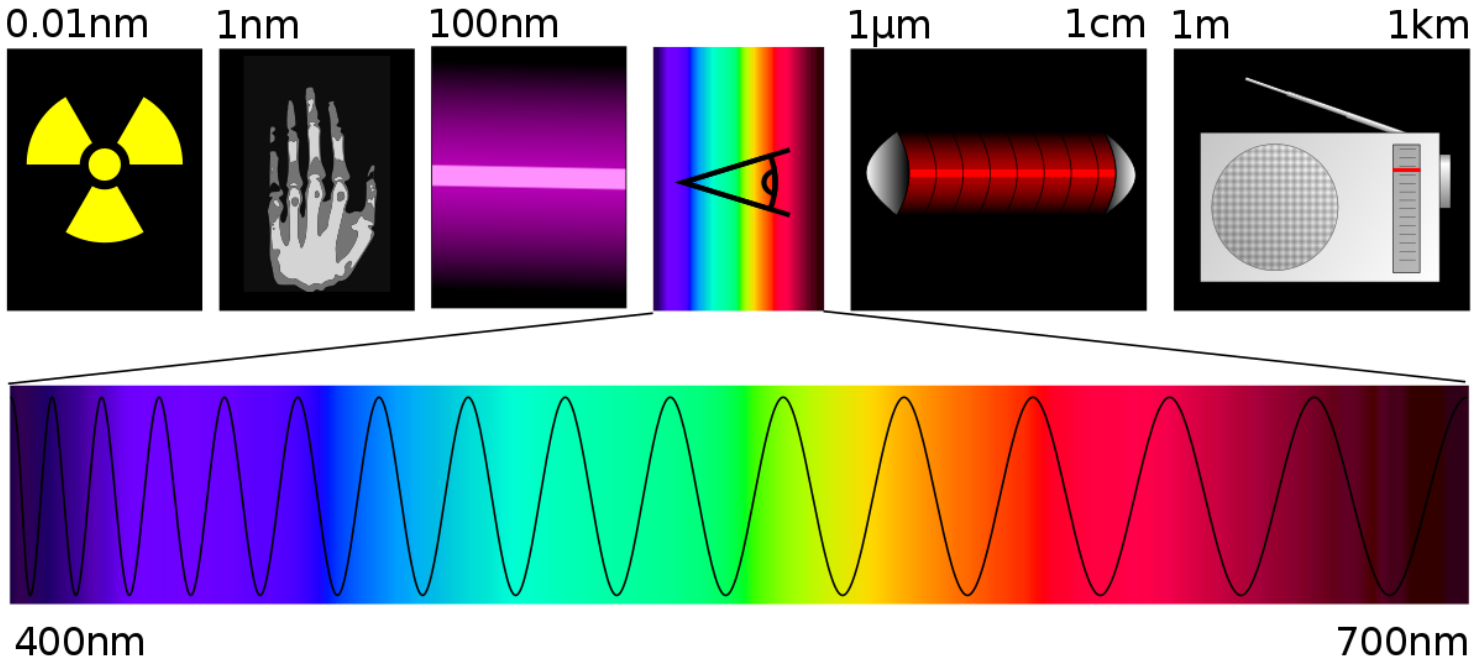
ЕЛЕМЕНТИ ФОТОМЕТРІЇ

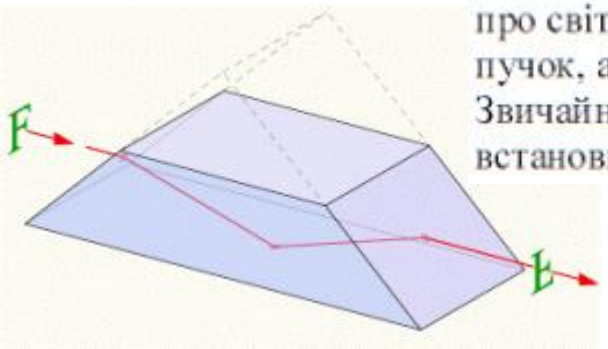
К.ф.-м.н., ст. викл. Пилипенко О.В.

Оптика – це розділ фізики, в якому вивчаються властивості, фізична природа світла та його взаємодія з речовиною. Під **світлом** розуміють електромагнітні хвилі таких довжин, які сприймаються оком людини. Ці хвилі мають довжину від $3{,}8 \cdot 10^{-7}$ *м* до $7{,}6 \cdot 10^{-7}$ *м*. Такий діапазон хвиль називається **видимим** діапазоном. Поняття „світло" охоплює не тільки електромагнітні хвилі видимого діапазону, але й прилеглі до нього ділянки спектра інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювань.



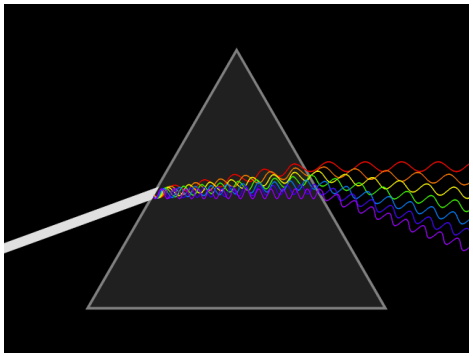
Оптика

- Геометрична



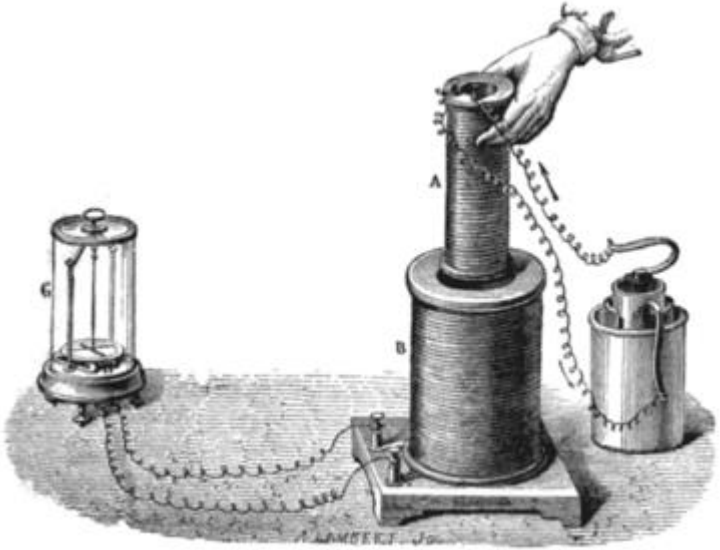
Оптику поділяють на геометричну та фізичну. **Геометрична оптика** – це розділ оптики, в якому вивчаються закони поширення світла на основі уявлень про світлові промені. Під **світловим променем** розуміють не вузький світловий пучок, а геометричну лінію, що вказує напрям переносу енергії світлової хвилі. Звичайно, чим більш вузьким є світловий пучок, тим легше за його допомогою встановити напрям поширення світла, тобто визначити світловий промінь.

- Фізична (хвильова, квантова)



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

Відкриття Фарадея



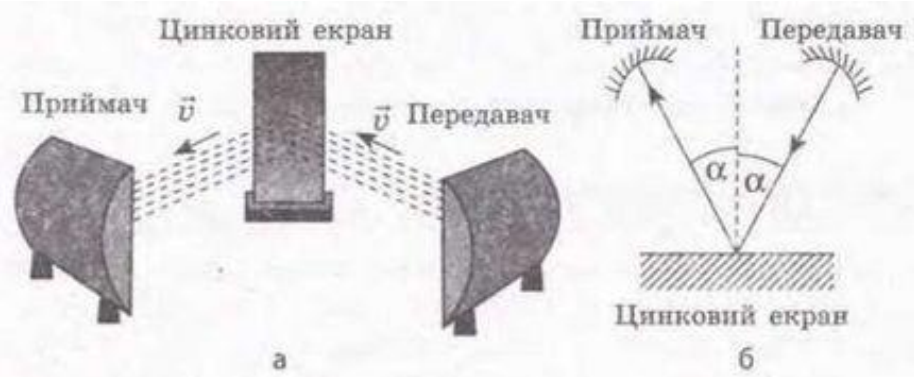


Рис. 34.6. Дослід Герца з вивчення відбивання електромагнітних хвиль: *а* — зовнішній вигляд установки; *б* — схема досліду

РІВНЯННЯ МАКСВЕЛЛА

Джерелом електромагнітних хвиль може бути будь-який електричний коливальний контур або провідник, по якому тече змінний електричний струм, оскільки для утворення електромагнітних хвиль необхідно створити в просторі змінне електричне поле (струм зміщення) (3), або відповідно змінне магнітне поле (1). Випромінююча здатність джерела електромагнітних хвиль визначається його формою, розмірами і частотою коливань. Щоб випромінювання було помітним, необхідно збільшити об'єм простору, у якому створюється змінне електромагніт-не поле. Тому для одержання електромагнітних хвиль непридатні закриті коливальні контури, так-як в них електричне поле зосереджене між обкладками конденсатора, а магнітне – усередині котушки індуктивності.

Згідно теорії Максвелла, якщо в просторі змінюється електричне поле, то в цій області простору воно викликає змінне магнітне поле. Змінне магнітне поле, в свою чергу, породжує змінне електричне поле, причому це електричне поле повинно бути вихровим, тобто лінії напруженості електричного поля є замкненими і охоплюють лінії індукції магнітного поля. Сукупність змінних електричних та магнітних полів називається **електромагнітним полем**. Виникнувши в певному місці простору, змінне електромагнітне поле передається від однієї точки простору до іншої зі швидкістю світла (рис. 2). Процес поширення змінного електромагнітного поля в просторі називається **електромагнітною хвилею.**

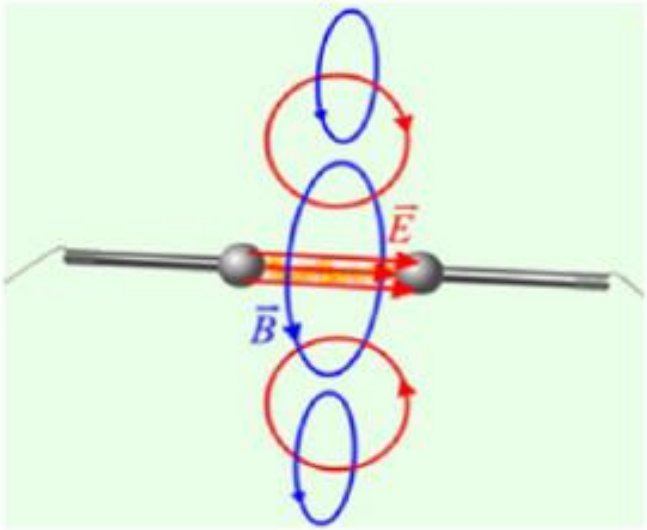


Рис. 2. Модель поширення електромагнітної хвилі в просторі

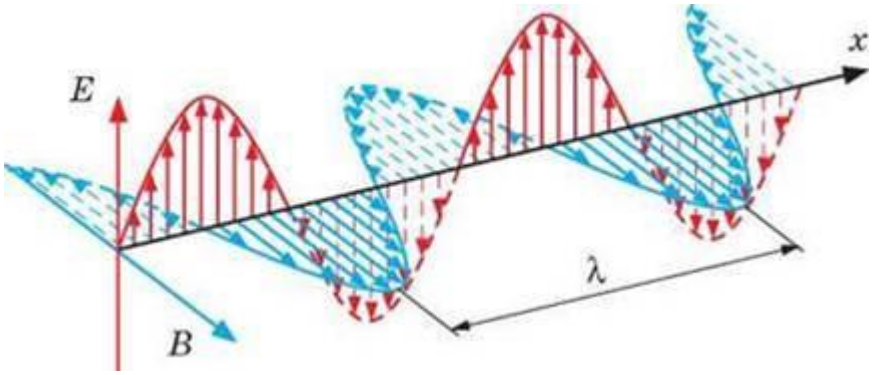
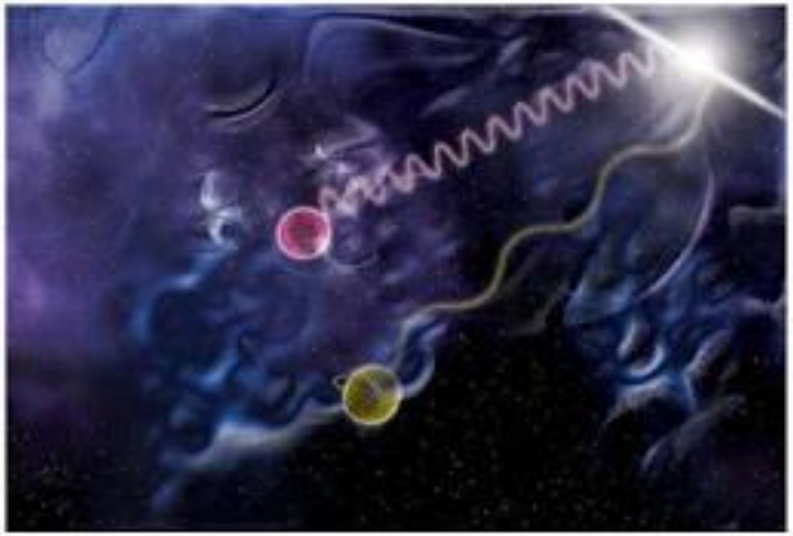


Рис. 3. Модель поперечної електромагнітної хвилі

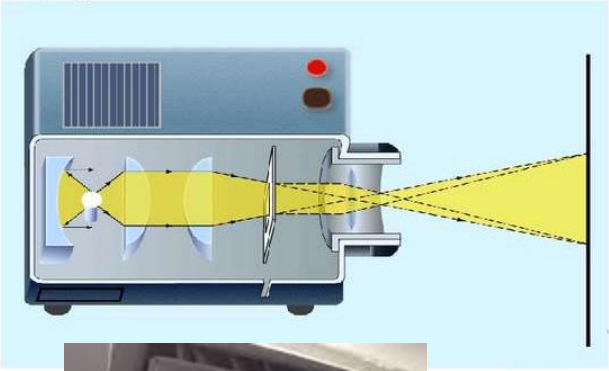
У **квантовій оптиці** розглядаються явища, в яких вивчається квантова природа світла (квант – порція енергії). З точки зору квантової оптики світло є потоком фотонів з енергією $W = h\nu$, де $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ *Дж·с* – стала Планка, ν – частота світла, c – швидкість світла у вакуумі. До таких явищ відносять ***теплове випромінювання*** (електромагнітне випромінювання, що випускається речовиною і виникає за рахунок внутрішньої енергії), ***фотоефект*** тощо.

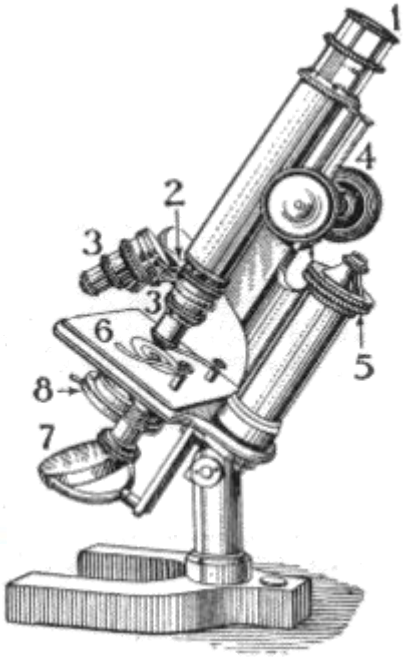
- **Квант світла** – порція світлового випромінювання.
- **Фотон** – елементарна частинка, яка володіє корпускулярними властивостями



Кожний з перелічених розділів оптики має своє застосування: геометрична оптика – це проекційні прилади, мікроскопи, телескопи, окуляри; хвильова оптика – інтерферометри, дифракційні спектрографи, поляриметри; квантова оптика – пірометри, спектрографи, фотоелементи, лазери.

Проекційний апарат призначений для збільшення зображення, нанесеного на прозору основу. Джерело світла висвітлює пластинку із зображенням. Проходячи через неї, промені світла заломлюються в системі лінз, з якої виходять розбіжним пучком.





Фотометричні величини

Величини, що характеризують оптичне випромінювання у видимій частині спектра ($380 \div 760 нм$) відносно приймача (людського ока) називають світловими або фотометричними.

Основною світловою одиницею CI є одиниця сили світла – кандела ($кд$). $1кд$ – сила світла, яку випромінює з площі $1/600000 м^2$ абсолютно чорне тіло у перпендикулярному напрямку при температурі твердження платини ($2042K$) і тиску $10^5 Па$.

Під силою світла розуміють фізичну величину, яка чисельно дорівнює світловому потоку, що випромінюється точковим джерелом світла через одиничний тілесний кут:

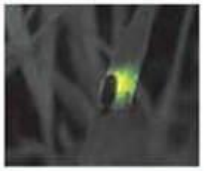
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}.$$

Для ізотропних джерел світла (джерела, сила світла яких не залежить від напряму):

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}.$$

До похідних світлових одиниць належать: люмен – одиниця світлового потоку, люкс – одиниця освітленості, ніт – одиниця яскравості.

Одиницею світлового потоку є люмен ($лм$). 1люмен – це фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку, що випромінюється ізотропним джерелом із силою світла в 1 канделу всередині тілесного кута в 1 стерадіан.

Джерело світла	Сила світла, кд	Джерело світла	Сила світла, кд
Сонце	$\approx 3 \cdot 10^{27}$ кд	Прожектор	$\approx 8 \cdot 10^{8}$ кд
Маяк	$\approx 1 \cdot 10^{5}$ кд	Фара автомобіля (дальнє світло)	≈ 12 000 кд
Фара велосипеда	≈ 60 кд	Лампочка ліхтарика	≈ 0,5 – 3 кд
Свічка	≈ 0,5 – 2 кд	Світлячок 	≈ 0,01 – 0,001 кд

ОСВІТЛЕНІСТЬ

Освітленість - це фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку, що падає на одиницю освітленої поверхні

$$E=\frac{\Phi}{S}$$

де E –освітленість, Ф- світловий потік, S- площа поверхні,
на яку падає світловий потік

За одиницю освітленості взято люкс (лк) (від латин. lux – світло)

Світність – фізична величина, яка характеризує протяжні джерела світла і чисельно дорівнює повному світловому потоку $d\Phi$, що випромінюється одиницею площі його поверхні dS в один бік (у середину тілесного кута 2π):

$$R = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{Id\Omega}{dS}.$$

Якщо світність поверхні зумовлена її освітленістю, то

$R = \rho \cdot E$, де ρ – коефіцієнт відбивання.

Одиницею світності є люмен на квадратний метр ($\frac{лм}{м^2} = лк$).

Яскравість – світлова характеристика протяжного джерела світла. Яскравість B у даному напрямі – це фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку $d\Phi$, що випромінюється з одиниці видимої поверхні всередину одиничного тілесного кута у заданому напрямі:

Одиницею яскравості є кандела на квадратний метр ($\frac{кд}{м^2}$). Її також називають ніт ($нт$). 1 ніт – це яскравість плоскої поверхні, сила світла якої у нормальному напрямі дорівнює одній канделі з квадратного метра.

Енергетичні величини

З енергетичної точки зору одна кандела дорівнює силі світла у заданому напрямі джерела, близького до монохроматичного ($\nu = 5{,}4 \cdot 10^{14}\,Гц$, $\lambda = 555 нм$), енергетична сила світла якого у цьому напрямі становить $\frac{1}{683}\frac{Вт}{стер}$.

$$I\left[\frac{Вт}{стер}\right]$$

Світловий потік Φ являє собою світлову енергію dW, яка падає на освітлювальну поверхню за одиницю часу dt:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}\left[\frac{Дж}{с} = Вт\right]$$

Освітленість – це енергія, що потрапляє на одиницю освітлювальної поверхні $d\sigma$ за одиницю часу dt:

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma} = \frac{Id\Omega}{dS}\left[\frac{Вт \cdot стер}{стер \cdot м^2} = \frac{Вт}{м^2}\right]$$

Світність – це енергія, яку випромінює одиниця світної поверхні dS за одиницю часу dt:

$$R = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{Id\Omega}{dS}\left[\frac{Вт \cdot стер}{стер \cdot м^2} = \frac{Вт}{м^2}\right]$$

З енергетичної точки зору яскравість джерела світла визначається як світлова енергія, що випромінюється з одиниці світної поверхні всередину одиничного тілесного кута:

Співвідношення між світловими і енергетичними величинами

Назва величини	Формула	Світлова одиниця вимірювання	Енергетична одиниця вимірювання
Сила світла	I	*кд (кандела)*	$\frac{Вт}{стер}$
Світловий потік	$d\Phi = I \cdot d\Omega$	*лм (люмен)*, $1лм = 1кд \cdot стер$	$Вт$
Освітленість	$E = I\frac{d\Omega}{dS}$	*лк (люкс)*, $1лк = 1\frac{кд \cdot стер}{м^2}$	$\frac{Вт}{м^2}$
Світність	$R = I\frac{d\Omega}{d\sigma}$	*лк (люкс)*, $1лк = 1\frac{кд \cdot стер}{м^2}$	$\frac{Вт}{м^2}$
Яскравість	$B = \frac{I}{d\sigma \cdot \cos i}$	*нт (ніт)*, $1нт = 1\frac{кд}{м^2 \cdot рад}$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot стер}$