

15-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
14-oji užduotis Nr. FT15-14 / 2022 04 04 – 2022 05 01

Išorinis fotoefektas cinke

Sąlyga / FT15-14 ▼

Elektronų išlaisvinimo iš cinko darbas lygus 4,5 eV. Apskaičiuokite:

- 1) energiją, masę ir impulsą fotonų, kuriais paveikus cinko paviršių yra sukeliamas išorinis fotoefektas;
- 2) elektrinę įtampą, kuria tektų stabdyti fotoefektą, šio metalo paviršių paveikus 122 nm bangos ilgio ultravioletine spinduliuote;
- 3) didžiausią fotoelektronų greitį, jei fotoefektą sukeltų 2,44 pm bangos ilgio γ spinduliai.

Planko konstanta $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s. Elektrono krūvis $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C, masė $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Užduotį parengė doc. dr. Stasys Tamošiūnas – Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Fotonikos ir nanotechnologijų instituto senjoras, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, steigėjų tarybos narys ir dėstytojas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 04 04.

Aiškinamasis sprendimas / FT15-14 ▼

Duota: $A = 4,5$ eV = $7,2 \cdot 10^{-19}$ J; $\lambda_1 = 1,22 \cdot 10^{-7}$ m; $\lambda_2 = 2,44 \cdot 10^{-12}$ m; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s; $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Rasti: E, m_f, p, U_1, v .

Pagal Einšteino lygtį fotoefektui fotono energija lygi elektronų išlaisvinimo iš metalo darbo ir fotoelektrono kinetinės energijos sumai:

$$E = h \frac{c}{\lambda} = A + E_k.$$

Fotoefektas įvyksta ir turime judrius fotoelektronus ($E_k \geq 0$), kai $E \geq A = 7,2 \cdot 10^{-19}$ J.

Fotono masė:

$$m_f = \frac{E}{c^2} \geq \frac{A}{c^2}; \quad m_f \geq \frac{7,2 \cdot 10^{-19}}{9 \cdot 10^{16}} = 8 \cdot 10^{-36} \text{ (kg)}.$$

Fotono impulsas:

$$p = m_f c = \frac{E}{c} \geq \frac{A}{c}; \quad p \geq \frac{7,2 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^8} = 2,4 \cdot 10^{-27} \text{ (kg·m/s)}.$$

Einšteino formulė nestabdomam fotoefektui, kai cinko paviršius paveikiamas ultravioletine spinduliuote:

$$h \frac{c}{\lambda_1} = A + E_{k1}.$$

Fotoelektrono kinetinės energijos pokytis $0 - E_{k1}$ yra lygus jį sustabdžiusio elektrinio lauko darbui qU_1 , tai elektrinė įtampa^{*}):

$$U_1 = \left(A - h \frac{c}{\lambda_1} \right) \frac{1}{q};$$

$$U_1 = \left(7,2 \cdot 10^{-19} - 6,62 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{1,22 \cdot 10^{-7}} \right) \frac{1}{-1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 5,67 \text{ (V)}.$$

Reikia atkreipti dėmesį, kad γ fotono energija E_2 yra artima elektrono rimties energijai E_0 :

$$E_2 = h \frac{c}{\lambda_2}; E_2 = 6,62 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{2,44 \cdot 10^{-12}} \approx 8,14 \cdot 10^{-14} \text{ (J)};$$

$$E_0 = m_0 c^2; E_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ (J)}.$$

Todėl dabar tenka naudotis reliatyvistine kinetinės energijos lygtimi, kai iš elektrono pilnosios energijos E_p yra atimama jo rimties energija. Be to, $E_2 \gg A$, todėl Einšteino lygtyje į elektronų išlaisvinimo darbą galime nekreipti dėmesio ir apskaičiuoti didžiausią fotoelektronų greitį:

$$E_2 \approx E_{k2} = E_p - E_0 = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right);$$

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{E_2}{E_0} + 1\right)^2}}; v = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{8,14}{8,19} + 1\right)^2}} \approx 2,6 \cdot 10^8 \text{ (m/s)}.$$

Pastaba: *) $U_1 = \varphi_k - \varphi_a$, čia vakuuminio fotoelemento, kuriuo tiriamas fotoefekto stabdymas, cinko katodo elektrinis potencialas φ_k yra didesnis, nei anodo elektrinis potencialas φ_a .

Aiškinamąjį sprendimą pateikė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 05 10.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT15-14 ▼

Keturi turnyro dalyviai fotonui nepriskyrė masės, penki rado neigiamą stabdymo įtampą – tokio ženklo būna elektroną pagreitinant, o ne jį sustabdant, dar penki klydo išreikšdami didelio greičio fotoelektrono kinetinę energiją, o trys vėlavo pateikti sprendimus.

Sprendimų aptarimą parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 05 10.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT15-14 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Fotonų apibūdinimas	4
2.	Stabdymo įtampa	3
3.	Didžiausias fotoelektronų greitis	3
4.	Pateikta ne pagal reikalavimus (nerodomi skaičiavimai)	-0,5
5.	Vėlavimas pateikti sprendimą (vienai parai)	-1
6.	Kiti netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr.1-3)	iki (-1)
Didžiausias galimas sprendimų įvertinimas		10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 05 10.