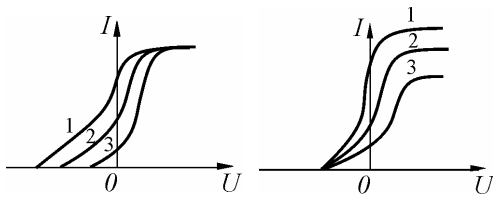


**Формула Планка. Світлові кванти.
Фотоефект. Закони фотоефекту**

415. Визначити енергію фотона, якщо довжина хвилі відповідного йому випромінювання дорівнює 760 нм.
416. Визначити довжину хвилі випромінювання, якщо енергія фотона, що відповідає цій довжині, становить $2,64 \cdot 10^{-19}$ Дж.
417. Визначити імпульс фотона, якщо довжина хвилі відповідного йому випромінювання дорівнює 331 нм.
418. Визначити імпульс фотона, якщо частота хвилі відповідного йому випромінювання дорівнює $4,3 \cdot 10^{14}$ Гц.
419. Визначити довжину хвилі, якщо імпульс відповідного цій довжині хвилі фотона дорівнює $1,1 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.
420. Визначити імпульс фотона, енергія якого дорівнює 3 еВ.
421. З якою швидкістю повинен рухатися електрон, щоб його імпульс дорівнював імпульсу фотона з довжиною хвилі $7,2 \cdot 10^{-7}$ м?
422. Визначити довжину хвилі випромінювання, якщо енергія фотона дорівнює енергії спокою електрона.
423. При якій швидкості електрон матиме енергію, що дорівнює енергії фотона з довжиною хвилі 200 нм?
424. Визначити довжину хвилі випромінювання, кванти якого мають енергію, що дорівнює кінетичній енергії електрона, який пройшов зі стану спокою прискорюючу напругу 5,1 В.
425. Під якою мінімальною напругою повинна працювати рентгенівська трубка, щоб спектр випромінювання містив промені з частотою $2 \cdot 10^{19}$ Гц?
426. Скільки фотонів за секунду випромінює нитка розжарення електричної лампочки потужністю 1 Вт, якщо середня довжина хвилі випромінювання 1 мкм?
427. Людське око має найвищу чутливість до зеленого світла з довжиною хвилі 550 нм. Воно починає реагувати на світло при потужності світлового потоку $2 \cdot 10^{-17}$ Вт. Скільки фотонів попадає на сітківку ока протягом 1 с?
428. Потужність лазера 100 Вт, довжина хвилі випромінювання 12 нм. Визначити кількість фотонів, що випромінює лазер протягом 1 с.
429. Джерело світла, потужністю 100 Вт випускає $5 \cdot 10^{20}$ фотонів за 1 с. Знайти середню довжину хвилі випромінювання.

430. Визначити ККД рентгенівської трубки, що випромінює за секунду $5 \cdot 10^{13}$ фотонів з довжиною хвилі $0,1 \text{ нм}$, якщо вона працює під напругою 50 кВ і споживає струм 1 мА .
431. Який знак заряду матиме незаряджена цинкова пластинка, якщо її короткочасно опромінити рентгенівськими променями? Променями жовтого кольору?
432. Цинкову пластинку заряджають і опромінюють світлом від електричної дуги. Як зміниться швидкість розрядження пластинки, якщо між джерелом світла і пластинкою розмістити світлофільтр, який затримує фіолетову ділянку спектра, якщо пластинка заряджена...
- а) ...негативно? б) ...позитивно?
433. Під час виготовлення фотографій у ХХ столітті у фотолабораторіях використовували червоне світло. Чому?
434. Якість шліфування поверхні деталей визначають, спрямовуючи на цю поверхню пучок світла, який, відбившись, падає на фотоелемент. На чому ґрунтується цей метод?
435. В турнікетах метро використовують фотоелементи. Поясніть принцип їх дії.
436. В чому відмінність між внутрішнім і зовнішнім фотоелементом?
437. Під час опромінення катода вакуумного фотоелемента монохроматичним світлом певної частоти з його поверхні вириваються фотоелектрони. Як зміниться фотострум насичення, робота виходу електронів з поверхні катода, максимальна кінетична енергія фотоелектронів та затримуюча напруга при збільшенні інтенсивності світлового потоку?
438. Під час опромінення катода вакуумного фотоелемента монохроматичним світлом певної частоти з його поверхні вириваються фотоелектрони. Як зміниться фотострум насичення, робота виходу електронів з поверхні катода, максимальна кінетична енергія фотоелектронів та затримуюча напруга при збільшенні частоти падаючого проміння за незмінної інтенсивності світлового потоку?

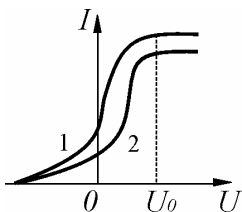
439. На малюнку 57 а, б відображено сімейства вольт-амперних характеристик вакуумного фотоелемента. Яке з цих сімейств відображає залежність фотоструму



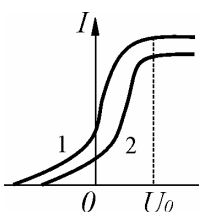
Мал. 57

насичення від значення світлового потоку за незмінної частоти?

440. На малюнку 58 а – в зображено вольт-амперні характеристики двох фотоелементів. Порівняти значення світлових потоків, частот світла, що опромінують фотоелементи, та максимальні кінетичні енергії фотоелектронів.

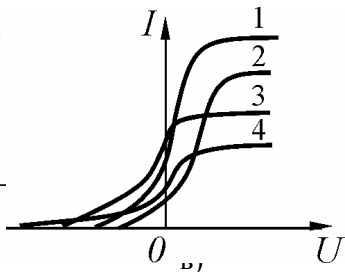


а)



б)

Мал. 58

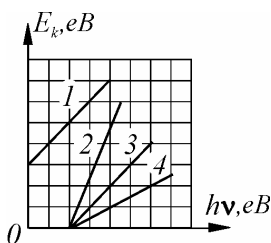


Мал. 59

441. Використовуючи сімейство вольт-амперних характеристик фотоелемента (мал. 59), вказати, який з графіків відповідає випадку...

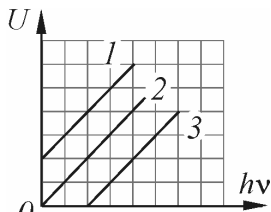
- ...опромінення катода променями найменшої довжини хвилі?
- ...виривання фотоелектронів з найменшим імпульсом?
- ...опромінення катода світловим потоком найменшої інтенсивності?

442. Які з графіків (мал. 60) відображають залежність максимальної кінетичної енергії фотоелектронів від енергії падаючих фотонів?



Мал. 60

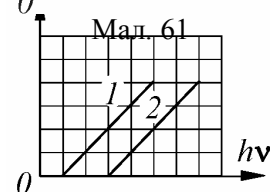
443. Який із графіків (мал. 61) відображає залежність гальмівної напруги фотоелемента від енергії падаючих фотонів?



Мал. 61

444. На малюнку 62 відображено залежність максимальної кінетичної енергії фотоелектронів від частоти падаючого світла для двох фотоелементів, катоди яких виготовлені з різних речовин. Використовуючи графіки, вказати...

- ...з поверхні якого катода робота виходу фотоелектронів менша;
- ...для якого катода довжина хвилі «червоної межі» менша.



Мал. 62

445. Енергія фотонів, що падають на пластинку з нікелю, дорівнює 6 еВ. Визначити роботу виходу електронів з поверхні нікелю в еВ, якщо максимальна кінетична енергія фотоелектронів при цьому становить 1,5 еВ.
446. Робота виходу електронів з поверхні катода фотоелемента, виготовленого з міді 4,4 еВ. Визначити максимальну кінетичну енергію фотоелектронів у джоулях, якщо опромінення катода відбувається потоком фотонів з енергією 5 еВ.
447. Робота виходу електронів з поверхні срібного катода фотоелемента дорівнює 4,3 еВ. Гальмуюча напруга, за якої припиняється струм через фотоелемент, становить 1,2 В. Визначити енергію падаючих фотонів у еВ.
448. Робота виходу електронів з поверхні катода фотоелемента становить 1 еВ. Катод опромінюється фотонами з енергією 3,2 еВ. Визначити гальмуючу напругу, за якої припиняється струм через фотоелемент.
449. При опроміненні металевої пластини фотоефект починається при найменшій частоті $1,0 \cdot 10^{16}$ Гц. Визначити роботу виходу електронів з поверхні пластини.
450. Довжина хвилі, що відповідає червоній межі фотоефекту з броміду срібла, дорівнює 300 нм. Визначити роботу виходу електронів з поверхні цього металу.
451. Визначити частоту випромінювання, яка відповідає червоній межі фотоефекту для платини.
452. Робота виходу електронів з поверхні цинку $5,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Чи відбувається фотоефект, якщо на цинк падатимуть світлові промені з довжиною хвилі $4,5 \cdot 10^{-7}$ м?
453. Визначити максимальну кінетичну енергію електронів, вирваних із катода фотоелемента, якщо затримуюча напруга становить 0,5 В.
454. Яку затримуючу напругу слід подати на фотоелемент, щоб електрони, вирвані випромінюванням із катода, не змогли створити струм у колі, якщо максимальна кінетична енергія фотоелектронів при опроміненні цим світлом $3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж?
455. Визначити максимальну кінетичну енергію електронів, що їх вириває з поверхні калію випромінювання з довжиною хвилі 345 нм.
456. На поверхню металу падає випромінювання з довжиною хвилі 200 нм. Визначити роботу виходу електронів з поверхні цього металу, якщо максимальна кінетична енергія фотоелектронів $2,5 \cdot 10^{-19}$ Дж.

457. Пластинка з цезію опромінюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі 400 нм. До якого максимального потенціалу зарядиться пластинка?
458. На фотоелемент падає світло, що має довжину хвилі 413 нм. Фотострум припиняється, коли затримуюча різниця потенціалів 1 В. Визначити роботу виходу електрона з поверхні катода в електрон-вольтах.
459. Світло якої частоти слід спрямувати на поверхню срібла, щоб максимальна швидкість вирваних фотоелектронів становила 10^6 м/с?
460. Найбільша довжина світлової хвилі, за якої може бути фотоэффект для вольфраму становить $2,75 \cdot 10^{-7}$ м. Визначити роботу виходу і найбільшу швидкість фотоелектронів, які вириваються з вольфраму світлом з довжиною хвилі $1,8 \cdot 10^{-7}$ м.
461. Вольфрамову пластинку освітлюють світлом з довжиною хвилі 200 нм. Визначити максимальний імпульс вирваних фотоелектронів.
462. Катод фотоелемента опромінюється світлом з частотою $1,2 \cdot 10^{15}$ Гц. При збільшенні частоти падаючого світла на катод у 2 рази, затримуюча напруга зросла у 3 рази. Визначити довжину хвилі світла, яка відповідає червоній межі фотоэффекту для даного катода фотоелемента.
463. При освітленні катода фотоелемента світлом з частотою $8 \cdot 10^{14}$ Гц, а потім з частотою $6 \cdot 10^{14}$ Гц, встановлено, що максимальна кінетична енергія фотоелектронів змінилася у 3 рази. Визначити роботу виходу електронів з поверхні катода в електрон-вольтах.

Приклад розв'язку завдань для тематичного контролю

Рівень А (початковий)

1. За яким з нижче наведених виразів можна визначити енергію кванта світла?

а) $\dots = \frac{hc}{\lambda}$; б) $\dots = k\lambda$; в) $\dots = \frac{h}{\lambda}$; г) $\dots = \frac{h\nu}{c}$.

2. Зміну напрямку поширення світла в оптично неоднорідному середовищі, показник заломлення якого змінюється плавно від точки до точки, називають...

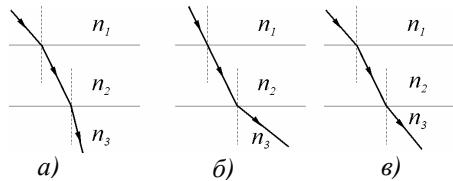
а) ... фотоефектом; б) ...інтерференцією; в) ...дифракцією; г) ...рефракцією.

3. Який розділ оптики розглядає світло як потік частинок – фотонів, які мають енергію, але не мають маси?

а) геометрична оптика; б) хвильова оптика; в) квантова оптика.

Рівень В (середній)

1. У якому випадку (мал. 1) відображено проходження світлового променя через прозорі середовища, якщо $n_1 = n_2 > n_3$?



Мал. 1

2. Дифракційна ґратка освітлюється світлом зеленого кольору.

При освітленні ґратки світлом фіолетового кольору відхилення дифракційного спектру цього ж порядку...

а) ...збільшиться; б) ...зменшиться; в) ...не зміниться.

3. Визначити граничний кут повного внутрішнього відбивання при переході світла з кварцу у воду.

Рівень С (достатній)

1. При якій швидкості електрони матимуть кінетичну енергію, що дорівнює енергії фотонів з довжиною хвилі 200 нм?
2. Що спостерігатиметься в точці, в якій перетинаються два когерентних світлових промені з довжиною хвилі 500 нм і різницею ходу 8 мкм?

Рівень D (високий)

1. Предмет і його зображення, отримане за допомогою збиральної лінзи з оптичною силою 8 дптр, однакові за розмірами. На яку відстань потрібно перемістити предмет, щоб його зображення у цій лінзі було зменшеним втричі?
2. Світло якої довжини треба спрямувати на поверхню цезію, щоб максимальна швидкість фотоелектронів становила $2 \cdot 10^6$ м/с?

Рівень А (початковий)

1. *a* 2. *г* 3. *в*

Рівень В (середній)

1. *б* 2. *б*
3.

$$\begin{array}{|l} \alpha_0 - ? \\ \hline n_1 = 1,54 \\ n_2 = 1,33 \end{array}$$

Розв'язання

З короткого фізичного довідника записуємо в умову абсолютні показники заломлення кварца n_1 і води n_2 . Граничний кут повного внутрішнього відбивання визначається співвідношенням $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$. Після

підстановки $\sin \alpha_0 = \frac{1,33}{1,54} \approx 0,86$. Тоді $\alpha_0 \approx 59,3^\circ$.

Рівень С (достатній)

- 1.

Розв'язання

$$\begin{array}{|l} \nu - ? \\ \hline \lambda = 200 \text{ нм} = \\ = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\ h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \\ m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \end{array}$$

Енергію фотонів можна знайти із співвідношення $E = h \frac{c}{\lambda}$. Тому в умову записуємо значення сталої Планка h і швидкості світла c . Кінетична енергія електронів $E = \frac{m_e \nu^2}{2}$. Масу електрона m_e теж записуємо в умову. Тоді $\nu = \sqrt{\frac{2E}{m_e}} = \sqrt{\frac{2hc}{\lambda m_e}}$. Після підстановки

$$\nu = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} \approx 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

- 2.

Розв'язання

$$\begin{array}{|l} n - ? \\ \hline \lambda = 500 \text{ нм} = \\ = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\ \Delta d = 8 \text{ мкм} = \\ = 8 \cdot 10^{-6} \text{ м} \end{array}$$

Запишемо формулу для визначення різниці ходу двох хвиль. $\Delta d = n \cdot \frac{\lambda}{2}$. Якщо n – парне ($n = 2k$), то спостерігатиметься інтерференційний максимум, якщо непарне ($n = 2k + 1$) – інтерференційний мінімум, де k – ціле число.

$n = \frac{2 \cdot \Delta d}{\lambda} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 3,2$. Оскільки це число не є парним і не є непарним, тому в точці перетину ні максимум, ні мінімум інтерференції не спостерігається.

- 1.

$$\begin{array}{|l} l - ? \\ \hline D = 8 \text{ дптр} \\ H = h \end{array}$$

Розв'язання

Оскільки висота зображення H і висота предмета h однакові, то однакові і відстані від предмета до лінзи і від лінзи до зображення: $d=f$. Формула лінзи $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$. Для нашого

2.

$\lambda - ?$

$$\begin{aligned}v &= 2 \cdot 10^6 \text{ м/с} \\ A &= 1,81 \text{ еВ} \\ h &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}\end{aligned}$$

Розв'язання

Запишемо рівняння Ейнштейна для фотоелектру

$$h \frac{c}{\lambda} = A + E_{k.\text{max}} \quad (1), \text{ де } E_{k.\text{max}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2}, \quad A - \text{робота виходу фотоелектронів з цезію, яку знаходимо в короткому фізичному довіднику. В умову записуємо значення сталої Планка } h, \text{ швидкості світла } c \text{ і маси електрона } m_e. \text{ З рівняння (1) } \lambda = \frac{hc}{A + E_{k.\text{max}}}.$$

Кінетична енергія фотоелектронів

$$E_{k.\text{max}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 4 \cdot 10^{12} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2} = 18,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Виразимо в джоулях роботу виходу

$$A = 1,81 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,896 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$\text{Тоді } \lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2,896 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 18,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} \approx 94,3 \text{ нм}.$$

Завдання для тематичного контролю (для самостійного розв'язку)

Рівень А (початковий)

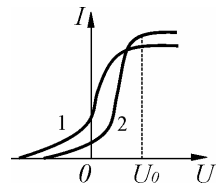
1. За яким з наведених виразів можна визначити збільшення лінзи?

$$a) \dots = \frac{1}{F}; \quad б) \dots = \frac{f}{d}; \quad в) \dots = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad г) \dots = \frac{1}{D}.$$

2. Явище, коли світло повністю відбивається від межі поділу із середовищем меншої оптичної густини, називають...
- а) ...повним внутрішнім відбиванням; б) ...поглинанням;
в) ...заломленням; г) ...розсіюванням.
3. У сучасній фізиці фотон розглядається як...
- а) ...електромагнітна хвиля; б) ...елементарна частинка;
в) ...квант електромагнітного випромінювання.

Рівень В (середній)

1. На малюнку 1 зображено вольт-амперні характеристики двох фотоелементів. Порівняти інтенсивності світла і частоти світлових хвиль, що падають на фотоелементи.
- а) частота більша у першого, інтенсивність-у другого;
б) частота більша у другого, інтенсивність-у першого;
в) інтенсивність і частота більша у другого.
2. Якого кольору будуть червоні квіти, якщо на них дивитися через зелене скло?
- а) червоного; б) зеленого; в) білого; г) чорного.
3. Червона межа фотоєфекту для алюмінію $1,03 \cdot 10^{15}$ Гц. Визначити роботу виходу електронів з алюмінію.



Мал. 1

Рівень С (достатній)

1. На якій відстані від середини центрального максимуму ґратки з періодом $2 \cdot 10^{-5}$ м утвориться перший дифракційний максимум, якщо відстань від ґратки до екрана 200 см, а довжина світлової хвилі 579 нм?
2. На дно акваріума з водою, помістили лампочку. Коли на поверхню води покляли непрозорий круг радіусом 10 см, жодний промінь не зміг вийти через поверхню води. Визначити глибину акваріуму.

Рівень D (високий)

1. Збиральна лінза дає чітке зображення на екрані предмета, розміщеного на відстані 20 см від неї. Предмет перемістили на відстань 25 см від лінзи. Якої оптичної сили лінзу слід розмістити поряд з першою, щоб знову отримати чітке зображення предмета на екрані?
2. Знайти ККД рентгенівської трубки, що випромінює за секунду 10^{13} фотонів з частотою $0,3 \cdot 10^{17}$ Гц, якщо вона працює під напругою 50 кВ і споживає струм 1 мА.