

Световые волны — это электромагнитные волны с длиной волны от нескольких десятков микрон у инфракрасного света до сотых долей микрона у ультрафиолетового. На шкале электромагнитных волн световые волны располагаются между сверхвысокочастотными радио-

волнами и рентгеновскими лучами. Свет обладает *дуализмом, т. е. двойственностью свойств*, — он одновременно и волна, и поток частиц. Когда свет распространяется в пространстве, то обнаруживает свои волновые свойства: *интерференцию, дифракцию, дисперсию и поляризацию*. Когда он взаимодействует с веществом, то обнаруживает свои квантовые свойства — свойства частиц.

Ниже приведены формулы волновой и квантовой оптики

Условие максимума на дифракционной решетке

$$290) d \sin \varphi = k\lambda$$

Здесь d — период решетки (м), φ — угол дифракции (рад), k — порядок максимума (безразмерный), λ — длина световой волны (м).

Формула Планка

$$291) E_\gamma = h\nu$$

$$292) E_\gamma = \hbar\omega$$

$$293) \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Здесь E_γ — энергия порции излучения — фотона, или квант (Дж), $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка, ν — частота световой волны (Гц), $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка (с черточкой), ω — циклическая частота (рад/с).

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$$294) E_\gamma = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$$

$$295) h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m_e v^2}{2}$$

Здесь E_γ — энергия фотона (Дж), $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электрона из металла (Дж), $E_{\text{к}}$ — кинетическая энергия электрона (Дж), h — постоянная Планка (Дж·с), ν — частота световой волны (Гц), m_e — масса электрона (кг), v — скорость электрона (м/с).

Формула для расчета красной границы фотоэффекта

$$296) A_{\text{вых}} = h\nu_0$$

$$297) A_{\text{вых}} = h \frac{c}{\lambda_0}$$

Здесь $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электрона из металла (Дж), h — постоянная Планка (Дж · с), c — скорость света в вакууме (м/с), ν_0 — красная граница фотоэффекта по частоте (Гц), λ_0 — красная граница фотоэффекта по длине волны (м).

Масса и импульс фотона

$$298) \quad m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$

$$299) \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Здесь m — масса фотона (кг), p — импульс фотона (кг · м/с), λ — длина волны (м), c — скорость света в вакууме (м/с). Остальные величины названы в предыдущей формуле.

Чтобы наблюдать интерференцию света, нужно иметь когерентные источники. Два независимых источника света не могут быть когерентными, поэтому в опытах с интерференцией света световые пучки от одного источника разделяли на два пучка и заставляли их проходить разные расстояния, создавая тем самым разность хода, а затем соединяли. При этом, если разность их хода содержала четное число полуволн, то наблюдали усиление света, а если — нечетное, то ослабление, т. е. свет плюс свет давал темноту. Так было доказано, что *свет есть волна*.

Интерференцию с дифракцией света можно наблюдать с помощью дифракционной решетки — пластинки с нанесенными на нее чередующимися прозрачными и непрозрачными полосами — до нескольких тысяч на миллиметре ее длины. При этом ширина прозрачной полосы такова, что в ней укладывается несколько световых длин волн, вследствие чего световые волны, упав на решетку, дифрагируют под разными углами, и на экране наблюдается интерференционная картина: чередование темных и светлых полос. Полоса под центром решетки всегда светлая, т. к. световые волны приходят сюда от симметричных прозрачных полос в одной фазе, — это нулевой максимум (порядок максимума $k = 0$). Слева и справа от нулевого максимума через темные полосы располагаются симметричные максимумы первого порядка, затем второго, третьего и т. д. (рис. 224).

Сумма ширины прозрачной и непрозрачной полос решетки называется ее периодом d . Его можно определить, разделив длину решетки l на общее число полос на ней N :

$$d = \frac{l}{N}.$$

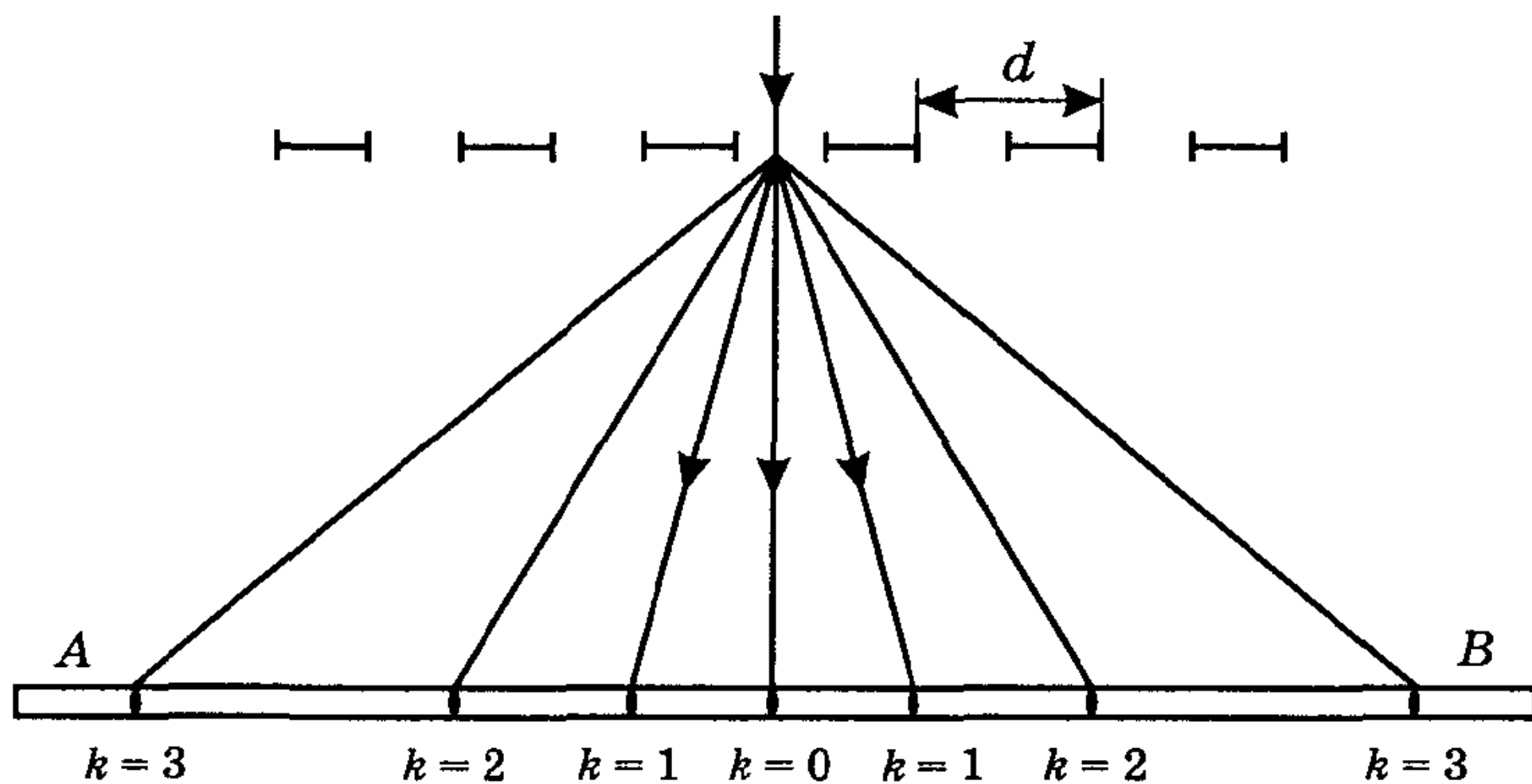


Рис. 224

С помощью дифракционной решетки по формуле 290) $d \sin \varphi = k\lambda$ можно экспериментально определить неизвестную длину световой волны.

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления вещества от длины световой волны. Из-за дисперсии световые волны с разной длиной волны по-разному преломляются веществом, что приводит к разложению белого света на цветные монохроматические (т. е. одного цвета) лучи (рис. 225).

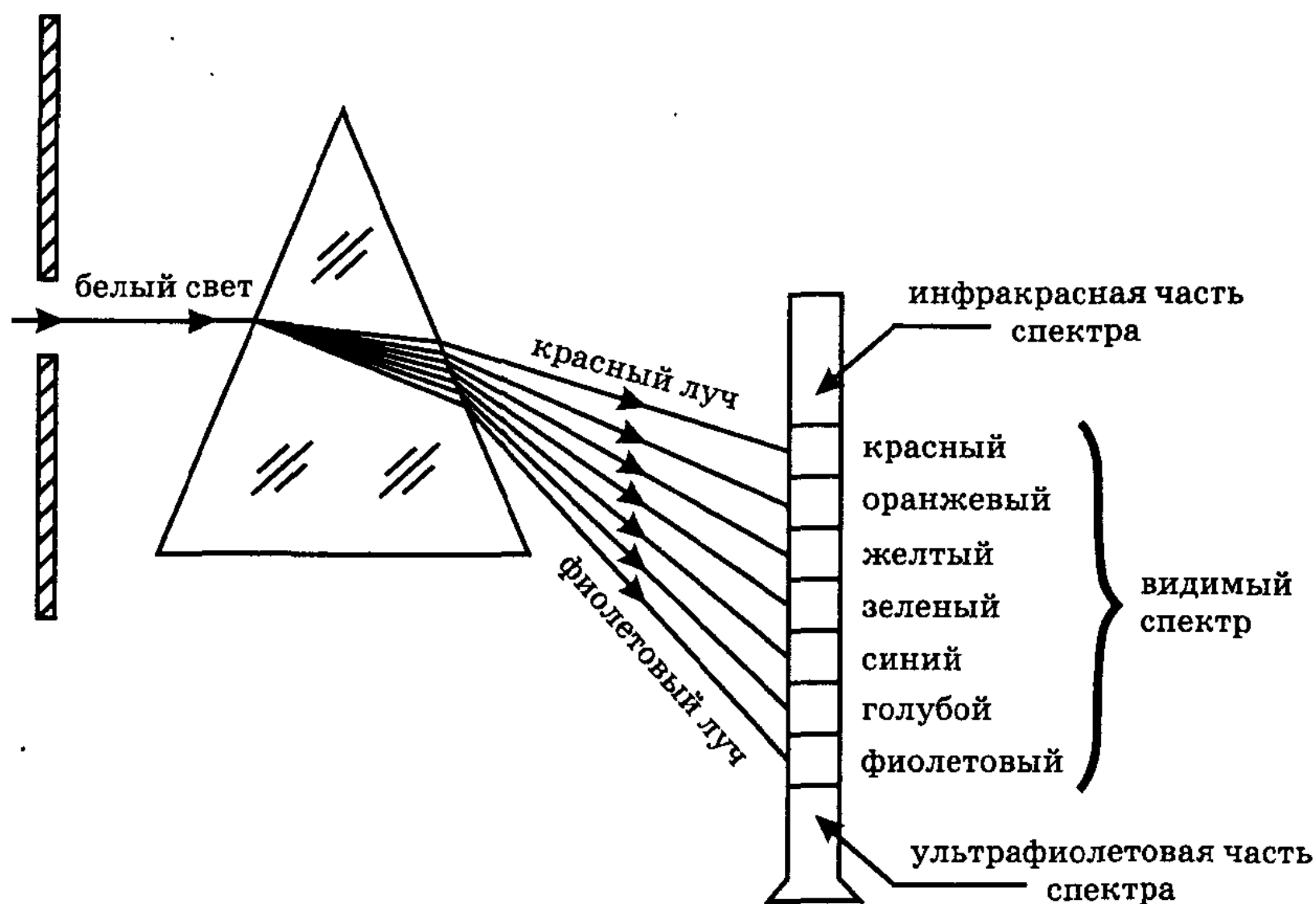


Рис. 225

Слабее других световых лучей преломляются инфракрасные лучи. У них наибольшая из световых волн длина волны и наименьшая в соответствии с формулой

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

частота. У инфракрасных лучей наименьший показатель преломления n и поэтому, в соответствии с формулой

$$v = \frac{c}{n}$$

наибольшая скорость света в веществе. Инфракрасные лучи являются тепловыми лучами. Именно они переносят световую энергию Солнца через холод космического пространства на Землю, где вследствие взаимодействия инфракрасных лучей с земной атмосферой эта энергия превращается в тепло.

Спектр лучей видимого света очень узок — он лежит в диапазоне длин волн от $8 \cdot 10^{-7}$ м — у красных лучей до $4 \cdot 10^{-7}$ м — у фиолетовых. В спектре видимых лучей наблюдается следующий порядок по мере уменьшения длины волны и скорости света в веществе и увеличения частоты: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый (легко запомнить их порядок по фразе: Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан). Если с помощью линзы собрать лучи всех цветов видимого спектра, то вновь получим белый свет.

За видимой фиолетовой границей света лежит область ультрафиолетовых лучей с еще меньшей, чем у фиолетовых, длиной волны и еще большей частотой. Ультрафиолетовые лучи обладают способностью проникать сквозь непрозрачные для видимого света тела, но стекло их полностью поглощает. У металлов ультрафиолетовый свет вызывает явление фотоэффекта. В малых дозах ультрафиолетовые лучи способствуют выработке у человека витамина Д, а в больших — опасны, т. к. приводят к болезням крови и опухолям.

Вид спектра зависит от агрегатного состояния светящегося вещества, его химического состава, но не от способа возбуждения свечения и температуры. В зависимости от агрегатного состояния вещества спектры бывают сплошные, полосатые и линейчатые.

Сплошной спектр излучают светящиеся твердые и жидкие вещества и высокотемпературная плазма.

Полосатый спектр излучают газы в молекулярном состоянии.

Линейчатый спектр излучают газы в атомарном состоянии.

Каждая линия линейчатого спектра соответствует излучению одного атома данного вещества, поэтому по ней можно судить о наличии

данного химического элемента. *Метод изучения химического состава веществ по их спектрам называется спектральным анализом.* Спектральный анализ — наиболее точный метод исследования состава веществ, с его помощью можно обнаружить вещество, даже если его масса составляет 10^{-10} г. Каждое вещество испускает линии того цвета, которые само поглощает.

Атом вещества в возбужденном состоянии испускает электромагнитную волну, в которой вектор электрической напряженности \vec{E} — световой вектор — колеблется только в одной плоскости. Такая волна называется *плоскополяризованной*. Атомы светящегося вещества испускают световые волны, в которых световой вектор колеблется в разнообразных плоскостях. Такой свет называется *естественным*. Существуют вещества, например, кристаллы турмалина, после прохождения сквозь которые световая волна становится плоскополяризованной. Это явление называется *поляризацией света*, а сами вещества — *поляризаторами*. Плоскость, в которой колеблется световой вектор \vec{E} , называется плоскостью колебаний, а плоскость, в которой колеблется перпендикулярный световому вектору \vec{E} вектор магнитной индукции \vec{B} , — плоскостью поляризации. *Поляризация света* подтверждает поперечность световых волн.

Немецкий физик М. Планк выдвинул гипотезу, согласно которой возбужденный атом вещества, переходя из более возбужденного в менее возбужденное состояние, теряет порцию энергии E_γ , пропорциональную частоте излученной электромагнитной волны (формулы Планка 291) $E_\gamma = h\nu$ или 292) $E_\gamma = \hbar\omega$). Световая частица с этой энергией называется фотоном или квантом электромагнитного поля.

Когда световая волна падает на вещество, энергия фотонов передается атомам вещества, и их валентные электроны переходят на более удаленные от ядра орбиты. Это явление называется *внутренним фотоэффектом*. При достаточно большой порции световой энергии электроны могут быть выбитыми из вещества — произойдет *внешний фотоэффект*.

Для наблюдения *внешнего фотоэффекта* в вакуумную трубку помещают катод и анод, на которые подают высокое напряжение, и освещают катод К ультрафиолетовым светом сквозь кварцевое стекло, поскольку обычное стекло ультрафиолетовые лучи не пропускает (рис. 226). Выбитые светом электроны (фотоэлектроны) устремляются к положительному аноду А, и в цепи возникает фототок. На рис. 227 показана вольтамперная характеристика фотоэффекта, т. е. зависимость силы фототока I от приложенного к электродам напряжения U .

В отсутствие напряжения между катодом и анодом можно обнаружить в трубке слабый ток I_0 , образованный немногими выбитыми

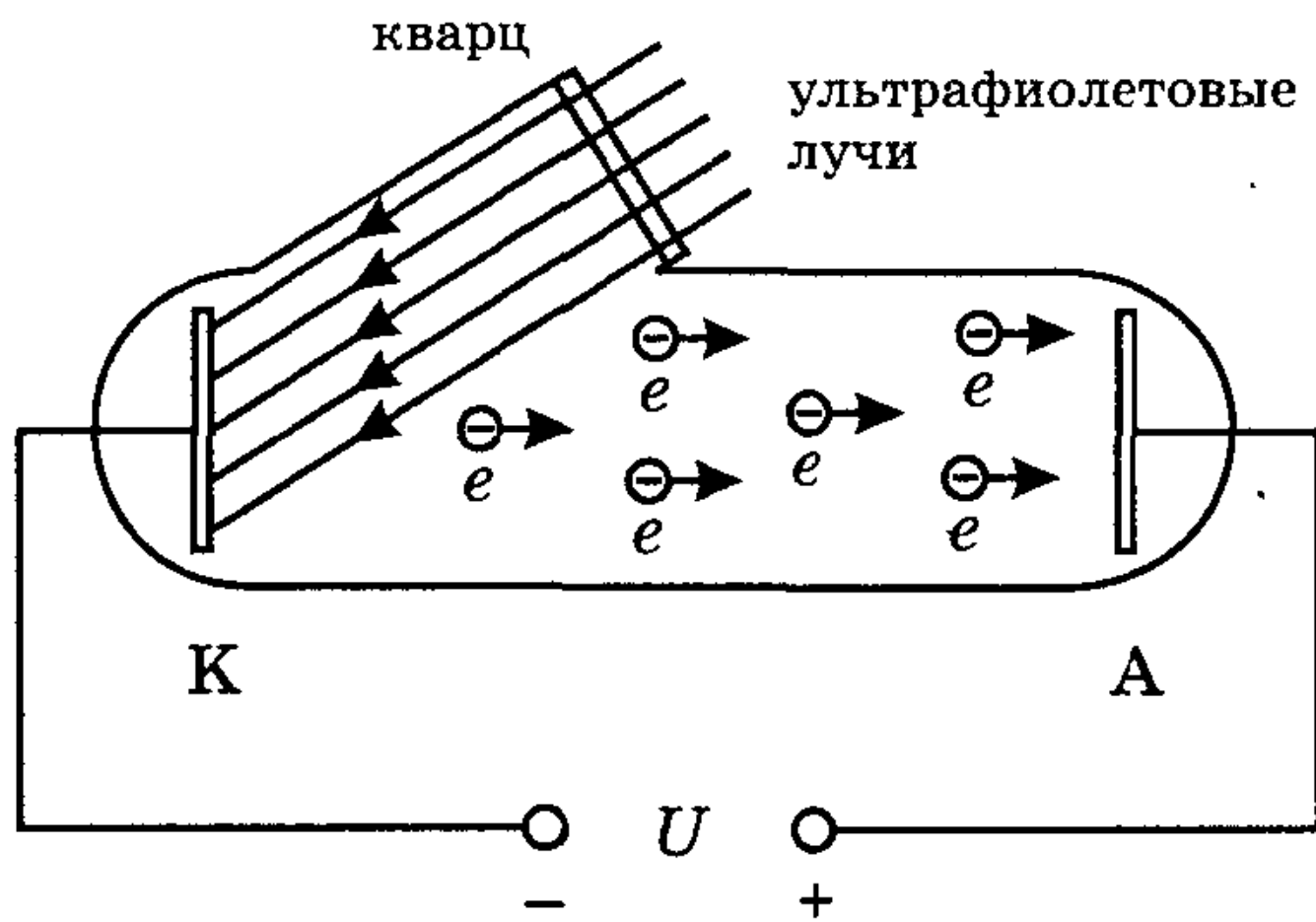


Рис. 226

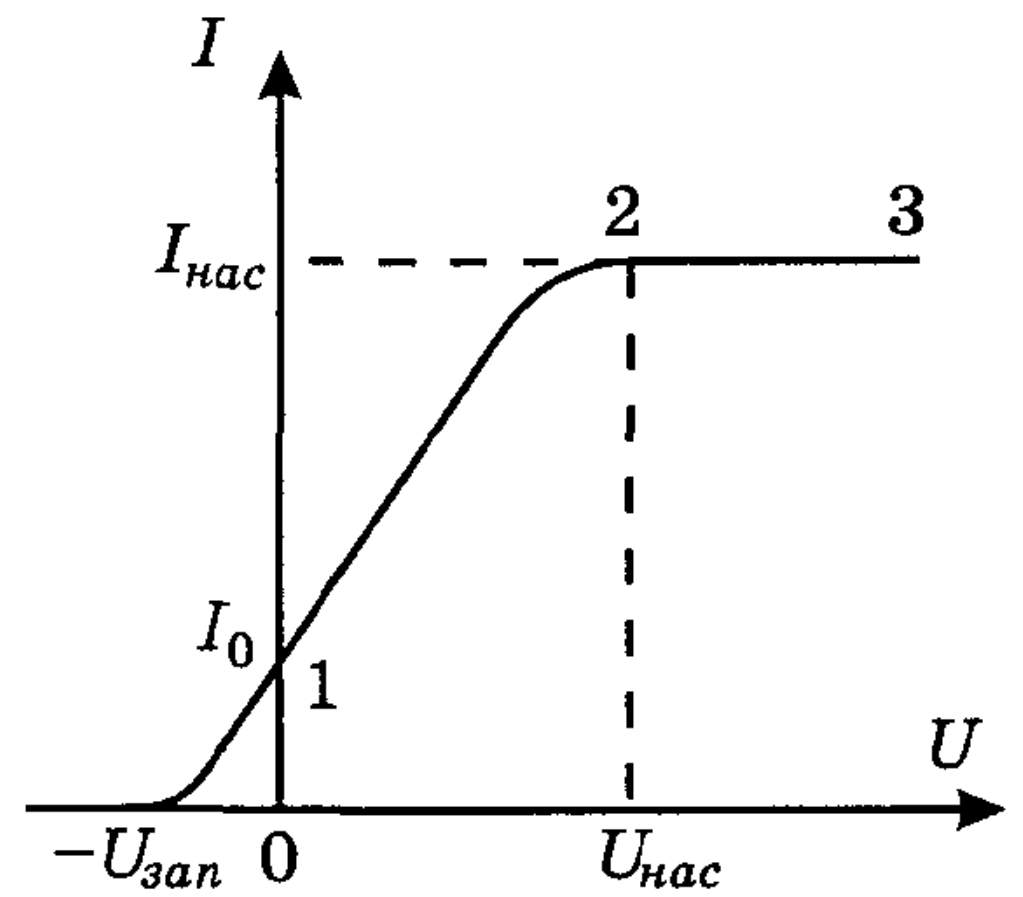


Рис. 227

светом фотоэлектронами, импульс которых позволяет достичь анода. Чтобы и этот ток прекратить, надо подать на анод отрицательный относительно катода потенциал. Такое напряжение, при котором фототок прекращается, называется *запирающим напряжением* $U_{\text{зап}}$.

При небольших напряжениях на электродах, когда на аноде плюс, а на катоде минус, сила тока растет прямо пропорционально приложенному напряжению (участок 1 – 2 графика), т. к. все большее число выбитых светом из металла электронов достигает анода. При этом выполняется закон Ома для участка цепи.

При некотором достаточно большом напряжении, называемом напряжением насыщения $U_{\text{нас}}$, все выбитые светом электроны достигают анода. Дальнейшее увеличение напряжения не приводит к росту силы тока (участок 2 – 3). При этом закон Ома уже не выполняется. Такой ток называется *током насыщения* $I_{\text{нас}}$. Теперь, чтобы увеличить силу тока, надо увеличить световой поток, т. е. энергию света, падающего на катод в единицу времени. Тогда свет выбьет из катода больше электронов, и сила тока возрастет.

Русский ученый А. Столетов установил *законы внешнего фотоэффекта*.

Законы Столетова:

- 1-й закон: сила фототока насыщения $I_{\text{нас}}$ прямо пропорциональна падающему на катод световому потоку Φ , т. е. световой энергии, падающей в единицу времени:

$$I_{\text{нас}} = k\Phi.$$

Коэффициент пропорциональности k называется *светочувствительностью* трубки.

- 2-й закон: кинетическая энергия выбитых светом фотоэлектронов не зависит от падающего на катод светового потока,

а зависит только от частоты световой волны. С увеличением частоты световой волны, падающей на катод, кинетическая энергия фотоэлектронов увеличивается.

- 3-й закон: каждому металлу свойственна частота ν_0 или длина $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$ световой волны, при которой у данного металла наступает фотоэффект. Такая частота ν_0 или длина волны λ_0 называется красной границей фотоэффекта (а также порогом фотоэффекта или длинноволновой границей, или коротковолновой границей фотоэффекта).

Если металл освещать светом с большей, чем λ_0 , длиной волны (или с меньшей, чем ν_0 , частотой), то фотоэффект не наступит при любой световой энергии, а если длина волны λ будет меньше λ_0 или частота ν будет больше ν_0 , то фотоэффект наступит при даже небольшой энергии света.

Фотоэффект практически безинерционен — он наступает через 10^{-9} с от момента освещения катода.

Законы фотоэффекта обосновал А. Эйнштейн, исходя из закона сохранения энергии. При падении на металл энергия фотона расходуется на совершение работы выхода электрона из металла и на сообщение ему кинетической энергии. Он записал формулу (294)

$$E_\gamma = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$$

или (295)

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m_e v^2}{2},$$

которую называют *уравнением Эйнштейна для фотоэффекта*. Согласно этой формуле большей частоте ν соответствует и большая кинетическая энергия фотоэлектронов, выбитых светом из данного металла, поскольку остальные величины в этих формулах постоянны. А световой поток в них вообще не входит.

Если частота световой волны, падающей на металл, меньше красной границы фотоэффекта ν_0 (или длина волны λ больше λ_0), то фотону не хватит энергии даже на то, чтобы вырвать электрон из металла, т. е. его энергия $E_\gamma < A_{\text{вых}}$, и фотоэффекта не будет. Если частота $\nu = \nu_0$, то энергии фотону хватит только чтобы вырвать электрон из металла, а на сообщение ему кинетической энергии ее будет недостаточно. В этом случае

$$E_\gamma = A_{\text{вых}} \quad \text{или} \quad E_\gamma = h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0}.$$

С помощью этих формул можно рассчитать красную границу фотоэффекта ν_0 или λ_0 .

Если же $\nu > \nu_0$ (или $\lambda < \lambda_0$), то $E_\gamma > A_{\text{вых}}$, и энергии фотону хватит и на вырывание электрона из металла, и на сообщение ему кинетической энергии. В этом случае будет наблюдаться фотоэффект.

Если в условии задачи идет речь о запирающем напряжении, то работу запирающего электрического поля $A = eU$ надо приравнять кинетической энергии выбитых электронов:

$$A = E_k \quad \text{или} \quad eU = \frac{m_e v_2^2}{2}.$$

Энергию любого светового источника E можно представить как произведение целого числа фотонов N в нем и энергии одного фотона E_γ :

$$E = NE_\gamma = Nh\nu = Nh\frac{c}{\lambda}.$$

Энергию света, падающую на единицу площади освещаемой поверхности в единицу времени, называют *интенсивностью света* I . Интенсивность, как и энергия света, прямо пропорциональна числу фотонов, излучаемых источником света.

Массу и импульс фотона определяют формулы 298)

$$m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$

и 299)

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Доказательством наличия у фотона импульса, а следовательно, и массы, послужили опыты П. Лебедева, в которых свет оказывал давление на легкую вертушку, расположенную в вакууме, — при ее освещении она вращалась. Световое давление играет большую роль в космических явлениях.

1. В 3 № 2801. Пучок света переходит из стекла в воздух. Частота световой волны равна ν , скорость света в стекле равна v , показатель преломления стекла относительно воздуха равен n . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Физические величины:

- А) длина волны света в стекле.
- Б) длина волны света в воздухе.

Формулы:

- 1) $\frac{v}{nV}$;
- 2) $\frac{nV}{v}$;
- 3) $\frac{n\nu}{v}$;
- 4) $\frac{v}{\nu}$.

А	Б
?	?

Решение.

Длина волны света, скорость света и частота световой волны связаны соотношением $\lambda \nu = v$. Таким образом, для длины волны света в стекле имеем $\lambda_{\text{стекло}} = \frac{v}{\nu}$ (А — 4). При переходе света из стекла частота световой волны не меняется, а скорость возрастает в n раз, так как воздух — оптически менее плотная среда, чем стекло: $c = n\nu$. Следовательно, для длины волны света в воздухе получаем выражение $\lambda_{\text{воздух}} = \frac{c}{\nu} = \frac{n\nu}{\nu}$ (Б — 3).

2. В 3 № 2802. Пучок света переходит из воды в воздух. Частота световой волны равна ν , скорость света в воздухе равна c , показатель преломления воды относительно воздуха равен n .

Физические величины:

- А) длина волны света в воздухе;
- Б) длина волны света в воде.

Формулы:

- 1) $\frac{c}{n\nu}$;
- 2) $\frac{n\nu}{c}$;
- 3) $\frac{n\nu}{\nu}$;
- 4) $\frac{c}{\nu}$.

А	Б
?	?

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

4. В 3 № 3726. Первый источник света расположен на расстоянии L_1 от точки А, а второй — на расстоянии L_2 от точки А. Источники когерентны и синфазные и испускают свет с частотой ν .

Установите соответствие между физическими явлениями и условиями, при соблюдении которых эти явления можно наблюдать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ:

А) Наблюдение в точке А максимума интерференционной картины

Б) Наблюдение в точке А минимума интерференционной картины

УСЛОВИЯ НАБЛЮДЕНИЯ:

1) $L_1 - L_2 = \frac{m\lambda}{1}$, где m — целое число

2) $L_1 + L_2 = \frac{m\lambda}{1}$, где m — целое число

3) $L_1 - L_2 = \frac{(2m - 1)\lambda}{2}$, где m — целое число

4) $L_1 + L_2 = \frac{(2m - 1)\lambda}{2}$, где m — целое число

А	Б
?	?

Решение.

Первым условие для наблюдения интерференции является то, что источники должны быть когерентными. Это условие здесь выполнено, а значит, будет наблюдаться устойчивая интерференционная картина.

Определим длину волны излучения обоих источников: $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

Для того, чтобы наблюдать в некоторой точки максимум интерференционной картины, необходимо, чтобы оптическая разность хода до этой точки от двух когерентных синфазных источников равнялась целому числу длин волн, то есть должно выполняться условие:

$$L_1 - L_2 = m\lambda = \frac{m\lambda}{1}, \text{ где } m \text{ — целое число (А — 1).}$$

Для наблюдения интерференционного минимума, необходимо, чтобы оптическая разность хода до этой точки от двух когерентных синфазных источников равнялась полуцелому числу длин волн, то есть должно выполняться условие:

$$L_1 - L_2 = \frac{(2m - 1)\lambda}{2} = \frac{(2m - 1)\lambda}{2}, \text{ где } m \text{ — целое число (Б — 3).}$$

1. А 25 № 1936. При освещении металлической пластины с работой выхода A монохроматическим светом длиной волны λ происходит фотоэлектрический эффект, максимальная кинетическая энергия освобождаемых электронов равна $E_{\text{макс}}$. Каким будет значение максимальной кинетической энергии фотоэлектронов при освещении монохроматическим светом длиной волны $0,5\lambda$ пластины с работой выхода $\frac{A}{2}$?

- 1) $E_{\text{макс}} - \frac{A}{2}$
- 2) $E_{\text{макс}} + \frac{A}{2}$
- 3) $2E_{\text{макс}}$
- 4) $2E_{\text{макс}} + \frac{3A}{2}$

Решение.

Принимая во внимание связь между длиной волны и частотой $\lambda\nu = c$, выпишем уравнения фотоэффекта для обоих опытов:

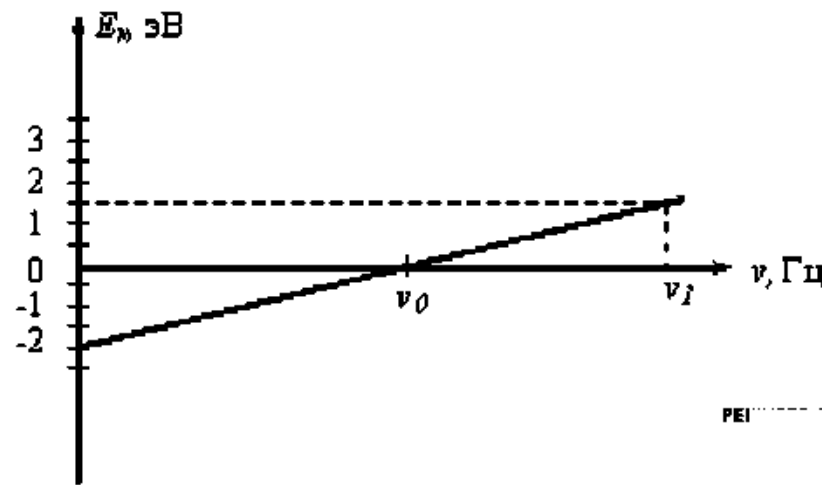
$$\frac{hc}{\lambda} = A + E_{\text{макс}}, \quad \frac{2hc}{\lambda} = \frac{A}{2} + E_{\text{макс}2}$$

Отсюда получаем, что

$$E_{\text{макс}2} = \frac{2hc}{\lambda} - \frac{A}{2} = 2(A + E_{\text{макс}}) - \frac{A}{2} = 2E_{\text{макс}} + \frac{3A}{2}$$

Правильный ответ: 4.

2. А 25 № 2036. График на рисунке представляет зависимость максимальной энергии фотоэлектронов от частоты падающих на катод фотонов.



Определите по графику энергию фотона с частотой ν_1 .

- 1) 1,5 эВ
- 2) 2,0 эВ
- 3) 3,5 эВ
- 4) 0,5 эВ

Решение.

Согласно уравнению фотоэффекта, энергия поглощенного фотона идет на работу выхода и на сообщение электрону кинетической энергии: $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}$. Таким образом, продолжая эту зависимость в область частот $\nu < \nu_0$, при которых не происходит фотоэффекта, получаем что при $\nu = 0$ $A_{\text{вых}} = -E_{\text{кин}} = 2$ эВ. Следовательно, при частоте ν_1 энергия падающих фотонов равна

$$A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}(\nu_1) = 2 \text{ эВ} + 1,5 \text{ эВ} = 3,5 \text{ эВ}$$

Правильный ответ: 3.

3. А 25 № 2306. В таблице приведены значения максимальной кинетической энергии E_{max} фотоэлектронов при облучении фотокатода монохроматическим светом с длиной волны λ .

λ	λ_0	$\frac{1}{2}\lambda_0$
E_{max}	E_0	$3E_0$

Чему равна работа выхода $A_{вых}$ фотоэлектронов с поверхности фотокатода?

- 1) $\frac{1}{2}E_0$
- 2) E_0
- 3) $2E_0$
- 4) $3E_0$

Решение.

Принимая во внимание связь между длиной волны и частотой $\lambda \nu = c$ и используя данные из таблицы, выпишем уравнения фотоэффекта для обоих случаев:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A_{вых} + E_0, \quad \frac{2hc}{\lambda_0} = A_{вых} + 3E_0.$$

Решая систему этих уравнений, для работы выхода имеем

$$A_{вых} + 3E_0 = \frac{2hc}{\lambda_0} = 2(A_{вых} + E_0) \Leftrightarrow A_{вых} = E_0.$$

Правильный ответ: 2.

4. А 25 № 2308. В таблице приведены значения максимальной кинетической энергии E_{max} фотоэлектронов при облучении фотокатода монохроматическим светом с длиной волны λ .

λ	λ_0	$2\lambda_0$
E_{max}	E_0	$\frac{1}{4}E_0$

Чему равна работа выхода $A_{вых}$ фотоэлектронов с поверхности фотокатода?

- 1) $\frac{1}{4}E_0$
- 2) $\frac{1}{2}E_0$
- 3) E_0
- 4) $2E_0$

Решение.

Принимая во внимание связь между длиной волны и частотой $\lambda \nu = c$ и используя данные из таблицы, выпишем уравнения фотоэффекта для обоих случаев:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A + E_0, \quad \frac{hc}{2\lambda_0} = A_{вых} + \frac{1}{4}E_0.$$

Решая систему этих уравнений, для работы выхода имеем $A_{вых} = \frac{E_0}{2}$.

Правильный ответ: 2.

5. А 25 № 2317. Для наблюдения фотоэффекта взяли металлическую пластину с работой выхода $4 \cdot 10^{-19}$ Дж и освещали ее светом с частотой $8 \cdot 10^{14}$ Гц. Затем частоту света уменьшили в 2 раза. В результате число фотоэлектронов, вылетевших из пластины,

- 1) уменьшилось до нуля
- 2) уменьшилось в 2 раза
- 3) увеличилось в 2 раза
- 4) не изменилось

Решение.

Для металлической пластины с работой выхода $4 \cdot 10^{-19}$ Дж красная граница фотоэффекта равна

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} = \frac{4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} \approx 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$$

Поскольку в изначальном эксперименте пластину освещали светом с частотой, большей чем ν_{\min} , фотоэффект наблюдался. После уменьшения частоты света вдвое, она стала равна $\frac{8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}}{2} = 4 \cdot 10^{14}$, то есть стала меньше, чем ν_{\min} . Следовательно, фотоэлектроны перестали вылетать с поверхности металла. Таким образом, число фотоэлектронов уменьшилось до нуля.

6. А 25 № 2318. Для наблюдения фотоэффекта взяли металлическую пластину с работой выхода $3 \cdot 10^{-19}$ Дж и освещали ее светом с частотой $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Затем частоту света уменьшили в 3 раза. В результате число фотоэлектронов, вылетевших из пластины,

- 1) уменьшилось до нуля
- 2) уменьшилось в 3 раза
- 3) увеличилось в 3 раза
- 4) не изменилось

Решение.

Для металлической пластины с работой выхода $3 \cdot 10^{-19}$ Дж красная граница фотоэффекта равна

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} = \frac{3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} \approx 4,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц.}$$

Поскольку в изначальном эксперименте пластину освещали светом с частотой, большей чем ν_{\min} , фотоэффект наблюдался. После уменьшения частоты света в 3 раза, она стала равна $\frac{6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}}{3} = 2 \cdot 10^{14}$ Гц, то есть стала меньше, чем ν_{\min} . Следовательно, фотоэлектроны перестали вылетать с поверхности металла. Таким образом, число фотоэлектронов уменьшилось до нуля.

7. А 25 № 2320. Работа выхода электронов для исследуемого металла равна 3 эВ. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих с поверхности металлической пластинки под действием света, длина волны которого составляет $\frac{2}{3}$ длины волны, соответствующей красной границе фотоэффекта для этого металла?

- 1) $\frac{2}{3}$ эВ
- 2) 1 эВ
- 3) $\frac{3}{2}$ эВ
- 4) 2 эВ

Решение.

Красная граница фотоэффекта определяется выражением $\lambda_{\max} = \frac{ch}{A_{\text{вых}}}$. По условию, пластинку

освещают светом с длиной волны $\lambda = \frac{2}{3} \lambda_{\max}$. Согласно уравнению Эйнштейна, энергия поглощенного фотона идет на работу выхода и на сообщение электрону кинетической энергии:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}} \Leftrightarrow \frac{3}{2} A_{\text{вых}} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}.$$

Отсюда заключаем, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна $E_{\text{кин}} = \frac{1}{2} A_{\text{вых}} = \frac{1}{2} \cdot 3 \text{ эВ} = \frac{3}{2} \text{ эВ}.$

Правильный ответ: 3.

8. А 25 № 2321. В некоторых опытах по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. Напряжение, при котором поле останавливает и возвращает назад все фотоэлектроны, назвали задерживающим напряжением.

В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины, в ходе которого было получено значение $h = 5,3 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Задерживающее напряжение U , В	?	0,6
Частота ν , 10^{14} Гц	5,5	6,1

Чему равно опущенное в таблице первое значение задерживающего потенциала? Ответ выразите в вольтах и округлите с точностью до десятых.

- 1) 0,4 В
- 2) 0,5 В
- 3) 0,7 В
- 4) 0,8 В

Решение.

Согласно теории фотоэффекта, энергия поглощенного фотона идет на работу выхода и на сообщение электрону кинетической энергии. Электрическое поле совершает отрицательную работу, тормозя электроны. Таким образом, для первой частоты света и первого задерживающего напряжения имеем $h\nu_1 = A_{\text{вых}} + eU_1$, а для второй частоты и второго напряжения: $h\nu_2 = A_{\text{вых}} + eU_2$. Решая эту систему, принимая во внимание полученное в ходе эксперимента значение постоянной Планка, получаем выражение для первого значения задерживающего потенциала

$$U_1 = U_2 - \frac{h}{e} (\nu_2 - \nu_1) = 0,6 \text{ В} - \frac{5,3 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} (6,1 \cdot 10^{14} \text{ Гц} - 5,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}) \approx 0,4 \text{ В}.$$

Правильный ответ: 1.

9. А 25 № 2322. В опытах по фотоэффекту пластину из металла с работой выхода $3,4 \cdot 10^{-19}$ Дж освещали светом частотой $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Затем частоту уменьшили в 2 раза, одновременно увеличив в 1,5 раза число фотонов, падающих на пластину за 1 с. В результате этого число фотоэлектронов, покидающих пластину за 1 с,

- 1) увеличилось в 1,5 раза
- 2) стало равным нулю
- 3) уменьшилось в 2 раза
- 4) уменьшилось более чем в 2 раза

Решение.

Для металлической пластины с работой выхода $3,4 \cdot 10^{-19}$ Дж красная граница фотоэффекта равна

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} = \frac{3,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} \approx 5,2 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Поскольку в изначальном эксперименте пластину освещали светом с частотой, большей чем ν_{min} , фотоэффект наблюдался. После уменьшения частоты

света в 2 раза, она стала равна $\frac{6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}}{2} = 3 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$, то есть стала меньше, чем ν_{min} . Следовательно, фотоэлектроны перестали вылетать с поверхности металла, не смотря на то, что число фотонов, падающих на пластину за 1 с, увеличили в 1,5 раза. Таким образом, число фотоэлектронов стало равным нулю.

Правильный ответ: 2.

Решение.

Длина волны света, скорость света и частота световой волны связаны соотношением $\lambda \nu = c$. При переходе света из воды в воздух частота световой волны не меняется. Таким образом, для длины волны света в воздухе имеем $\lambda_{\text{воздух}} = \frac{c}{\nu}$ (А — 4). Скорость света в воде в n раз меньше, чем в воздухе, так как вода — оптически более плотная среда, чем воздух: $c = n\nu$. Следовательно, для длины волны света в воде получаем выражением $\lambda_{\text{вода}} = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{n\nu}$ (Б — 1).

3. В 3 № 3151. Установите соответствие между физическими явлениями и их природой. К каждой позиции первого столбца подберите нужную позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

- А) звук
- Б) свет

ИХ ПРИРОДА

- 1) электрические колебания
- 2) электромагнитные колебания
- 3) механические колебания
- 4) электромеханические колебания

А	Б
?	?

Пояснение. Звук и свет — эти два явления знакомы нам с глубокого детства. Они так часто встречаются нам в жизни, что мы не задумываемся об их природе. Тем не менее, школа, с ее курсом физики, должна расставить все по местам. Сведения о природе звуковых и световых волн должны попасть в так называемые остаточные знания — те, которые остаются всегда при нас, когда многое уже забыто.

Решение.

Звук представляет собой механические колебания (А — 3). Свет является электромагнитным колебанием (Б — 2).