

(29). РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО ПРИРОДУ СВІТЛА.

Оптика вивчає поширення світла і його взаємодію з речовинами. Слово "оптика" походить від грецького слова "оптікос" і означає "зоровий".

1. Розвиток поглядів на природу світла

Від джерела світла, наприклад від лампочки, світло поширюється в усі боки й падає на предмети навколо, спричиняючи, зокрема, їх нагрівання. Потрапляючи в око, світло спричиняє зорове відчуття – ми бачимо. Можна сказати, що під час поширення світла передається енергія від одного тіла (джерела) до іншого (приймача).

Взагалі ж одне тіло може діяти на інше двома різними способами: або перенесенням речовини від джерела до приймача, або ж зміною стану середовища між тілами (без перенесення речовини), наприклад, через хвильовий процес.

2. Корпускулярна і хвильова теорії світла

Відповідно до двох можливих способів передавання енергії від джерела до приймача виникли й почали розвиватися дві зовсім різні теорії про світло, його природу. Причому виникли вони майже одночасно в XVII ст.

Одна теорія зв'язана з ім'ям Ньютона, а друга – з ім'ям Гюйгенса.

Ньютон дотримувався так званої **корпускулярної теорії світла, за якою світло – це потік частинок (корпускул), що йдуть від джерела в усі боки (перенесення речовини)**.

Гюйгенс створив **хвильову теорію світла**. За уявленнями Гюйгенса, **світло – це хвилі, що поширюються в особливому, гіпотетичному середовищі – ефірі, який заповнює уесь простір і проникає всередину всіх тіл**.

Обидві теорії тривалий час існували паралельно. Жодна з них не могла перемогти. Лише авторитет Ньютона змушував більшість учених віддавати перевагу корпускулярній теорії. Відомі на той час із досліду закони поширення світла більш або менш успішно пояснювались обома теоріями.

На основі корпускулярної теорії було важко пояснити, чому світлові пучки, перетинаючись у просторі, ніяк не діють один на одного. Адже світлові частинки повинні стикатися й розсіюватися.

Хвильова ж теорія це легко пояснювала. Хвилі, наприклад, на поверхні води вільно проходять одна крізь одну, не впливаючи взаємно.

Проте за хвильовою теорією важко пояснити прямолінійне поширення світла, яке приводить до утворення за предметами різких тіней. За корпускулярною ж теорією прямолінійне поширення світла — це просто наслідок закону інерції.

Таке непевне становище щодо природи світла тривало до початку XIX ст., коли були відкриті явища огинання світлом перешкод (**дифракція**) та посилення або послаблення світла від накладання світлових пучків (**інтерференція**). Ці явища властиві тільки хвильовому рухові. Пояснити їх за корпускулярною теорією не можна. Тому здавалося, що хвильова теорія остаточно перемогла.

Така впевненість особливо зросла після того, як Максвелл у другій половині XIX ст. показав, що світло є окремим випадком електромагнітних хвиль. Праці Максвella заклали основи **електромагнітної теорії світла**.

Після того, як Герц експериментально виявив електромагнітні хвилі, ніяких сумнівів у тому, що під час поширення світло поводиться як хвилі, не лишилося. Немає їх і тепер.

3. Сучасні погляди на природу світла.

Але на початку ХХ ст. уявлення про природу світла почали докорінно змінюватися. Несподівано з'ясувалося, що відкинута корпускулярна теорія все-таки має під собою основу. Виявилося, що під час випромінювання і поглинання світло поводиться подібно до потоку частинок.

Було виявлено переривчасті, квантові властивості світла. Виникла незвичайна ситуація: явища інтерференції і дифракції, як і раніше, можна було пояснити, вважаючи світло хвилею, а явища випромінювання і поглинання – вважаючи світло потоком частинок.

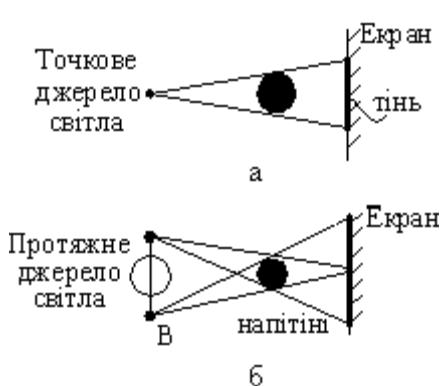
Згідно сучасних уявлень: для світла характерний корпускулярно-хвильовий дуалізм (двоїстість): маючи електромагнітну природу, світло володіє як властивостями хвиль, так і властивостями частинок.

Частинки світла називають **фотонами** або **квантами світла**.

4. Прямолінійне поширення світла.

Під світлом часто розуміють ці електромагнітні хвилі, довжина яких становить приблизно від 700 до 400 нм, тобто ці, які сприймаються оком людини. Сучасна оптика вивчає хвилі і меншої довжини – (ультрафіолетові), і більшої – (інфрачервоні). **Тіло, яке випромінює світло, називають джерелом світла.** Джерела світла розрізняють за багатьма параметрами, наприклад, штучні і природні, теплові і нетеплові тощо. Джерела світла можуть бути **точковими** і **масивними**, випромінювати **біле** світло і **монохроматичне** (одного кольору).

Оскільки світло є електромагнітною хвилею, то в однорідному середовищі воно поширяється рівномірно і прямолінійно. Це дозволяє використовувати пучки світла для точних робіт (будівництва тунелів, високих будинків і т.п.).



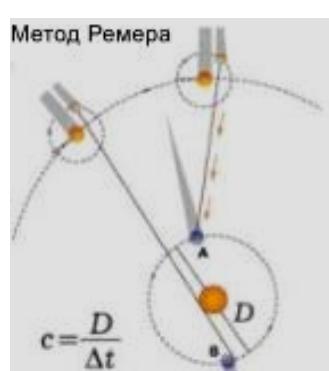
Прямолінійне поширення світла від точкового джерела утворює різкі контури тіней - зон, куди не потрапляють промені від частин поверхонь джерела світла (рис.а). Якщо джерело світла протяжне, то утворюються також зони півтіней, куди попадають промені від частин поверхні джерела світла (рис. б).

5. Швидкість світла та її вимірювання.

Швидкість світла у вакуумі дорівнює граничній швидкості для будь-якого матеріального тіла і дорівнює швидкості поширення електромагнітної хвилі $v_{\text{св}} = 3 \cdot 10^8$ м/с.Хоча ця швидкість є дуже великою, але вона скінчена. Рухаючись із такою швидкістю, світло від Місяця (відстань 380000 км) доходить до Землі за 11,3 с, від Сонця (відстань 150 млн. км) – за 8 хв.; а від віддалених зірок і галактик може йти до Землі мільйони років.



На різних етапах розвитку фізики використовували різні способи вимірювання швидкості світла. Першим її спробував розрахувати Галілей аналогічно до визначення швидкості звуку, але йому не вдалось цього зробити.



У XVII ст. швидкість світла визначив датський астроном Ремер, вивчаючи рухи супутника Юпітера – Іо. Реєструючи появу супутника із-за планети, він отримав приблизні дані швидкості світла $v_{\text{св}} \approx 215000$ км/с. У XIX ст. було вперше визначено лабораторним шляхом. Цей експеримент поставив французький фізик І. Фізо 1849 року.

Було розроблено й чимало інших, точніших лабораторних методів вимірювання швидкості світла. Зокрема, американський фізик А. Майкельсон розробив досконалій метод вимірювання швидкості світла, застосувавши обертові дзеркала.

Швидкість світла вимірювали в різних прозорих речовинах. Швидкість світла у воді виміряли 1856 року. Як виявилось, вона в $4/3$ рази є меншою, ніж у вакуумі. В усіх інших речовинах вона також менша, ніж у вакуумі.

За сучасними даними швидкість світла у вакуумі дорівнює $299792458 \pm 1,2$ м/с. Можна вважати, що швидкість світла приблизно дорівнює $3 \cdot 10^8$ м/с. Вона є граничною швидкістю руху елементарних частинок і поширення будь-яких сигналів.

(29). ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

Оптику поділяють на *геометричну* та *фізичну*.

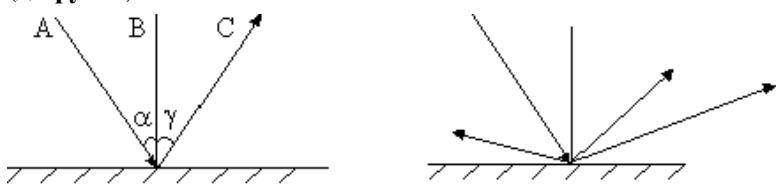
Фізична оптика поділяється на *хвильову* та *квантову*. У **хвильовій оптиці** розглядаються явища, в яких проявляється хвильова природа світла (дисперсія, інтерференція, дифракція). Основним поняттям хвильової оптики є поняття електромагнітної хвилі.

У **квантовій оптиці** розглядаються явища, в яких проявляється квантова природа світла (**квант** – порція енергії). З точки зору квантової оптики світло є потоком фотонів з енергією $\varepsilon = h\nu$ та імпульсом $P = \frac{h\nu}{c}$, де $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка, ν – частота світла, c – швидкість світла у вакуумі ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с). Основним поняттям квантової оптики є поняття фотона. **Фотон** – це окрема назва світлового кванта.

Геометричною оптикою називається розділ оптики, в якому вивчаються закони поширення світлової енергії в прозорих середовищах на основі уявлень про світловий промінь.

Промінь – це напрям поширення світла. Тому світлові явища в геометричній оптиці визначаються законами геометричної оптики, що аналізуються ходом світлових променів у просторі.

Закони відбиття світла. Як і будь-яка хвilia, світло, маючи на своєму шляху перешкоду, може відбитись від неї. Якщо нерівності на перешкоді є значно меншими від довжини хвилі, то відбиття буде **дзеркальним**. Якщо нерівності є більшими за довжину хвилі – відбиття розсіяне (дифузне).



напереду поставленим в точці падіння променем AO і називають **кутом між відбитим променем OC і тим же напереду поставленим променем OB** .

Під час падіння світлових променів на ідеально плоску межу розділу двох середовищ відбуваються явище **відбиття світла**. Кутом падіння α називають **кут між падаючим променем AO і**

У разі дзеркального відбиття виконуються закони відбиття світла:

1) **падаючий промінь і напереду поставлений у точці падіння промінь до відбиваючої поверхні, лежать в одній площині;**

2) **кут падіння дорівнює куту відбиття: $\alpha = \gamma$**

Закони відбиття справедливі у разі оберненого напряму ходу світлових променів. Промінь, що поширюється по шляху відбитого променя, відбувається по шляху падаючого.

Закони заломлення світла. Абсолютний і відносний показники заломлення.



Другим важливим явищем геометричної оптики є **заломлення світла** – це зміна напряму поширення світла при його переході через межу двох прозорих середовищ (крім випадку, коли промені падають на межу розділу напереду поставлено).

Закони заломлення формулюються так:

1) **падаючий промінь, заломлений промінь і напереду поставлений у точці падіння промінь до межі поділу двох прозорих середовищ, лежать в одній площині.**

2) **відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є сталою величиною для розділюваних двох середовищ:**
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1},$$

де v_1 – швидкість світла в першому середовищі; v_2 – швидкість світла в другому середовищі; $n_{2,1}$ – **відносний показник заломлення** світла другого середовища відносно першого.

Фізичний зміст відносного показника заломлення: відносний показник заломлення показує, у скільки разів швидкість світла в першому середовищі є більшою за швидкість в

другому, тобто: $n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2}$.

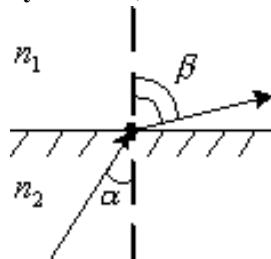
Якщо першим середовищем є вакуум, то показник заломлення називають **абсолютним**. **Фізичний зміст абсолютноого показника заломлення: абсолютний показник заломлення середовища показує, у скільки разів швидкість світла у цьому середовищі є меншою, ніж у вакуумі:** $n_1 = \frac{c}{v_1}$, $n_2 = \frac{c}{v_2}$. Абсолютні показники заломлення занесено до таблиць. Так,

наприклад, для води $n=1,33$, для скла – 1,6, для алмазу – 2,4.

Відносний показник заломлення другого середовища відносно первого n_{21} можна виразити через абсолютні показники заломлення цих середовищ так:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c}{n_1} \cdot \frac{n_2}{c} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Середовище з більшим абсолютноим показником заломлення називають **оптично більш густішим**, а з меншим – **оптично менш густим**.

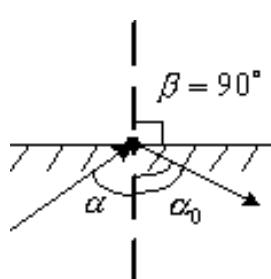


Якщо світло з оптично менш густого середовища переходить у більш густе ($n_2 > n_1$), то заломлений промінь буде "притискатись" до перпендикуляра ($\alpha > \beta$).

Якщо ж світло переходить із більш оптично густого середовища в оптично менш густе ($n_1 > n_2$), то заломлений промінь світла буде відхилятись від перпендикуляра ($\alpha < \beta$).

Повне внутрішнє відбиття світла.

Закони заломлення світла дозволяють пояснити цікаве і практично важливе явище – **повне відбиття світла**. Якщо збільшувати кут падіння α , то досягнувши його граничного значення – α_0 (кут повного внутрішнього відбиття), кут заломлення стає прямим кутом ($\beta = 90^\circ$). При цьому і більших кутах падіння заломлений промінь вже не може проникнути в друге середовище, а тільки відбувається – **відбувається повне внутрішнє відбиття світла**.

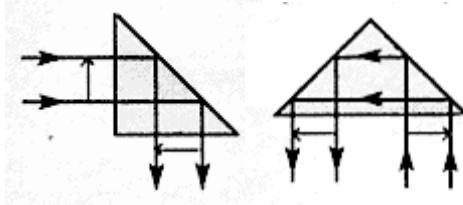


Граничний кут повного внутрішнього відбиття можна визначити з таких міркувань: якщо $\alpha = \alpha_0$, то $\beta = 90^\circ$ і $\sin 90^\circ = 1$. Тоді $\frac{\sin \alpha_0}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_0}{1} = \frac{n_2}{n_1}$. Якщо вважати, що світловий промінь виходить у

вакуум, для якого абсолютноий показник заломлення дорівнює одиниці ($n_2 = 1$), або у повітря, для якого абсолютноий показник заломлення близький до одиниці, то формула набуде вигляду:

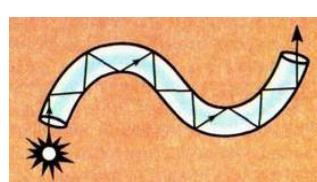
$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}, \text{ а } \alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n}, \text{ де } \alpha_0 \text{ – граничний кут повного внутрішнього відбиття; } n \text{ –}$$

абсолютний показник заломлення речовини, з якої виходить світловий промінь. Для води α_0 становить 49° , для скла – 42° .



Явище повного відбиття широко застосовують у багатьох сучасних оптических приладах, в яких потрібно змінювати напрям поширення світла із мінімальними втратами енергії на поверхнях оптических деталей. З цією метою застосовують так звані **призми повного відбивання**. Наприклад, в поворотній призмі перископа чи в оборотній призмі бінокля.

Особливо важливого практичного застосування повне відбиття набуло у волоконній оптиці. Оптичне волокно – це світловоди – тонкі кварцові або пластикові ниточки діаметром 50-500 мкм в оболонці з цієї ж речовини, але з меншим показником заломлення.



На малюнку промінь світла, спрямований на торець скляного стержня, поширюватиметься в ньому на значні відстані практично без послаблення. При цьому світло не виходить за його межі, зазнаючи численних відбивань на межі скло-повітря.

Волоконні технології впроваджуються і в комп'ютерну техніку, витісняючи напівпровідникові електронні елементи. При цьому якість комп'ютерів значно підвищується.

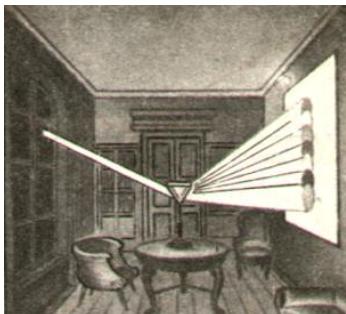
Повне внутрішнє відбиття світла також широко використовується в медицині.

ХВИЛЬОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА.

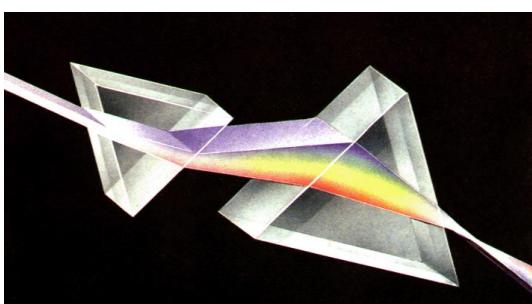
У **хвильовій оптиці** розглядаються явища, в яких проявляється хвильова природа світла (дисперсія, інтерференція, дифракція).

Дисперсія світла

Займаючись удосконаленням телескопів. Ньютон звернув увагу на те, що зображення,



яке дає об'єктив, по краях є зафарбованим. Він спрямував на скляну призму пучок світла, що проходячи через неї, заломлювався і давав на протилежній стіні подовжене зображення з райдужним чергуванням кольорів, з яких Ньютон виділив сім: **фіолетовий, синій, блакитний, зелений, жовтий, оранжевий і червоний**. Саму райдужну смужку Ньютон назвав **спектром**. Закривши отвір червоним склом. Ньютон спостерігав на стіні тільки червону пляму, закривши синім склом, спостерігав синю пляму й т.д. Звідси випливало, що не призма забарвлює біле світло, як думали раніше, а лише розкладає його на складові частини.



Біле світло має складну структуру. З нього можна виділити пучки різних кольорів, і лише всі вони спільно викликають у нас відчуття білого кольору. Якщо за допомогою другої призми, поверненої на 180 (щодо першої), зібрати всі пучки спектра, то знову вийде біле світло. Виділивши ж яку-небудь частину спектра, наприклад зелену, і змусивши світло пройти ще через одну призму, ми вже не одержимо подальшої зміни фарбування.

На основі проведених дослідів **Ньютон зробив висновки:**

- 1) біле світло є складним;
- 2) світло окремого кольору (монохроматичне) є простим;
- 3) після об'єднання всіх кольорів спектра знову виникає білий колір.

Явище розкладання білого світла на кольори називають дисперсією. Причиною розкладання білого світла на кольорові промені є те, що показник заломлення скла для них має різне значення. Так, найбільше заломлюються фіолетові промені, а найменше – червоні.

Оскільки колір променів визначається їх частотою, то можна дати більш глибоке визначення дисперсії: **дисперсією називається залежність показника заломлення світла від частоти коливань (або довжини світлової хвилі)**.

Білим світлом називають світло, в якому є випромінювання всіх частот видимої області спектра. Під час попадання білого світла на яке-небудь тіло, частина його відбувається (*це – колір тіла*), а частина поглинається. Якщо поглинається все світло, тіло виглядає чорним.

У фізиці **чорним називається тіло, що поглинає всі світлові промені, які потрапили на нього, незалежно від їх довжини хвилі.**

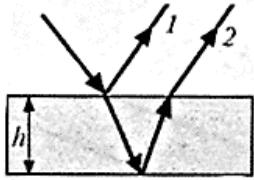
Інтерференція світла.



Інтерференція хвиль — це явище, яке виникає внаслідок накладання двох хвиль і полягає у збільшенні амплітуди коливань в одних ділянках простору і зменшенні — в інших. Щоб картина інтерференції залишалась стійкою, хвилі мають зберігати незмінною частоту коливань. Такі хвилі називають **когерентними**.

Інтерференція світла – це додавання двох світлових хвиль у просторі, внаслідок чого спостерігається стійка картина підсилення або послаблення результатуючих світлових коливань у різних точках простору. Ця картина має вигляд світлих і темних ділянок. Зони підсилення називають **максимумами**, зони послаблення – **мінімумами**.

Інтерференцію світла можна спостерігати, розглядаючи у відбитому світлі **тонкі плівки** (наприклад, на мильних бульбашках чи тонких плямах олії на воді). Там одна частина світлового потоку відбивається від верхньої поверхні плівки, а друга – після заломлення від нижньої. При цьому виникає різниця ходу світлої хвилі, що дорівнює подвоєній товщині плівки $\Delta d = 2h$. Після цього обидва промені збігаються в очі спостерігача. У результаті цього виникає інтерференційна картина. Коли різниця ходу Δd містить **ціле число хвиль** (парну кількість півхвиль) $\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$, то буде

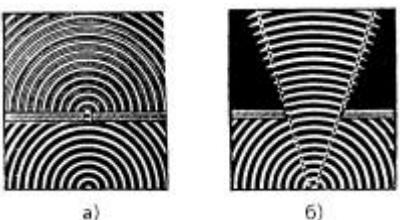


спостерігатися **максимум** світла. Якщо ж різниця ходу Δd є **непарним числом півхвиль** $\Delta d = (2k+1) \frac{\lambda}{2}$, то буде спостерігатися **мінімум** інтенсивності світла.

Коли плівка освітлюється одним кольором, то спостерігатиметься чергування чорних і білих смуг, а якщо білим, тоді смуги будуть кольоровими.

Дифракція світла.

Дифракція хвиль — це явище огинання хвильами перешкод. Дифракція чітко виявляється, коли розміри перешкод (наприклад, край отвору) сумірні з довжиною хвилі (рис. а). Якщо ж розміри перешкод (чи отвору) великі, вона дифракцію можна спостерігати лише на великих відстанях від перешкоди (рис. б).



Оскільки поширення світла є хвильовим процесом, то, для світла також характерне явище дифракції.

Дифракція світла — це явище відхилення світла від прямолінійності поширення при його проходженні повз перешкоди чи крізь отвори і проникнення його в область геометричної тіні.

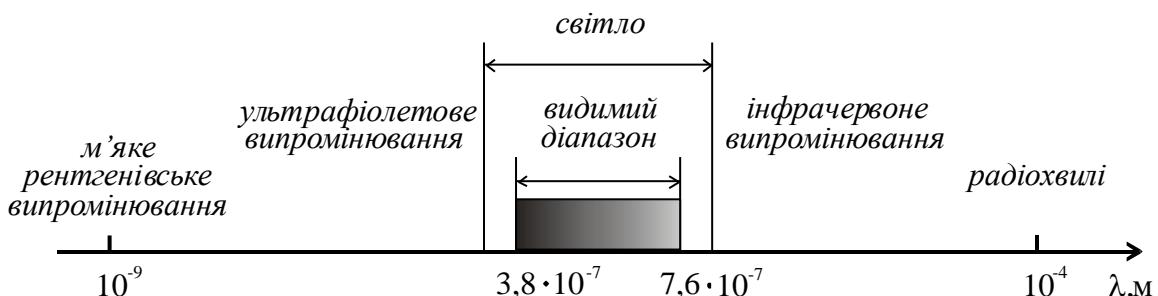
Але спостерігати дифракцію світла важко, оскільки довжина світлової хвилі є дуже малою. Тому і розміри перешкод чи щілини мають бути дуже малими.



Наприклад, під час проходження монохроматичного світла через круглий отвір, розмір якого сумірний з довжиною падаючих світлових хвиль, на екрані навколо центральної світлової плями спостерігаються темні і світлі кільця, що чергуються.

Якщо таке саме світло проходить через вузьку щілину, то виникне картина чергування темних і світлих смуг. Особливо чітку дифракційну картину утворюють **дифракційні решітки**, що є сукупністю дуже вузьких щілин, розділених непрозорими проміжками.

Шкала електромагнітних хвиль



В залежності від частоти чи довжини хвилі (ці величини пов'язані між собою), електромагнітні хвилі відносять до різних діапазонів.

- ВИСНОВКИ:**
1. Усі електромагнітні хвилі мають єдину природу.
 2. властивості електромагнітних хвиль залежать тільки від їх частоти, а не від їх способу утворення.
 3. Довгохвильові промені краще проявляють властивості хвиль, а короткохвильові краще проявляють властивості частинок.

(32). ШКАЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Джерелом електромагнітних хвиль можуть бути заряджені частинки, що рухаються з прискоренням, наприклад, при здійсненні коливальних рухів. Вони створюють змінне електромагнітне поле, яке поширюється у просторі у вигляді електромагнітних хвиль.

Дослідженнями встановлено, що в природі частота коливань заряджених частинок не обмежена, а отже, не обмеженими є і довжини випромінювань хвиль. Не буває найменшої чи найбільшої довжини хвилі. Можна лише говорити про певний діапазон хвиль, виявлених і вивчених за допомогою сучасних засобів дослідження.

Усю шкалу електромагнітних хвиль поділено на умовні діапазони:

ДОВЖИНА (м)	ЧАСТОТА (Гц)	НАЗВА ДІАПАЗОНУ
$10^6 - 10^4$	$3 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^4$	Наддовгі (низькочастотні)
$10^4 - 10^{-3}$	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^{11}$	Радіохвилі
$10^{-3} - 0,76 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{11} - 3,95 \cdot 10^{14}$	Інфрачервоне випромінювання
$0,76 \cdot 10^{-6} - 0,4 \cdot 10^{-6}$	$3,95 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$	Видиме світло
$0,4 \cdot 10^{-6} - 10^{-9}$	$7,5 \cdot 10^{15} - 3 \cdot 10^{17}$	Ультрафіолетове випромінювання
$10^{-9} - 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{17} - 3 \cdot 10^{20}$	Рентгенівське випромінювання (м'яке)
$10^{-12} - 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{20} - 3 \cdot 10^{22}$	Гамма-випромінювання (жорстке)
$< 10^{-14}$	$> 3 \cdot 10^{22}$	Космічні промені

Такий поділ за довжиною хвилі (частотою) зумовлений тим, що прискорення заряджених частинок може відбуватися в різних фізичних системах. Якщо радіохвилі, наприклад, спорюються електромагнітними коливаннями в коливальному контурі, який має цілком певні ємність та індуктивність, то γ-промені з'являються внаслідок певних змін у ядрах атомів.

РАДІОХВИЛІ. *Радіохвилями називають електромагнітні хвилі довжиною від декількох кілометрів до декількох міліметрів.* У короткохвильовій частині радіохвилі плавно переходят у діапазон інфрачервоного випромінювання, хоча чіткої межі між цими видами випромінювання не встановлено. У своїй низькочастотній частині радіохвилі межують з низькочастотним випромінюванням, яке утворюється під час роботи різних електротехнічних пристроїв, які живляться змінним струмом низької частоти.

Основною ознакою діапазону радіохвиль є їх поширення на значні відстані, що робить їх цінними для передачі інформації. У радіотехніці радіохвилі поділяються на **довгі** (30 000—3 000 м), **середні** (3 000-200 м), **короткі** (200—10 м) та **ультракороткі** ($\lambda < 10$ м). Хвилі цих частин радіодіапазону мають характерні лише їм властивості. Так, довгі і середні хвилі здатні огинати поверхню земної кулі. Проте для цього радіопередавачі повинні мати дуже велику потужність, а передавальні антени — величезні розміри. Тому нині для далекого зв'язку їх майже не застосовують.

Радіозв'язок на далекі відстані здійснюється за допомогою коротких хвиль. Ці хвилі, хоча й не огинають земну поверхню, проте відбиваються від іонізованого шару атмосфери (іоносфери). Зазнаючи багаторазового відбивання від цього шару та від поверхні Землі, короткі хвилі можуть огинати всю земну кулю.

Ультракороткі хвилі в земних умовах поширюються в межах «прямої видимості» практично не заломлюючись. Ультракороткі хвилі використовують також для зв'язку з космічними апаратами оскільки вільно проходять крізь іоносферу.

ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ. Спектр видимого світла з одного боку обмежений фіолетовим світлом, із другого — червоним. За їхніми межами око не бачить жодного світла. Проте за допомогою спеціальних приладів встановлено, що в крайніх темних ділянках спектра також є деяке випромінювання. Якщо в темну частинку екрана за червоновою ділянкою спектра внести термопару, то прилад, з'єднаний з нею, зафіксує її нагрівання. Це засвідчує, що в цій ділянці спектра є випромінювання, невидиме для ока. Вимірювання показують, що довжина хвилі цього випромінювання більша за довжину хвилі червоного світла видимого спектра. У зв'язку з цим таке випромінювання дістало назву інфрачервоного. Межі діапазону інфрачервоних хвиль від 760 нм до 0,1 мм. *Інфрачервоне випромінювання є*

невидимим, має дуже слабку проникну здатність, сильно поглинається склом, водою, водяною парою і чинить теплову дію на речовини. Інфрачервоні хвилі випромінюють усі нагріті тіла незалежно від їхньої температури. Ці промені часто називають тепловим. На їх долю припадає 45% променевої енергії Сонця. Організм людини також випромінює інфрачервоні промені в діапазоні від 6 до 20 мкм, з піком випромінювання 9,6 мкм. Тому будь-яке зовнішнє випромінювання з такими довжинами хвиль наш організм сприймає як своє власне і інтенсивно поглинає його.

Для вивчення властивостей інфрачервоних променів добирають речовини, які мало поглинають інфрачервоні промені. Серед них такі відомі речовини, як кам'яна сіль та ебоніт. Інфрачервоне випромінювання застосовується в приладах «нічного бачення»

УЛЬТРАФІОЛЕТОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ. Око людини сприймає електромагнітні хвилі довжиною від 400 до 760 нм. Для виявлення і реєстрації інших електромагнітних хвиль використовують різноманітні перетворювачі. Наприклад, якщо узяти пластинку, вкриту сульфідом цинку, і розмістити її на екрані поряд з фіолетовою ділянкою спектра, то вона засвітиться зеленим світлом. Невидиме для ока випромінювання, яке є в цій ділянці спектра, назвали ультрафіолетовим (тим, що знаходиться за фіолетовим). Діапазон електромагнітних хвиль, які належать до ультрафіолетових, — 400 – 6 нм.

Ультрафіолетове випромінювання має особливі властивості: невидиме, викликає свічення деяких речовин, має сильну бактерицидну дію, створює фізіологічну дію (ультрафіолетове випромінювання довжиною хвилі від 0,38 до 0,32 мкм є корисним для живих організмів, здійснюючи зміцнюючі, загартовуючі дії, сприяє створенню в організмі вітаміну D). Водночас ультрафіолетове випромінювання у його короткохвильовій ділянці спектра (від 0,28 до 0,25 мкм) може бути шкідливим для здоров'я людини. Воно здатне не тільки негативно впливати на сітківку ока, викликати опіки шкіри, а й призводити до незворотних змін в організмі, провокувати розвиток хвороб.

Різні речовини по-різному взаємодіють з ультрафіолетовим випромінюванням, пропускаючи або поглинаючи його. Так, звичайне скло поглинає майже всі хвилі ультрафіолетового діапазону, а скло, виготовлене з кварцового піску, пропускає їх практично без змін.



РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ. Довжина хвиль цього випромінювання менша 6 нм. Для генерування рентгенівських променів застосовують спеціальні електронні прилади, які називають рентгенівськими трубками.

Цікава і драматична історія відкриття рентгенівських променів. Перші вакуумні трубки для одержання X-променів (таку назву спочатку мало невідоме випромінювання) були створені видатним фізиком, українцем за походженням Іваном Пуллюєм, який привалий час жив і працював у Австрії.

Одержані І. Пуллюєм фотознімки внутрішніх органів людини дотепер публікуються в навчальній літературі. Однак сталося так, що про відкриття нового виду електромагнітного випромінювання першим повідомив німецький фізик В. Рентген у 1895 р. Тоді це випромінювання почали називати **рентгенівським**.

Рентгенівські промені мають високу проникну здатність, діють на фотоматеріали, створюють іонізуючу дію, викликають свічення ряду речовин, чинять сильну бактерицидну дію.

ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ. Гамма-промені мають велику проникну здатність і проходять через товстий шар металу, тому їх використовують для перевірки якості великих металевих злитків, зон зварювання товстого металу. Також γ -промені використовують у медицині, геології та інших галузях.

ВИСНОВКИ: 1. Усі електромагнітні хвилі мають єдину природу.
2. властивості електромагнітних хвиль залежать тільки від їх частоти, а не від їх способу утворення.

3. Довгохвильові промені краще проявляють властивості хвиль, а короткохвильові краще проявляють властивості частинок.

). КВАНТОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА.

Квантова теорія світла.

Згідно з електромагнітною теорією світла всяке випромінювання є електромагнітними хвилями. Довжина електромагнітних хвиль видимого світла лежить в межах від $0,4 \cdot 10^{-6}$ м до $0,76 \cdot 10^{-6}$ м. Хвильові властивості світла підтверджуються такими явищами як інтерференція, дифракція, поляризація.

Проте на початку ХХ-го століття було відкрито явища взаємодії світла з речовиною, які не могла пояснити електромагнітна теорія. Це, зокрема, явище фотографування, де результат залежав не від інтенсивності світла, а від довжини світлової хвилі (відомо, що фотопапір не реагує на червоне світло навіть великої інтенсивності, але легко засвічується слабеньким фіолетовим кольором). Намагаючись пояснити цей факт, німецький фізик М. Планк (1858-1947 pp.) припустив, що світло випромінюється не у вигляді хвиль, а у вигляді певних неподільних порцій енергії – **квантів світла**, які тепер називають **фотонами**. Таким чином виникла нова теорія про природу світла, яка об'єднує хвильові і корпускулярні властивості світла, яку назвали **квантовою теорією світла**.

Зв'язок між хвильовими і корпускулярними властивостями світла за цією теорією визначається формулою Планка: $\varepsilon = h\nu$, де ε – енергія кванта, ν – частота коливань електромагнітного випромінювання, h – сталій коефіцієнт, одинаковий для всіх хвиль і квантів, який називають сталою Планка. Його значення: $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Таким чином, **енергія кванта прямо пропорційна частоті коливань електромагнітного випромінювання**.

Оскільки $c = \lambda\nu$, то для енергії кванта можна записати: $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$, тобто **енергія кванта обернено пропорційна довжині хвилі випромінювання у вакуумі**.

Дослід показав, що, поки фотон існує, він рухається з швидкістю c (у вакуумі) і за жодних умов не може сповільнити свій рух або зупинитися. У момент зустрічі з речовиною він може поглинуться частинкою речовини. Тоді сам фотон зникає, а його енергія цілком переходить до частинки, яка його поглинула. **Фотон не має маси спокою**. Фотон має масу доти, поки він рухається зі швидкістю світла. Цим він відрізняється від інших частинок речовини.

Енергія фотона пов'язана з його масою формулою Ейнштейна: $E = mc^2$. Прирівнявши обидва рівняння для енергії фотона отримаємо $h\nu = mc^2$.

Тоді **маса фотона**: $m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$ і його **імпульс**: $p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$. Імпульс

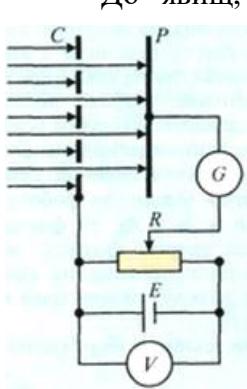
фотона напрямлений вздовж променя світла і, якщо на його шляху виникає перешкода, він передає його їй.

Явище фотоefекту.

До явищ, що пояснюються квантовими властивостями світла, належить явище фотоefекту. **Фотоefект** – це **явище виридання світлом електронів із речовини**.

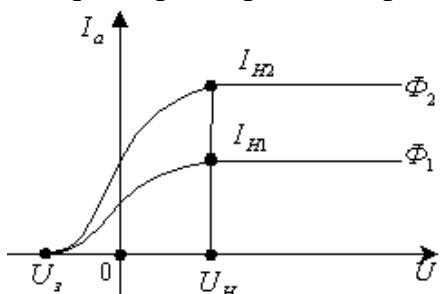
Розрізняють: зовнішній фотоefект – явище вибивання світлом електронів з поверхні; внутрішній fotoefekt – явище звільнення електронів від зв'язків з атомами, коли електрони переходять у вільний стан, залишаючись в речовині, що приводить до збільшення її електропровідності; вентильний fotoefekt – утворення ЕРС на межі різномірних напівпровідників.

Явище fotoefекту відкрив нім. вчений Г. Герц, а у 1888—1889 р. докладно вивчив рос. учений О. Г. Столетов. Він виготовив конденсатор, одна з обкладок якого C була сітчастою, а другою обкладкою була



цинкова пластинка, і увімкнув його в електричне коло з гальванометром.

Коли на негативно заряджену цинкову обкладку P падає ультрафіолетове світло, у колі виникає струм, який фіксується гальванометром. Якщо джерело струму E увімкнути протилежно (обкладку P приєднати до позитивного полюса), то струму в колі не буде. За допомогою потенціометра R напругу на конденсаторі можна змінювати. Так отримано **вольт-амперні характеристики фотоефекту** за різних значень світлового потоку.



Якщо, не змінюючи світлового потоку, поступово підвищувати напругу, фотострум спочатку зростає, а потім стає постійним, тобто вже не залежить від напруги. Такий найбільший струм називають **фотострумом насищення**. Тоді всі електрони, вирвані світловим потоком з металу P , досягають електрода C .

Вивчивши залежність сили струму від частоти хвилі світла та його інтенсивності, О. Г. Столетов установив **три закони фотоефекту**:

1. Кількість фотоелектронів прямо пропорційна інтенсивності світла.

2. Максимальна кінетична енергія фотоелектронів не залежить від інтенсивності світла, а є прямо пропорційною його частоті.

3. Для кожної речовини існує червона межа фотоефекту – мінімальна частота v_0 (або максимальна довжина хвилі λ_0) світла, яке ще викликає зовнішній фотоефект.

Для пояснення законів фотоефекту А. Ейнштейн вивів **рівняння фотоефекту**:

$$hv = A_e + \frac{mv^2}{2},$$

де hv – енергія фотона, A_e – **робота виходу** – робота, яку має виконати фотон, щоб вирвати електрон з металу.

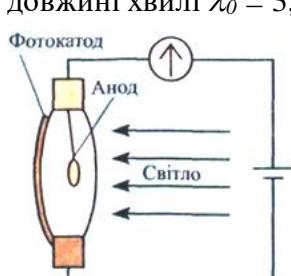
Отже, **фотоефект може відбутися лише за умови, що фотон має енергію більшу (або рівну) за роботу виходу ($hv \geq A_e$)**; якщо ж $hv < A_e$, то фотоефект неможливий. Коли ж енергія фотона, передана електрону, більша за роботу виходу, то електрон ще набуває кінетичної енергії – $\frac{mv^2}{2}$.

Таким чином, **енергія фотона, що падає на поверхню металу, затрачається на роботу виходу електрона та на надання йому кінетичної енергії**. Кінетичну енергію електрона можна практично визначити, вимірювши запірну негативну напругу на фотокатоді:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3.$$

За пояснення законів зовнішнього фотоефекту А. Ейнштейн у 1922 р. був удостоєний Нобелівської премії.

Мінімальна частота (червона межа), з якої речовини починається фотоефект: $v_0 = \frac{A_e}{h}$, а довжина хвилі: $\lambda_0 = \frac{hc}{A_e}$. Наприклад, **для цинку** червона межа відповідає довжині хвилі $\lambda_0 = 3,7 \cdot 10^{-7}$ м, тобто вона лежить в області ультрафіолетових променів.



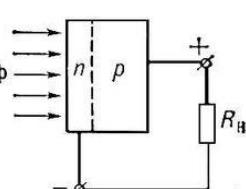
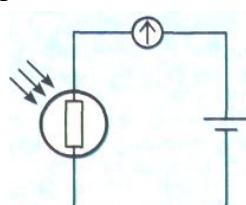
Завдяки відкриттю фотоефекту стало можливим:

1) звукове кіно;

2) створення різноманітних апаратів, які слідують за освітленістю вулиць, своєчасно запалюють і гасять бакени на річках, працюють "контролерами" в метро, рахують готову продукцію, контролюють якість обробки деталей;



3) перетворення світлової енергії в електричну за допомогою фотоелементів.

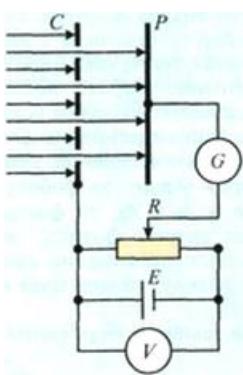


Найважливіше значення фотоефекту полягає в тому, що його відкриття і дослідження стали експериментальною основою квантової теорії.

(33). КВАНТОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА.

Явище фотоефекту.

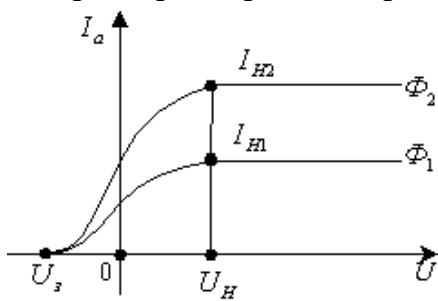
До явищ, що пояснюються квантовими властивостями світла, належить явище фотоефекту. **Фотоефект** – це явище вибивання світлом електронів із речовини.



Розрізняють: зовнішній фотоефект – явище вибивання світлом електронів з поверхні; внутрішній фотоефект – явище звільнення електронів від зв'язків з атомами, коли електрони переходят у вільний стан, залишаючись в речовині, що приводить до збільшення її електропровідності; вентильний фотоефект – утворення ЕРС на межі різновідповідників.

Явище фотоефекту відкрив нім. вчений Г. Герц, а у 1888—1889 р. докладно вивчив рос. учений О. Г. Столетов. Він виготовив конденсатор, одна з обкладок якого *C* була сітчастою, а другою обкладкою була цинкова пластинка, і увімкнув його в електричне коло з гальванометром.

Коли на негативно зарядженню цинкову обкладку *P* падає ультрафіолетове світло, у колі виникає струм, який фіксується гальванометром. Якщо джерело струму *E* увімкнути протилежно (обкладку *P* приєднати до позитивного полюса), то струму в колі не буде. За допомогою потенціометра *R* напругу на конденсаторі можна змінювати. Так отримано **вольт-амперні характеристики фотоефекту** за різних значень світлового потоку.



Якщо, не змінюючи світлового потоку, поступово підвищувати напругу, фотострум спочатку зростає, а потім стає постійним, тобто вже не залежить від напруги. Такий найбільший струм називають **фотострумом насищення**. Тоді всі електрони, вирвані світловим потоком з металу *P*, досягають електрода *C*.

Вивчивши залежність сили струму від частоти хвилі світла та його інтенсивності, О. Г. Столетов установив **три закони фотоефекту**:

1. Фотострум насищення прямо пропорційний світловому потоку, що падає на електрод. Кількість фотоелектронів прямо пропорційна інтенсивності світла.

2. Максимальна кінетична енергія фотоелектронів не залежить від інтенсивності світла, а є прямо пропорційною його частоті.

Для деякого значення зворотної напруги, яку називають **затримуючою напругою** U_3 , фотострум в колі припиняється. Це означає, що для $U = -U_3$ гальмується найбільш швидкі електрони зі швидкістю v_{\max} . За законом збереження й перетворення енергії робота сил електричного поля, яке протидіє рухові найбільш швидких електронів, дорівнює кінетичній енергії цих електронів: $eU_3 = \frac{mv_{\max}^2}{2}$

де m і e – маса електрона ($9,1 \cdot 10^{-31}$ кг) та його заряд ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Отже, якщо виміряти затримуючу напругу, то можна знайти максимальне значення кінетичної енергії вибитих

електронів $\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3$ та максимальне значення їх швидкості: $v_{\max} = \sqrt{\frac{2eU_3}{m}}$.

Найбільша довжина хвилі, при якій ще існує фотоефект, називається **червоною межею фотоефекту** для даного матеріалу.

3. Для кожної речовини існує червона межа фотоефекту – мінімальна частота v_0 (або максимальна довжина хвилі λ_0) світла, яка визначається тільки матеріалом електрода і не залежить від інтенсивності випромінювання.

Для пояснення законів фотоефекту А. Ейнштейн вивів $h\nu = A_e + \frac{mv^2}{2}$,

рівняння фотоефекту:

де hv – енергія фотона, A_e – робота виходу – робота, яку має виконати фотон, щоб вирвати електрон з металу.

Отже, фотоефект може відбутися лише за умови, що фотон має енергію більшу (або рівну) за роботу виходу ($hv \geq A_e$); якщо ж $hv < A_e$, то фотоефект неможливий. Коли ж енергія фотона, передана електрону, більша за роботу виходу, то

електрон ще набуває кінетичної енергії – $\frac{mv^2}{2}$.

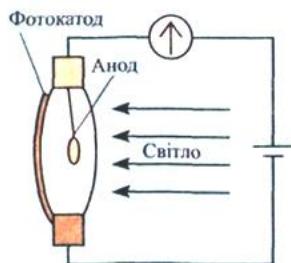
Таким чином, енергія фотона, що падає на поверхню металу, затрачається на роботу виходу електрона та на надання йому кінетичної енергії.

За пояснення законів зовнішнього фотоефекту А. Ейнштейн у 1922 р. був удостоєний Нобелівської премії.

Мінімальна частота (червона межа), з якої речовини починається фотоефект:

$v_0 = \frac{A_e}{h}$, а довжина хвилі: $\lambda_0 = \frac{hc}{A_e}$. Наприклад, для цинку червона межа відповідає

довжині хвилі $\lambda_0 = 3,7 \cdot 10^{-7}$ м, тобто вона лежить в області ультрафіолетових променів.



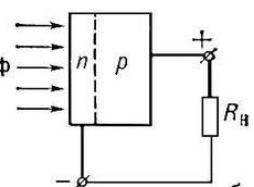
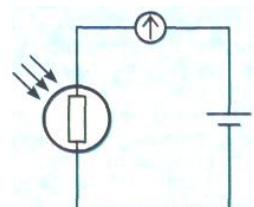
Завдяки відкриттю фотоефекту стало можливим:

1) звукове кіно;

2) створення різноманітних апаратів, які слідкують за освітленістю вулиць, своєчасно запалюють і гасять бакени на річках, працюють "контролерами" в метро, рахують готову продукцію, контролюють якість обробки деталей;



3) перетворення світлової енергії в електричну за допомогою фотоелементів.



Найважливіше значення фотоефекту полягає в тому, що його відкриття і дослідження стали експериментальною основою квантової теорії.

Задачі: 4'. Якої довжини світло треба спрямувати на поверхню срібної пластинки, щоб з неї вилітали електрони з швидкістю $25 \cdot 10^5$ м/с. Робота виходу електронів із срібла становить $7,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. **Яка частота коливань хвилі цього світла?**

1''. Робота виходу електронів з платини $10,1 \cdot 10^{-19}$ Дж. Визначити найбільшу довжину хвилі, при якій ще відбувається фотоефект.

5'. Визначити швидкість фотоелектронів, вибитих з поверхні калію при освітленні його фіолетовим світлом з довжиною хвилі 420 нм, якщо робота виходу електронів з калію становить $3,07 \cdot 10^{-19}$ Дж.

3'. На металеву поверхню падає світлове випромінювання, частота якого $3 \cdot 10^{15}$ Гц. Робота виходу електронів з металу $9,9 \cdot 10^{-19}$ Дж. Визначити: а) кінетичну енергію електронів, що вибиваються з металу; б) червону межу фотоефекту для цього металу.

1'. Робота виходу електронів з цинку $5,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Чи відбудеться фотоефект, якщо на цинк падатимуть світлові промені з довжиною хвилі 450 нм?

2'. Визначити роботу виходу електронів з металу, для якого фотоефект починається при частоті світла $6 \cdot 10^{14}$ Гц.

11. Фотоефект з поверхні літію припиняється при затримуючій напрузі в 1,7 В. Визначити роботу виходу електронів з літію.

12. Червона межа фотоефекту для деякого металу дорівнює 0,5 мкм. При якій частоті світла електрони, що відірвалися з його поверхні, повністю затримуються потенціалом в 3,0 В?

13. Довжина хвилі, що відповідає червоній межі фотоефекту для цинку становить 370 нм. Яка довжина світлових хвиль, що опромінюють цинк, якщо фотоефект припинився при затримуючому потенціалі 0,2 В?

14. Робота виходу електронів з поверхні цезію $3,1 \cdot 10^{-19}$ Дж. Яку напругу потрібно прикладти, щоб затримати фотоелектрони, якщо поверхня цезію опромінюється світлом з довжиною хвилі 589 нм?

15. Визначити червону межу фотоефекту для цезію, якщо під час освітлення його поверхні фіолетовими променями довжиною хвилі 400 нм максимальна швидкість фотоелектронів $6,5 \cdot 10^5$ м/с.

(34).ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ.

Теорія відносності А. Ейнштейна – це одна з основ сучасної фізики, яка вивчає взаємозв'язок властивостей простору і часу у гравітаційному полі і якщо його немає. Її поділяють на **загальну теорію відносності** простору і часу та **спеціальну теорію відносності**, без врахування гравітаційного поля.

Теорія відносності заперечує існування введених ще в XVII ст. Ньютоном понять абсолютноого простору і часу, які ні з чим не взаємодіють і є змінними. Ейнштейн розширив принцип відносності про тотожність механічних явищ в інерціальних системах на всю фізику, тобто, що **всі фізичні явища – магнітні, електричні, атомно-ядерні – однаково відбуваються в будь-якій ICB. Це твердження називають принципом відносності Ейнштейна**. Він лежить в основі теорії відносності; де його називають **першим постулатом теорії відносності**.

Спираючись на безліч дослідів, проведених в різний час різними вченими, Ейнштейн сформулював **другий постулат теорії відносності: швидкість світла у вакуумі є однаковою в усіх інерціальних системах і не залежить ні від швидкості джерела, ні від швидкості приймача.**

Швидкість світла у вакуумі виявилась граничнодопустимою для будь-якого матеріального тіла, а це означає, що ніяке матеріальне тіло не може рухатись зі швидкістю, більшою за швидкість світла у вакуумі.

Теорія відносності та її постулати повністю змінили погляди на характеристики простору і часу. Були сформульовані **основні висновки теорії відносності**:

- 1) **явища, які є одночасними в одній системі відліку, можуть виявитись неодночасними в іншій;**
- 2) **довжина тіла, час і маса залежать від швидкості тіла.**

Якщо l_0 – довжина стержня в системі, у якій стержень знаходиться в спокої (власна довжина), а l - довжина стержня в рухомій системі відліку (СВ), то

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

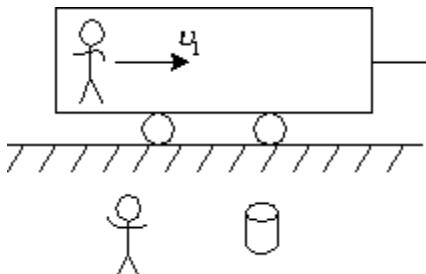
Якщо t_0 – проміжок часу, виміряний за допомогою годинника в нерухомій системі відліку (власний час), а t - той же проміжок, вимірюйший в рухомій системі відліку, то

$$t = t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Якщо m_0 – маса тіла, вимірюна в системі відліку, в якій воно знаходиться в спокої (маса спокою), а m - маса тіла вимірюна в рухомій системі відліку, то:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Зазнали зміни і закони додавання швидкостей.



Нехай v – швидкість рухомої системи відліку (вагона) відносно нерухомої (людина, що стоїть), а v_1 – швидкість тіла відносно рухомої системи відліку (людина у вагоні). Тоді маємо релятивістський закон додавання швидкостей:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}$$

Імпульс частинки масою m_0 розраховується за формулою:

$$p = m \cdot v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ще один висновок теорії відносності, який викликає найбільший інтерес: це **зв'язок між масою і енергією**. Між енергією і масою є зв'язок, що випливає із закону збереження енергії і того факту, що маса тіла залежить від швидкості його руху.

Ейнштейн зробив важливий висновок: тіло має величезну енергію завдяки тому, що воно має масу. Зв'язок між масою і енергією згідно з теорією відносності визначають за формулою: $E = mc^2$.

Положення теорії відносності і формул підтверджуються точно встановленими експериментами. Більшість з наведених формул перетворюються у звичайні спiввiдношення механіки Ньютона, якщо швидкості руху тіл є невеликими порівняно зі швидкістю свiтла. **Фiзiku великих швидкостей називають релятивiстською.**

Розв'язування задач.

№1. Довжина лінійки, яка нерухома відносно земного спостерiгача, 2 м. Яка довжина цiєї лiнiйки, якщо вона рухається зi швидкiстю 0,5 швидкiстi свiтла?

Дано :

$$l_0 = 2 \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \quad l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(1,5 \cdot 10^8)^2}{(3 \cdot 10^8)^2}} = 2 \cdot 0,87 = 1,73 \text{ м}$$

$$v = 1,5 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$l - ?$$

№2. У скільки разів сповiльнюється iнтервал часу (по годиннику «нерухомого» спостерiгача) при швидкостi $v=27000 \text{ км/с}$?

Дано :

$$v = 27 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$\frac{\tau_0}{\tau} - ?$$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} ; \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{\tau_0}{\tau} 4$$

$$\frac{\tau_0}{\tau} = \sqrt{1 - \frac{7,29 \cdot 10^{14}}{9 \cdot 10^{16}}} = \sqrt{1 - \frac{0,81}{10^2}} = \sqrt{1 - 0,0081} = 0,99$$

№3. З якою швидкостю повинен рухатися космічний корабель, щоб його шлях при вимірюванні з Землі був у 2 рази менший?

Дано:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \quad l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \frac{l_0}{2} = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \frac{l_0^2}{4} = l_0^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$l = \frac{l_0}{2} \quad v - ?$$

$$\frac{1}{4} - 1 = -\frac{v^2}{c^2}; \quad \frac{3}{4} = \frac{v^2}{c^2}; \quad v = \sqrt{c^2 \cdot \frac{3}{4}} = c \cdot 0,75 = 3 \cdot 10^8 \cdot 0,86 = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

№4. З якою швидкістю відносно Землі повинен рухатись космічний корабель, щоб його розміри для земного спостерігача були у 2 рази менше, ніж дійсні?

Дано:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \quad l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad ; \quad \frac{l_0}{2} = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$l = \frac{l_0}{2} \quad v - ?$$

$$\frac{1}{4} = 1 - \frac{v}{c^2}; \quad \frac{3}{4} = \frac{v^2}{c^2}; \quad v = c \cdot \sqrt{0,75} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 0,86 = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Задача: Який проміжок часу пройде на кораблі, який рухається відносно Землі зі швидкістю, яка дорівнює 0,4 швидкості світла, за 25 земних років?