



Мал. 177. Фотаэлемент: *а* — вакуумны (газанапоўнены); *б* — паўправадніковы

светлавыя сігналы ў электрычных. Такія прылады называюцца *фотаэлементамі* (мал. 177).

Фотаэлементы выкарыстоўваюцца для кантролю пасажырапатоку ў метро, для ўключэння і выключэння асвятлення на вуліцах, для кіравання вытворчымі працэсамі, у ваеннай тэхніцы: у саманаводных снарадах, для сігналізацыі і лакацыі.

Інфрачырвоныя фотаэлементы шырока выкарыстоўваюцца ў пультах дыстанцыйнага кіравання рознымі бытавымі электроннымі прыборамі (тэлевізар, кандыцыянер і г. д.).

► У 1921 г. пры прысуджэнні Альберту Эйнштэйну Нобелеўскай прэміі па фізіцы ў рашэнні Нобелеўскага камітэта падкрэслівалася, што «прэміяй асабліва адзначаецца тлумачэнне законаў фотаэлектрычнага эфекту». Першы фотаэлемент на знешнім фотаэфекце быў створаны Сталетавым у 1888 г.



1. У чым сутнасць гіпотэзы Эйнштэйна?
2. Што называецца фатоном? Перапішыце асноўныя ўласцівасці фатона.
3. Па якой формуле можна вызначыць энергію фатона?
4. Запішыце ўраўненне Эйнштэйна для фотаэфекту і назаўважце ўсе фізічныя велічыні, якія ўваходзяць у яго.
5. Пакажыце, што ўраўненне Эйнштэйна для фотаэфекту з'яўляецца вынікам закону захавання і ператварэння энергіі.
6. Перапішыце ўмовы, неабходныя для ўзнікнення фотаэфекту.
7. Што такое затрымліваючае напружанне?
8. Што называецца чырвонай мяжой фотаэфекту? Ад чаго яна залежыць?
9. Як квантавая тэорыя тлумачыць існаванне гранічнай частаты фотаэфекту? Запішыце формулу для чырвонай мяжы фотаэфекту.
10. Раствлумачце законы фотаэфекту зыходзячы з квантавай тэорыі святла.
11. Чаму энергія фотаэлектронаў для дадзенага рэчыва вызначаецца толькі частатой падаючага святла?

Прыклады рашэння задач

1. Монахраматычнае святло даўжынёй хвалі $\lambda = 450$ нм падае на паверхню натрыю. Вызначыце: а) энергію E фатона гэтага святла; б) мо-

дзель імпульсу p фатона падаючага святла; в) чырвоную мяжу v_{\min} фотаэфекту для натрыю; г) максімальную кінетычную энергію $E_{\text{к}}^{\max}$ фотаэлектронаў.

Дадзена:

$$\lambda = 450 \text{ нм} = 4,50 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$A_{\text{вых}} = 3,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$E \text{ — ? } p \text{ — ? } v_{\min} \text{ — ?}$$

$$E_{\text{к}}^{\max} \text{ — ?}$$

Рашэнне

а) Энергія фатона:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

$$E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{4,50 \cdot 10^{-7} \text{ м}}$$

$$= 4,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,8 \text{ эВ.}$$

б) Модуль імпульсу фатона:

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

$$p = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{4,50 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1,50 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

в) Чырвоная мяжа звязана з работай выхаду суадноснай:

$$v_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}, \quad v_{\min} = \frac{3,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} = 5,6 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$$

г) З ураўнення Эйнштэйна для знешняга фотаэфекту знаходзім, што максімальная кінетычная энергія электрона, што вылецеў:

$$E_{\text{к}}^{\max} = h\nu - A_{\text{вых}}, \quad E_{\text{к}}^{\max} = 2,8 \text{ эВ} - 2,3 \text{ эВ} = 0,50 \text{ эВ.}$$

Адказ: а) $E = 2,8 \text{ эВ}$; б) $p = 1,50 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; в) $v_{\min} = 5,6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$; г) $E_{\text{к}}^{\max} = 0,50 \text{ эВ}$.

2. Пад дзеяннем святла даўжынёй хвалі $\lambda = 400 \text{ нм}$ з паверхні металу вылятаюць электроны, пры гэтым іх энергія роўна палове энергіі фатонаў, што выклікаюць фотаэфект. Вызначыце даўжыню хвалі $\lambda_{\text{ч}}$, якая адпавядае чырвонай мяжы фотаэфекту.

Дадзена:

$$\lambda = 400 \text{ нм} = 4,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\lambda_{\text{ч}} \text{ — ?}$$

Рашэнне

Запішам ураўненне Эйнштэйна для фотаэфекту:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

Чырвоную мяжу фотаэфекту вызначым з суадносіны:

$$A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{min}}.$$

Па ўмове задачы:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{h\nu}{2}.$$

Тады $h\nu = h\nu_{\text{min}} + \frac{h\nu}{2}$, адкуль вынікае, што $\nu_{\text{min}} = \frac{\nu}{2}$.

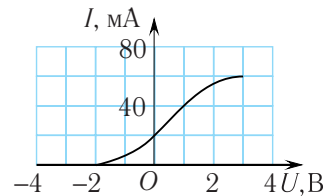
Паколькі даўжыня хвалі $\lambda = \frac{c}{\nu}$, то

$$\lambda_{\text{ч}} = 2\lambda, \quad \lambda_{\text{к}} = 2 \cdot 400 \text{ нм} = 800 \text{ нм}.$$

Адказ: $\lambda_{\text{ч}} = 800 \text{ нм}$.

Практыкаванне 19

1. Вызначыце энергію E фатона для выпраменьвання частотой $\nu = 5,4 \cdot 10^{14}$ Гц.
2. Вылічыце энергію E_1 фатона бачнага святла даўжынёй хвалі $\lambda_1 = 0,60$ мкм і параўнайце яе з энергіямі фатонаў ультрафіялетавага выпраменьвання даўжынёй хвалі $\lambda_2 = 0,252$ мкм, рэнтгенаўскага выпраменьвання $\lambda_3 = 0,10$ нкм і λ -выпраменьвання $\lambda_4 = 0,10$ пм.
3. Вызначыце чырвоную мяжу ν_{min} фотаэфекту для некаторага металу, калі работа выхаду электрона з яго $A_{\text{вых}} = 3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж.
4. Вызначыце даўжыню хвалі λ ультрафіялетавага выпраменьвання, падаючага на паверхню цынку, пры якой модуль максімальнай скорасці вылятаючых фотаэлектронаў складае $v_{\text{max}} = 800 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.
5. Вызначыце работу выхаду $A_{\text{вых}}$ электрона з катода, выкарыстаўшы вольт-амперную характарыстыку вакуумнага фотаэлемента (мал. 178). Катод асвятляецца святлом з даўжынёй хвалі $\lambda = 200$ нм. Знайдзіце лік N электронаў, выбіваемых з фотакатода за адзінку часу.
6. Вызначыце колькасць N фатонаў з частотой $\nu = 9,5 \cdot 10^{12}$ Гц, якая змяшчаецца ў імпульсе выпраменьвання з энергіяй $E = 8,8 \cdot 10^{-18}$ Дж.
7. Вызначыце максімальную кінетычную энергію $E_{\text{к}}^{\text{max}}$ і модуль максімальнай скорасці v_{max} фотаэлектрона, што вылецеў з натрыю пры



Мал. 178

апраменьванні яго ультрафіялетавым выпраменьваннем даўжынёй хвалі $\lambda = 200$ нм.

8. На металічную пласціну падае монахраматычнае святло даўжынёй хвалі $\lambda = 413$ нм. Вызначыце работу выхаду $A_{\text{вых}}$ (эВ), калі затрымліваючае напружанне $U_3 = 1,0$ В.



§28-1

§ 29. Ціск святла.

Карпускулярна-хвалевы дуалізм

Слоўца гучнае заўсёды
З цяжкасці вас выводзіць!

І. Гётэ. Фауст

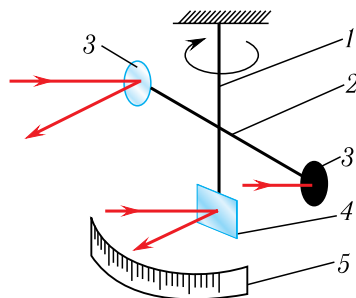
- Пасля адкрыцця фатона ў навуковым свеце з новай сілай «успыхнула» старая дыскусія: так што ж такое святло — хваля ці паток часціц? Як «пагадніць» адно з адным гэтыя супярэчлівыя ўяўленні? Якія з гэтага вынікаюць высновы?



Ціскам называецца скалярная фізічная велічыня, лікава роўная адносіне модуля сілы, якая дзейнічае па нармалі да плошчы, да яе плошчы $p = \frac{F}{S}$. У СІ адзінкай ціску з'яўляецца паскаль (Па): $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}$.

З законаў механікі вынікае, што цела пры ўдары аб некаторую паверхню аказвае на яе механічны ціск, абумоўлены змяненнем імпульсу цела. Прычым ціск цела на паверхню аказваецца ў выпадку як пружкага, так і няпружкага ўдару. А ці будзе ўзнікаць падобны эфект пры адбіцці і паглыннанні святла некаторай паверхняй? Інакш кажучы, ці аказвае святло ціск на паверхню, з якой узаемадзейнічае? Пасля завяршэння пабудовы Максвелам хвалевай тэорыі святла адказы на гэтыя пытанні сталі відавочнымі. Святло як электрамагнітная хваля мае энергію і імпульс, таму аказвае ціск на паверхню, на якую яно падае.

Рускі фізік Пётр Мікалаевіч Лебедзеў у 1899 г. упершыню вымераў светлавы ціск. Ён падвесіў на тонкай нітцы каромысел з парай крыльцаў на канцах (мал. 179): паверхня ў аднаго з іх была зачэрненая, забяспечваючы амаль поўнае паглыннанне, а ў другога — лю-



Мал. 179. Схема доследу Лебедзева: 1 — падвес; 2 — каромысел; 3 — крыльцы; 4 — люстра; 5 — шкала

