



Рис. 177. Фотоэлемент: а — вакуумный (газонаполненный); б — полупроводниковый

в самонаводящихся снарядах, для сигнализации и локации. Инфракрасные фотоэлементы широко используются в пультах дистанционного управления различными бытовыми электронными приборами (телевизор, кондиционер и т. д.).

преобразующих световые сигналы в электрические. Такие устройства называются *фотоэлементами* (рис. 177).

Фотоэлементы используются для контроля пассажиропотока в метро, для включения и выключения освещения на улицах, для управления производственными процессами, в военной технике:

▶ В 1921 г. при присуждении Альберту Эйнштейну Нобелевской премии по физике в решении Нобелевского комитета указывалось, что «премией особенно отмечается объяснение законов фотоэлектрического эффекта». Первый фотоэлемент на внешнем фотоэффекте был создан Столетовым в 1888 г.



1. В чем сущность гипотезы Эйнштейна?
2. Что называется фотоном? Перечислите основные свойства фотона.
3. По какой формуле можно определить энергию фотона?
4. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и назовите все физические величины, входящие в него.
5. Покажите, что уравнение Эйнштейна для фотоэффекта является следствием закона сохранения и превращения энергии.
6. Перечислите условия, необходимые для возникновения фотоэффекта.
7. Что такое задерживающее напряжение?
8. Что называется красной границей фотоэффекта? От чего она зависит?
9. Как квантовая теория объясняет существование граничной частоты фотоэффекта? Запишите формулу для красной границы фотоэффекта.
10. Объясните законы фотоэффекта исходя из квантовой теории света.
11. Почему энергия фотоэлектронов для данного вещества определяется только частотой падающего света?

Примеры решения задач

1. Монохроматический свет длиной волны $\lambda = 450$ нм падает на поверхность натрия. Определите: а) энергию E фотона этого света; б) мо-

дугу импульса p фотона падающего света; в) красную границу $\nu_{\min}$ фотоэффекта для натрия; г) максимальную кинетическую энергию $E_{\kappa}^{\max}$ фотоэлектронов.

Дано:

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

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

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

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

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

$$E_{\kappa}^{\max} \text{ — ?}$$

Решение

а) Энергия фотона:

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

$$E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{4,50 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 4,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,8 \text{ эВ}.$$

б) Модуль импульса фотона:

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

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

в) Красная граница связана с работой выхода соотношением:

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

г) Из уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта находим, что максимальная кинетическая энергия вылетевшего электрона:

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

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

2. Под действием света длиной волны $\lambda = 400 \text{ нм}$ с поверхности металла вылетают электроны, при этом их энергия равна половине энергии фотонов, вызывающих фотоэффект. Определите длину волны λ_{κ} , соответствующую красной границе фотоэффекта.

Дано:

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

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

$$\lambda_{\kappa} \text{ — ?}$$

Решение

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

Красную границу фотоэффекта определим из соотношения:

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

По условию задачи:

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

Тогда $h\nu = h\nu_{\text{min}} + \frac{h\nu}{2}$, откуда следует, что $\nu_{\text{min}} = \frac{\nu}{2}$.

Так как длина волны $\lambda = \frac{c}{\nu}$, то

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

Ответ: $\lambda_{\text{к}} = 800 \text{ нм}$.

Упражнение 19

1. Определите энергию E фотона для излучения частотой $\nu = 5,4 \cdot 10^{14}$ Гц.
2. Вычислите энергию E_1 фотона видимого света длиной волны $\lambda_1 = 0,60$ мкм и сравните ее с энергиями фотонов ультрафиолетового излучения длиной волны $\lambda_2 = 0,252$ мкм, рентгеновского излучения $\lambda_3 = 0,10$ нкм и γ -излучения $\lambda_4 = 0,10$ пм.
3. Определите красную границу ν_{min} фотоэффекта для некоторого металла, если работа выхода электрона из него $A_{\text{вых}} = 3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж.
4. Определите длину волны λ ультрафиолетового излучения, падающего на поверхность цинка, при которой модуль максимальной скорости вылетающих фотоэлектронов составляет $v_{\text{max}} = 800 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.
5. Определите работу выхода $A_{\text{вых}}$ электрона из катода, используя вольтамперную характеристику вакуумного фотоэлемента (рис. 178). Катод освещается светом с длиной волны $\lambda = 200$ нм. Найдите число N электронов, выбиваемых из фотокатода в единицу времени.
6. Определите количество N фотонов с частотой $\nu = 9,5 \cdot 10^{12}$ Гц, которое содержится в импульсе излучения с энергией $E = 8,8 \cdot 10^{-18}$ Дж.
7. Определите максимальную кинетическую энергию $E_{\text{к}}^{\text{max}}$ и модуль максимальной скорости v_{max} фотоэлектрона, вылетевшего из натрия

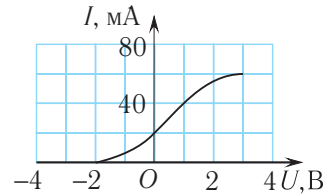


Рис. 178

при облучении его ультрафиолетовым излучением длиной волны $\lambda = 200$ нм.

8. На металлическую пластину падает монохроматический свет длиной волны $\lambda = 413$ нм. Определите работу выхода $A_{\text{вых}}$ (эВ), если задерживающее напряжение $U_3 = 1,0$ В.



§28-1

§ 29. Давление света. Корпускулярно-волновой дуализм

Словечко громкое всегда
Из затрудненья вас выводит!

И. Гёте. Фауст

- После открытия фотона в научном мире с новой силой «вспыхнула» старая дискуссия: так что же такое свет — волна или поток частиц? Как «примирить» друг с другом эти противоречивые представления? Какие из этого следуют выводы?



Давлением называется скалярная физическая величина, численно равная отношению модуля силы, действующей по нормали к площадке, к ее площади $p = \frac{F}{S}$.
В СИ единицей давления является паскаль (Па): $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}$.

Из законов механики следует, что тело при ударе о некоторую поверхность оказывает на нее механическое давление, обусловленное изменением импульса тела. Причем давление тела на поверхность оказывается в случае как упругого, так и не упругого удара. А будет ли возникать подобный эффект при отражении и поглощении света некоторой поверхностью? Иными словами, оказывает ли свет давление на поверхность, с которой взаимодействует? После завершения построения Максвеллом волновой теории света ответы на эти вопросы стали очевидными. Свет как электромагнитная волна обладает энергией и импульсом, поэтому оказывает давление на поверхность, на которую он падает.

Русский физик Петр Николаевич Лебедев в 1899 г. впервые измерил световое давление. Он подвесил на тонкой нити коромысло с парой крылышек на концах (рис. 179): поверхность у одного из них была зачерненной,

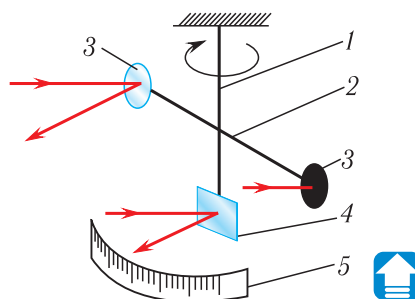


Рис. 179. Схема опыта Лебедева: 1 — подвес; 2 — коромысло; 3 — крылышки; 4 — зеркало; 5 — шкала

