020 08 25.