

У НОМЕРІ:

Читаємо листи

Малько В. В.

Опрацьовуючи нову програму. 7 клас 2

Проводимо контроль знань

Кіркоро М. В.

Динаміка. Контрольна робота. 10 клас 3

Фізика і лірика

Читаємо редакційні матеріали

Наближаємо майбутнє: інтернет-марафон
Видавничої групи «Основа»

«Інноваційні технології та методики освіти» 6

Обмінюємося досвідом

Редько Г. Б., Толпекіна Г. М.

Принцип розбіжностей та єдності
в методиці навчання фізики 8

Шукаємо матеріали до уроку

Ященко І. П.

Шкала електромагнітних хвиль 9

Махотка І. С.

Сонячні батареї 11

Готуємося до сучасного уроку

Бурдейна Л. В.

Сила пружності. Закон Гука. 7 клас 16

Безклубок С. Б.

Сила тяжіння. 7 клас 21

Курилюк Н. В.

Електризація тіл. Електричний заряд.
Взаємодія заряджених тіл. 8 клас 23

Зотова Н. В.

Розвиток ядерної енергетики в Україні.
9 клас 25

Боярчук М. О.

Планети-гіганти та їхні супутники.
11 клас 31

Це цікаво 20, 54

Вибудовуємо нестандартний урок

Кузнєцова Л. М., Глущенко С. В.

Значення сенсорних систем у житті людини. Фізика
та біологія. 9 клас 33

Сушинська І. Т., Валюх Г. Д.

Звук. Характеристики звуку. Вплив звуку
на живі організми. Фізика та біологія. 9 клас 37

Осійчук П. М.

Системи отримання та передачі інформації
у тваринному світі. Фізика та біологія. 9 клас 40

Проводимо фізичний експеримент

Хляпова І. О., Крамаренко Н. В.

Лабораторні роботи.
7 клас 51

Див, с. 2 >>>

З Новим роком — 2018!

Фізика — це наука, яка відповідає на запитання «чому?».
Річард Фейнман

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ЖУРНАЛ

ФІЗИКА
В ШКОЛАХ УКРАЇНИ

Учасник проекту: Фізико-математичний ліцей № 27 м. Харкова

Передплатні індекси

08417, 95936, 08418, 37058

Заснований у серпні 2003 р. Виходить двічі на місяць

№ 23-24 (339-340) грудень 2017 р.

ТЛУМАЧНИЙ СЛОВНИК ІЗ ФІЗИКИ ВІД «А» ДО «Я» Розділ VI. Оптика*

М. Г. Александров, М. П. Пугач, І. О. Руда, К. М. Стрюк, м. Харків

Турмалін — одноосовий кристал, у якому звичайний промінь поглинається в багато разів сильніше від незвичайного.

Після проходження через пластинку турмаліну природне світло стає частково поляризованим у площині головного перетину. Якщо пластинка досить товста (близько 1 мм), то в області видимого світла звичайний промінь поглинається практично повністю, так що минуле світло виявиться повністю лінійно поляризованим. Для деяких ділянок видимого спектру й незвичайний промінь зазнає помітне поглинання. Т. за належної товщини діє не тільки як поляризатор, але і як світлофільтр, що пропускає переважно жовто-блакитну область спектра. Це недолік турмаліну як поляризатора, зате апертура повної поляризації в нього дуже велика.

У

Узагальнена величина предмета / зображення — величина предмета / зображення, що має однакове позначення, але різний геометричний зміст і розмірність для близького й далекого типу предмета / зображення.

* Продовження. Початок див. у журналі «Фізика в школах України» № 17–18 (309–310), № 19–20 (311–312), № 21–22 (313–314) та № 23–24 (315–316) за 2016 р., № 1–2 (317–318), 3–4 (319–320), 5–6 (321–322), 7–8 (323–324), 9–10 (325–326), 11–12 (327–328), 13–14 (329–330), 15–16 (331–332), 17–18 (333–334), 19–20 (335–336) і 21–22 (337–338) за 2017 р., вкладки «Школа для вчителя» №: 83–97.

Узагальнене збільшення — відношення узагальної величини зображення до узагальної величини предмета.

Узагальнене положення зіниць — положення вхідного / вихідного вічка, що має однакове позначення, але різний геометричний зміст і розмірність для близького й далекого типу предмета / зображення.

Узагальнене положення предмета / зображення — положення предмета / зображення, що має однакове позначення, але різний геометричний зміст і розмірність для близького й дальнього типу предмета / зображення.

Ультрафіолетове випромінювання — див. *Випромінювання ультрафіолетове*.

Умови інтерференції — умова максимуму або мінімуму інтенсивності світла. Припустимо, що S_1 та S_2 — є джерелами двох когерентних хвиль, які накладаються в точці середовища A , яка перебуває на фіксованій відстані r_1 від джерела S_1 та на відстані r_2 від джерела S_2 (рис.). Тоді:

1. Умова інтерференційного максимуму:

Максимум інтенсивності світла в інтерференційній картині спостерігають у тих місцях, для яких оптична різниця ходу інтерферувальних променів дорівнює парному числу півхвиль:

$$\Delta = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

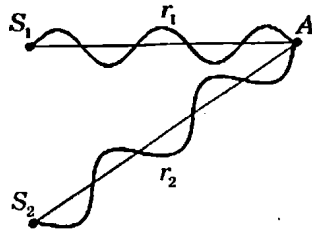
Коливання, що збуджуються в точці A обома хвилями від джерел S_1 і S_2 , які поширюються, перебувають в однаковій фазі (рис.).

2. Умова інтерференційного мінімуму:

Мінімум інтенсивності спостерігають за оптичної різниці ходу, що дорівнює непарному числу півхвиль:

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

Коливання, що збуджуються в точці A обома хвилями, які поширюються від джерел S_1 і S_2 , перебувають у протифазі (рис.).



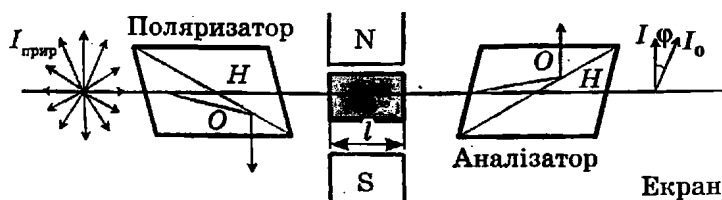
Ф

Фарадея й Верде дослід — явище, пов'язане з поворотом площини поляризації в оптично неактивних речовинах, розташованих у зовнішньому магнітному полі. Це явище виявив М. Фарадей (1846 р.), і тому воно іноді називається ефектом Фарадея. Якщо лінійно поляризоване світло поширюється в середовищі в напрямку магнітного поля, то відбувається поворот площини коливань на певний кут. Напрямок обертання площини залежить від напрямку магнітного поля й не залежить від напрямку поширення світла. Тому для спостереження ефекту Фарадея в полюсних наконечниках електромагніту просвердлюють отвір, крізь який пропускають промінь світла (рис.). Якщо спостерігач дивиться в напрямку магнітного поля, то повертання праворуч вважають додатним, а ліворуч — від'ємним. Досліди М. Фарадея та М. Верде показали, що кут повертання площини коливань пропорційний довжині шляху l променю в речовині й магнітній індукції B , тобто

$$\Phi = VIB,$$

де V — стала Верде.

Це явище входить до низки явищ, які підтверджують електромагнітну природу світла. Явище Фарадея й Верде зумовлюється виникненням асиметрії в оптичних властивостях речовини внаслідок дії магнітного поля.



■ Схема дослідів магнітного повороту площини поляризації

Ферма принцип — твердження, що промінь світла в неоднорідних середовищах поширюється таким шляхом, на проходження якого потрібен мінімум часу. За допомогою Ф. п. можна вивести закони відбивання й заломлення світла.

Фізична природа світла — дуалізм світла. 1905 року Альберт Ейнштейн, спостерігаючи фотоелектричний ефект, за якого атоми деяких металів випускають вільні електрони під впливом світла, яке падає на них, дійшов висновку про те, що промінь світла є не просто вільним електромагнітним випромінюванням, він складається з дискретних «енергетичних хвильових пакетів», названих фотонами. Згодом цей принцип був прийнятий у фізиці, але до останнього часу нікому ще не вдалося безпосередньо спостерігати так званий дуалізм — одночасне володіння властивостями хвилі й частинки, фотона світла. Нещодавно науковці зі Швейцарського федерального політехнічного університету Лозанни (Swiss Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, EPFL), Швейцарія, у ході досить складного експерименту вперше в історії отримали знімок цього явища.



У своєму експерименті група, яку очолював професор Фабріціо Карбоне (Fabrizio Carbone), використовувала надзвичайно короткий імпульс світла фемтосекундного лазера, спрямований на крихітні срібні нанопровідники, розташовані на поверхні графену, який виступав у ролі електричного ізолятора. Лазерне світло накачувало енергією цю систему, яка впливала на заряджені частинки в нанопровідниках, змушуючи їх вібрувати, у результаті чого нанопровідник перетворився на квазіодномірних плазмонів наноантени. Іншими словами, срібний нанопровідник діяв як крихітна антена, яка випромінює пакети електромагнітних хвиль, характеристики яких залежали від характеристик світла лазерного збудження. За рахунок такої взаємодії між матерією й світлом лазерне світло починало коливатися між двома

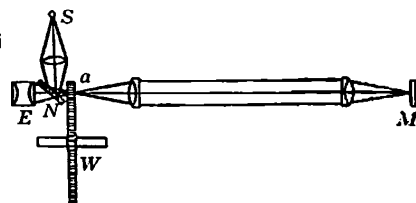
кінцями наноантени, що призвело до появи так званих плазмонів поляритонів електромагнітних хвиль, які поширюються вздовж поверхні переходу «метал — повітря» або «метал — діелектрик». Світло, що потрапило в область поляритону, почало поширюватись у двох протилежних напрямках. Відбившись від кінців нанопровідника, це світло перетнулося біля його середини, сформувавши стоячу хвилю. Ця стояча хвиля, що оперізує середину нанопровідника, і стала джерелом світла, використовуваного в експерименті. Після цього дослідники націлили промінь електронів в область стоячої хвилі світла навколо нанопровідника. Коли електрони потрапляли в цю область, вони стикалися з окремими фотонами світла, прискорюючись у результаті набування енергії від зіткнення або вповільнюючись у результаті втрати частини енергії. Потім за допомогою спеціального фільтра науковці вибрали тільки ті електрони, які прискорилися, тобто набули додаткову енергію в результаті зіткнення з фотонами. Промінь відфільтрованих електронів був сфокусований на датчику інструменту надшвидкісної електронної мікроскопії (UTEM, ultrafast transmission electron microscopy), який створив зображення, візуалізуючи безліч енергетичних станів електронів, які потрапляють у нього. І через деякий час інструмент UTEM відтворив повну картину стоячої хвилі, роблячи видимим саму фізичну природу хвилі світла. Одночасно з цим отримане зображення «висвітлює» корпускулярну сторону природи світла, демонструючи, що зміни у швидкості електронів, які взаємодіють із фотонами, мають також дискретизований характер, відповідний «квантам» енергії, переданим від фотонів до електронів. Це, своєю чергою, послужило доказом того, що світло, яке рухається поверхнею нанопровідника, поводить себе як частинки. «Наш експеримент доводить, що ми маємо можливість побачити безпосередньо квантову механіку та її парадоксальний характер», розповідає професор Карбоне. — Можливість побачити й контролювати квантові явища в субнанометровому масштабі відкриває для нас абсолютно нову дорогу на шляху до реалізації квантових технологій».

Фізична суть поляризації світла в кристалі — механізм, пов'язаний із взаємодією електричного поля світлової хвилі із зарядженими частинками кристалічної ґратки. Атоми або молекули ґратки під дією електричного поля світлової хвилі зміщуються, утворюючи змінний поляризаційний

струм, енергія якого перетворюється на енергію теплового руху частинок. Завдяки анізотропії кристала величина зміщень частинок ґратки, а тому й сила поляризаційного струму в різних напрямках різні. Тому з усіх електричних коливань у природному промені з найменшим поглинанням у кристалі будуть проходити тільки ті коливання, що відбуваються в напрямках мінімуму поляризаційного струму; до них зазвичай належать і проєкції на ці напрямки решти коливань. Таким чином, якщо світло проходить крізь кристал, то електричні коливання в ньому відбуваються в якійсь одній площині, світло стає поляризованим. Тому кристал має певне пропускання світлових коливань.

Фізо дослід — фундаментальний дослід з експериментального визначення швидкості світла виконаний А. І. Фізо в 1849 р. (рис. 1). Світло від джерела S , відбиваючись від напівпрозорого дзеркала D і звичайного дзеркала M , двічі проходило відстань MD (близько 8 км), яку виміряли заздалегідь із великою точністю. На шляху світлового пучка було змонтоване зубчасте колесо K , яке, обертаючись, періодично перекривало світловий промінь. Падаючи на зубець, відбитий промінь не досягав окуляра E , а, проходячи між зубцями, фіксувався спостерігачем. Отже, за відомою частотою обертання колеса, коли світло спостерігалось в окулярі, можна було визначити час проходження світлом MD . У результаті проведення дослідів встановлено значення швидкості світла $c = 313300 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

Рис. 1. Визначення швидкості світла методом «зубчастого колеса» (методом Фізо). S — джерело світла; W — зубчасте



колесо, що обертається зі змінною швидкістю обертання й точно відомою шириною зубців і проміжків між ними; N — напівпрозоре дзеркало; M — дзеркало, що відображає; MN — точно виміряна відстань (база); E — окуляр

Спостерігач реєструє в окулярі світло найбільшої яскравості, коли час проходження світлом відстані NM і назад дорівнює часу повороту зубчастого колеса на ціле число зубців (1, 2, 3 тощо). Пучок променів світла при цьому проходить

строго посередині між зубцями як на ділянці NM , так й у зворотному напрямку.

Другий дослід Фізо — дослід із визначення швидкості світла в рухомих середовищах (тілах), який здійснив у 1851 р. Луї Фізо.

Дослід демонструє ефект релятивістського складання швидкостей (рис. 2).

Промінь від джерела розділяється напівпрозорою пластинкою на два промені, один із яких, відбиваючись від дзеркал, проходить крізь воду в трубах у напрямку її руху, а другий — проти її руху.

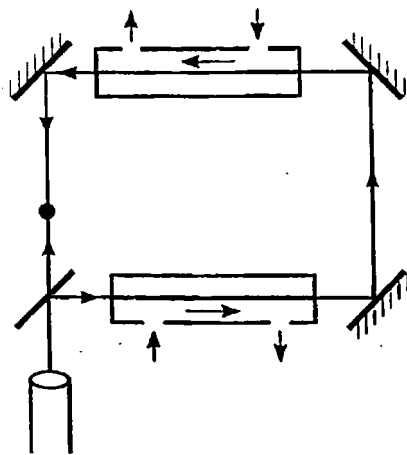


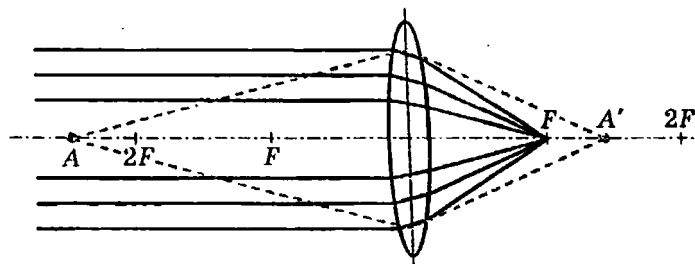
Рис. 2. Схема досліду Фізо

Після цього обидва промені потрапляють в інтерферометр, де й спостерігають інтерференційну картину. Вимірювання проводили спочатку в нерухомій воді, а потім — у рухомій. За зсувом інтерференційних смуг визначали різницю часів проходження променів у рухомому й нерухомому середовищі, а отже, і величина $\alpha = 1 - \frac{1}{n^2}$, яка наведена у формулі для швидкості світла V у середовищі. Якщо c — швидкість світла у вакуумі, а n — показник заломлення, то швидкість світла в нерухомому середовищі $c' = \frac{c}{n}$. Якщо середовище рухається відносно лабораторної системи відліку зі швидкістю u , тоді швидкість світла

Флуоресценція — різновид люмінесценції, який характеризується малою тривалістю випромінювання (час люмінесцентного випромінювання світла одного порядку з часом збудження атомів $\sim 10^{-6} - 10^{-9}$ с). Флуоресценція зумовлена переходом атомів із збудженого стану в нормальний, минаючи так звані метастабільні стани. Спостерігається в газах, розчинах органічних речовин, у деяких кристалах. Наприклад, під дією сонячного світла газ дає легке голубе люмінесцентне світіння.

Фокальна площина — площина, якій належать усі фокусні лінзи чи сферичні дзеркала. Ф. п. перетинає головну оптичну вісь перпендикулярно до осі в точці фокуса головного. Сферичні дзеркала мають одну Ф. п., лінзи мають дві Ф. п. — передню й задню, розташовані симетрично відносно лінзи.

Фокус — точка, у якій зосереджуються всі паралельні промені або їх продовження (уявний фокус) після відбивання світла (дзеркало сферичне) або заломлення світла (лінза, лупа).



Збиральна лінза має властивість збирати промені, які виходять з однієї точки. Якщо на деякій відстані перед лінзою розташувати точку A , то промені, що виходять із цієї точки, проходять через лінзу, заломлюючись до оптичної осі й збираючись у точці A' . Ця точка називається спряженим фокусом до точки A . Якщо віддаляти точку A від лінзи, то точка A' переміщується ближче до лінзи, і навпаки. Якщо ж точка A перебуває

У досліді Фізо в якості середовища виступала проточна вода зі швидкістю $u = 7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Спочатку та-

ку залежність швидкості світла V від швидкості середовища й коефіцієнта заломлення інтерпретували в рамках класичного складання швидкостей. У цьому випадку результат експерименту можна пояснити, якщо вважати, що світло частково захоплюється середовищем: $V = c' \pm au$. Знаки «+» і «-» відповідають однаковим і протилежним на-

нескінченно далеко від лінзи, то промені від неї будуть паралельними, а точка A' називатиметься головним фокусом лінзи, а відстань до неї — головною фокусною відстанню.

Фокусна відстань — відстань від вершини сферичного або оптичного центра лінзи до головного фокуса.

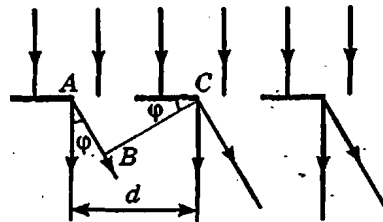
Формула для визначення довжини хвилі, отриманої за допомогою дифракційної ґратки

Під час падіння на ґратки пучка паралельних променів перпендикулярно до площини ґраток (плоскої хвилі), світло від кожної щілини завдяки дифракції іде пучком, розсіяним у всіх напрямках (рис.).

$AC = d$, AB — різниця ходу.

$$AB = d \sin \varphi,$$

$$AB = n\lambda, \lambda = \frac{d \sin \varphi}{n}.$$



Оскільки відстань до екрана порівняно зі сталою ґраток надзвичайно велика, то всі промені з різних щілин, які відхилені від початкового напрямку на кут φ і падають в одну точку екрана, можна вважати паралельними.

Формула Ейнштейна для фотоефекту — формула для визначення кванта енергії фотона за зовнішнього фотоефекту:

$$\frac{m_e v_{\max}^2}{2} = h\nu - A,$$

де h — Планка стала, ν — частота електромагнітного випромінювання, що спричиняє фотоефект, A — робота виходу електрона з металу,

$\frac{m_e v_{\max}^2}{2}$ — максимальна кінетична енергія фотоелектрона. Формула є наслідком закону збереження й перетворення енергії: квант енергії фотона, що поглинається за зовнішнього фотоефекту, витрачається на виконання роботи виходу електрона з катода й надання йому кінетичної енергії. За умови, що енергія фотона дорівнює роботі виходу електронів, ця формула стає визначальною для червоної межі фотоефекту.

Формула сферичного дзеркала — формула, яка пов'язана з параметрами дзеркала.

З подібних трикутників (у кольорі):

$$\frac{d}{AB} = \frac{f}{A_1 B_1}.$$

З подібних трикутників (BPA) та ($PA_1 B_1$):

$$\frac{F}{AB} = \frac{f - F}{A_1 B_1}.$$

З отриманих співвідношень отримуємо

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}.$$

Формула сферичного дзеркала.

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}.$$

Для тонких лінз справедлива формула

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2},$$

де d_1 — відстань від предмета до лінзи, d_2 — відстань від лінзи до зображення предмета.

Під час використання формули тонкої лінзи прийнято таке правило знаків:

- $f > 0$, якщо лінза збиральна;
- $f < 0$, якщо лінза розсіювальна;
- $d_1 > 0$, якщо зображення дійсне;
- $d_2 < 0$, якщо зображення уявне.

Формула тонкої лінзи — формула, яка встановлює зв'язок між відстанню від предмета до лінзи, відстанню від лінзи до зображення на екрані й фокусною відстанню, тобто розташування предмета і його зображення. Формула має вигляд

$$\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \pm D,$$

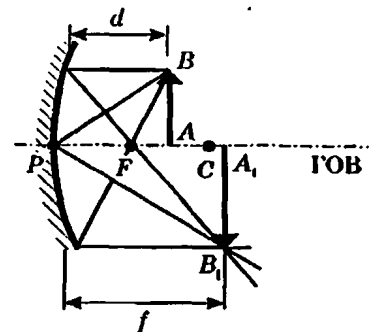
де d — відстань від предмета до лінзи, f — відстань від лінзи до зображення на екрані, F — фокусна відстань.

Користуючись формулою, слід враховувати правило знаків:

- 1) якщо лінза розсіювальна, то величину F беруть зі знаком «-»;
- 2) якщо лінза дає уявне зображення, то і f також беруть із «-»;
- 3) якщо предмет уявний (наприклад, у системі лінз), то і d беруть зі знаком «-».

Якщо h — висота предмета, а H — висота зображення, то можна знайти збільшення лінзи.

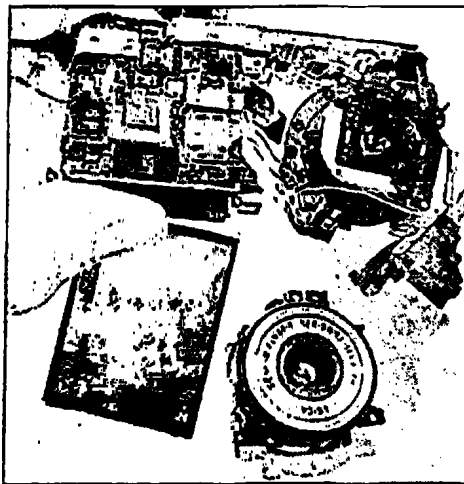
Фосфоресценція — різновид люмінесценції, що характеризується тривалим (понад 10^{-4} с) світінням після припинення дії збудника люмінесцентного випромінювання світла. Фосфоресценція



може відбуватися протягом кількох годин і навіть діб. Вона зумовлена наявністю метастабільних атомів, у яких вони перебувають досить тривалий час, поки не дістануть додаткового збудження, наприклад теплового, яке повертає їх у нормальний стан. Спостерігають за опромінення світлом деяких твердих тіл, наприклад кристалів сірчистого цинку.

Фотоапарат — оптичний прилад для одержання зображень, які фіксують на фотоплівці чи фотопластинці. Зменшене перевернуте зображення предмета проектується за допомогою об'єктива на фотоплівку (фотопластинку), розташовану в задній частині світлонепрозорої камери. Предмет розташовують на відстані, що перевищує подвійну відстань об'єктива. Наведенням на різкість (за допомогою об'єктива) досягають, щоб зображення предметів, які перебувають на різних відстанях від об'єктива, одержували на фотоплівці. Об'єктив фотоапарата являє собою систему з багатьох лінз. Його основні параметри — фокусна відстань і світлосила. Світлосила характеризує освітленість зображення, яке забезпечується поданням об'єктивом. Геометрична світлосила прямо пропорційна квадрату діаметра об'єктива й обернено пропорційна квадрату його фокусної відстані. Фізична світлосила враховує втрати світлової енергії на поглинання й відбивання в оптичній системі.

Фотоапарат цифровий — фотоапарат, у якому для запису оптичного зображення замість світлочутливого матеріалу використовують напівпровідникову фотоматрицю й цифровий запам'ятовувальний пристрій. Аналоговий сигнал із матриці за допомогою АЦП перетворюється на цифрові файли й записується на накопичувач у фотоапараті або іншому зовнішньому пристрої.



■ Розібраний цифровий фотоапарат

Фотоелемент — це пристрій, у якому світлова енергія перетворюється на електричну.

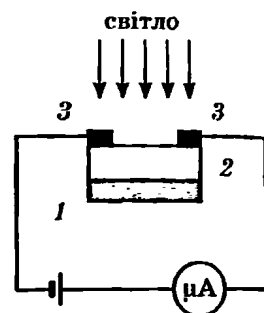
Типи фотоелементів:

- із зовнішнім фотоелементом (вакуумні та газонаповнені),

- з внутрішнім фотоелементом (фотоопори),
- вентильні фотоелементи.

Фотоелементи з внутрішнім фотоелементом (фотоопори) — прилади, дія яких ґрунтується на зміні опору напівпровідника під дією світла. Найчастіше застосовують для цього сульфат свинцю (фотоопори ФС-А), сульфат кадмію (ФСК-М), сульфід кадмію (ФМК) тощо. У цьому разі електрони не вириваються з речовини, а лише переходять із заповненої зони в зону провідності, збільшуючи електропровідність напівпровідника. Електропровідність, що виникає під дією світла, називається фотопровідністю. Виготовляють фотоопори або з чистих напівпровідників, або з напівпровідників із домішками.

Фотоопори, як і інші фотоелементи, характеризуються селективним сприйняттям світла, тобто в них світло однакової інтенсивності, але різної довжини хвилі, зумовлює неоднакові струми. Будову фотоопорів показано на рис. 1. На ізоляційну підкладку 1 наносять напівпровідникову речовину 2; на кінцях її (речовини 2) випаровуванням у вакуумі напильють металеві електроди 3. Ці електроди забезпечують надійний електричний контакт із напівпровідником. Для захисту від шкідливого впливу навколишнього повітря фоточутливу поверхню фотоопору покривають прозорою плівкою лаку.

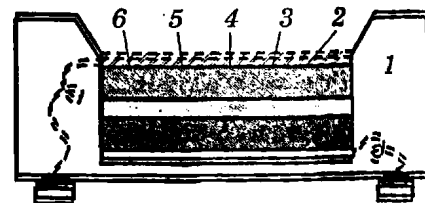


■ Рис. 1

Особливістю фотоопорів є відсутність полярності (однаково проводять струм в обох напрямках), вони мають високу чутливість (у 10^5 більшу, ніж фотоелементи із зовнішнім фотоелементом), строк їх служби практично необмежений. Використовували найчастіше під час виготовлення фотореле.

Фотоелементи вентильні — це прилади, у яких ЕРС виникає під дією світла. Будуються на влас-

тивостях $p-n$ -переходу; під дією світла електрони проходять через запірний шар, і на межі двох напівпровідників із різним типом провідності виникає



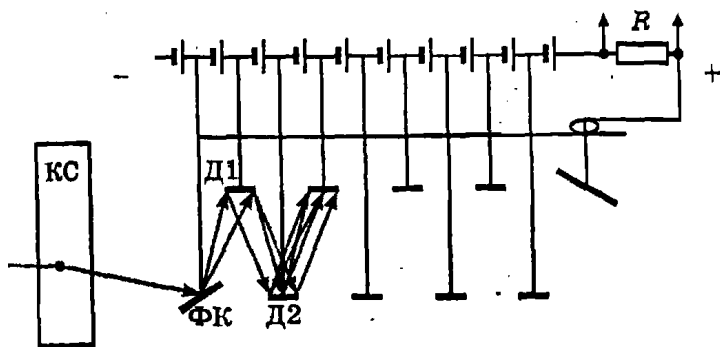
■ Рис. 2

ЕРС. Найефективнішими є селенові, сірчистосрібні — ФЕСС, кремнієві й германієві фотоелементи.

Розглянемо технологію виготовлення вентильних фотоелементів (рис. 2). Спочатку з металевої пластинки товщиною 1–2 мм штампують круглий диск 6 — підкладку. На неї наносять шар напівпровідника 5 випаровуванням у вакуумі (0,1 мм завтовшки), після чого цю основну частину фотоелемента піддають термічній обробці. Мета цієї обробки — утворити *p-n*-перехід. Якщо *p-n*-перехід утворюється біля підкладки, то за нанесення на напівпровідник верхнього електрода беруть метал, на межі з яким запірний шар не утворюється. Можна вибрати такі матеріали для підкладки 6 і верхнього електрода 2, що запірний шар 4 буде утворюватися біля верхнього металевого електрода. Верхній електрод роблять напівпрозорим (способом випаровування або катодного розпилення), щоб крізь нього в напівпровідник проходило світло. Зовнішню поверхню елемента покривають лаком із метою його захисту від дії повітря й вологи. Весь фотоелемент кріпиться в пластмасовому корпусі 1.

Вентильні фотоелементи мають велике майбутнє як один із засобів безпосереднього перетворення світлової енергії на електричну. Вони використовуються в штучних супутниках і космічних кораблях як джерела живлення радіоапаратури, у вимірювальній техніці, автоматичній тощо.

Фотоелементи із зовнішнім фотоелементом — фотоелементи зі скла, які використовують для перетворення світлової енергії на електричну.



■ Рис.

Фотоелементи із зовнішнім фотоелементом складаються із скляного балона, з якого викачано повітря. Катодом у ньому є частина внутрішньої поверхні балона, укрита світлочутливим шаром (здебільшого з окислів лужних металів Cs, Rb, R, Na); катод освітлюється через прозору частину балона. Анодом є напівсферична металева ложечка, розташована в центрі балона. Катод і анод з'єднані з двома штирками, за допомогою яких

фотоелемент включається в електричне коло. Щоб збільшити фотострум унаслідок йонізації газу, фотоелементи наповнюють інертним газом. Існують такі сучасні фотоелементи та їх маркування: СЦВ-4 (сурм'яноцезієвий вакуумний) і ЦГ-3 (цезієвий газонаповнений). За робочої напруги 240 В чутливість вакуумного фотоелемента становить $8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{А}}{\text{лм}}$.

Вони використовуються у звуковому кіно, різних системах автоматики та телемеханіки, на телебаченні. Проте незначна величина фотоструму у фотоелементах із зовнішнім фотоелементом потребує підсилення. Дуже ефективним підсилювачем фотоструму є так званий фотопомножувач Кубецького. Учений для підсилення фотоструму використав явище вторинної електронної емісії на серії послідовно розміщених електродів-емітерів (рис.). Кожен електрон, що вибивається світлом із катода, прискорюється й за потрапляння на перший емітер вибиває з нього кілька електронів, які знову прискорюються і, потрапляючи на наступний емітер, знову збільшують загальний потік електронів тощо.

Фотоелемент — явище «вибивання» світлом електронів із металів, тобто повне або часткове вивільнення електронів від зв'язків із ядрами атомів речовини внаслідок дії на неї електромагнітного проміння (світла, рентгенівського чи гамма-променів).

Розрізняють: зовнішній фотоелемент — вибивання електронів під дією світла (фотоелектронна емісія), гамма-випромінювання тощо; внутрішній фотоелемент — збільшення електропровідності напівпровідників або діелектриків під дією світла (фотопровідність); вентильний фотоелемент — збудження світлом електрорушійної сили на межі між металом і напівпровідником або між різнорідними напівпровідниками (*p-n*-перехід).

Фотоелемент застосовують у ряді аналізаторів речовини.

Дослідження фотоелемента дозволили сформулювати три його характерні закони:

1. Кількість фотоелектронів прямо пропорційна інтенсивності світла.
2. Максимальна кінетична енергія фотоелектронів не залежить від інтенсивності світла, кінетична енергія фотоелектронів прямо пропорційна частоті світла.
3. Для кожної речовини існують порогові значення частоти та довжини хвилі світла, які

відповідають межі існування фотоефекту; світло з меншою частотою та більшою довжиною хвилі не викликає фотоефекту.

Оскільки це порогове значення завжди ближче до червоного світла, то йому дали назву «червона межа фотоефекту». Зрозуміло, що червона межа фотоефекту існує завдяки притягуванню електронів до ядер. Разом із тим останній закон не можна пояснити на основі уявлення про світло як неперервні плавні коливання у вакуумі-ефірі: такі хвилі мали довго розгойдувати електрони до того моменту, коли швидкість останніх стала б достатньою для відриву від металу. Повне пояснення фотоефекту належить Альберту Ейнштейну, який використав ідею німецького фізика Макса Планка про те, що світло випромінюється й поширюється окремими порціями — квантами, які дістали назву фотонів. Для обчислення енергії кванта світла Макс Планк запропонував просту формулу:

$$E = h\nu,$$

де E — енергія фотона, h — стала Планка, ν — лінійна частота.

Щоб вивільнити електрон із металу, йому необхідно передати енергію, більшу за роботу виходу. Теоретичне пояснення явища дав Ейнштейн, за що отримав Нобелівську премію. Ейнштейн використав гіпотезу Макса Планка про те, що світло випромінюється порціями (квантами) з енергією, пропорційною частоті. Припустивши, що світло й поглинається такими ж порціями, він зміг пояснити залежність швидкості вибитих електронів від довжини хвилі опромінення.

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A,$$

де A — робота виходу електрона з металу. Робота Ейнштейна мала велике значення для розвитку ідей квантової механіки взагалі та квантової оптики зокрема.

Фотоефекта застосування — використання фотоефекту в науці й техніці для реєстрації та зміни світлових потоків, для перетворення енергії світла на енергію електричного поля. Використання фотоефекту дало змогу створити звукове кіно й телебачення, уможливило бачення в темряві. Використовують фотоелементи із зовнішнім фотоефектом, у яких світлова енергія, що падає на поверхню катода, перетворюється на енергію електричного струму. Електричний опір напівпровідників зменшується під час опромінювання, цю властивість використовують у фотоопорах.

Виникнення електрорушійної сили (ЕРС) під час опромінювання області контакту двох різних напівпровідників використовують у фотодіодах для безпосереднього перетворення світлової енергії на електричну. Фотоелектронні помножувачі, які посилюють у багато разів початковий фотострум, дають змогу реєструвати випромінювання дуже малої інтенсивності — навіть в один квант.

Фотоефект внутрішній — перерозподіл електронів за енергетичними станами в рідинах і твердих тілах за опромінення ними електромагнітного випромінювання. Опромінені електрони залишаються в тілі, але переходять у якісно новий стан — стають вільними, утворюючи пару «електрон — дірка». На межі двох напівпровідників у контактному $p-n$ -переході вони розділяються електричним полем, утворюючи електрорушійну силу (фото ЕРС). Це явище призводить до прямого перетворення енергії світла на електричну енергію й використовуване у фотоелементах, напівпровідникових електронних приладах.

Фотоефект зовнішній — виривання електронів із поверхні рідини або твердих тіл під дією електромагнітного випромінювання. Цей ефект є результатом поглинання електронами речовини фотона, енергія якого більша за роботу виходу. Одним із перших фундаментальних досліджень зовнішнього фотоефекту зробив О. Г. Столетов (1988 р.), за їх результатами пізніше були сформульовані закони фотоефекту. Зовнішній фотоефект широко використовувався у техніці для створення фотоелектронної емісії.

Фотолюмінесценція — люмінесцентне світіння речовин за її опромінення видимим світлом, ультрафіолетовим, рентгенівським або гамма-випромінюванням. За фотолюмінесценції речовина випромінює світло, що має, як правило, більшу довжину хвилі, ніж світло, що її збуджує. Проте в окремих випадках це правило порушується й відбувається так зване антистоксове світіння, яке має меншу довжину світлової хвилі, ніж у світла, що його збуджує.

Фотометр — прилад, який ґрунтується на способі порівняння освітленості двох різних джерел і законах освітленості Ламберта. Випромінювання двох джерел можна порівнювати за допомогою чутливих фотоелементів, болометрів і термостовпчиків (для повного поглинання світла поверхня болометра й внутрішні спаї зачорнюють) та візуальним способом.

Далі буде... ☼