

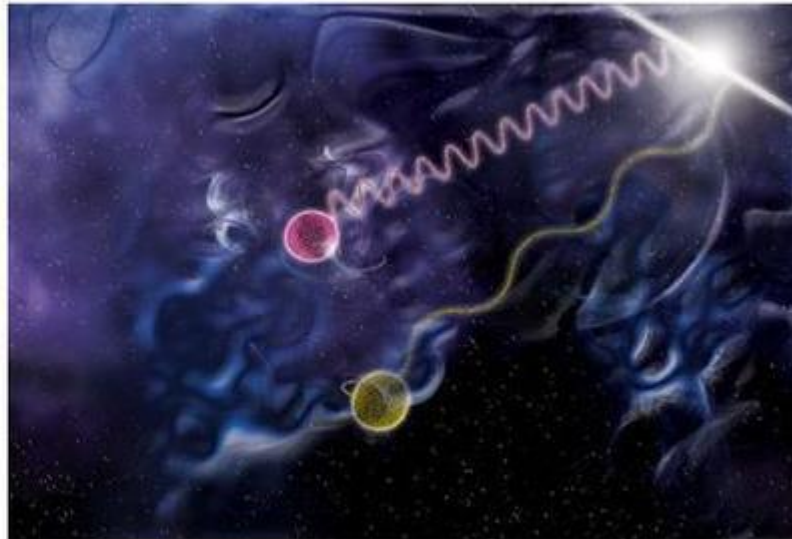
Оптичне випромінювання

к.ф.-м.н., ст. викл.

Пилипенко О.В.

Намагаючись подолати труднощі класичної фізики щодо пояснення випромінювання нагрітого твердого тіла Макс Планк висловив: **запас енергії коливальної системи, яка знаходиться у рівновазі з електромагнітним випромінюванням, не може набувати довільних значень.** Мінімальну кількість енергії, яку система може поглинати або випромінювати, називають **квантом енергії**, вона пропорційна частоті коливань n : $E=hn$, де n - частота коливань електромагнітного випромінювання; $h= 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - стала Планка.

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



Пропускаючи і поглинаючи енергію світло поводить ся як потік частинок з енергією $E=h\nu$. Порція світла випадково почала бути схожою на те, що називають частинкою. Властивості світла, які виявляються під час поглинання і випромінювання, називають **корпускулярними**, а саму світлову частинку – **фотоном** чи квантом електромагнітного випромінювання.

Виразивши енергію фотона можна також виразити через циклічну частоту та відповідно до теорії відносності енергія завжди пов'язана з масою відношенням $E=mc^2$ отримаємо вираз для маси фотона

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

Але фотон має лише релятивіську масу і не має маси спокою. Фотон має масу доти, доки він рухається зі швидкістю світла. Якщо фотон зіштовхується з перешкодою, енергія фотона переходить до перешкоди і його маса зникає.

За сучасними уявленнями світло випромінюється і поглинається порціями, а тому і поширюється порціями. Фотон зберігає свою індивідуальність протягом всього свого існування. Водночас світлу властиві явища інтерференції, дифракції, поляризації та інші хвильові властивості. Ці факти дозволили зробити припущення, що світлу властивий **дуалізм**(подвійність). Під час поширення світло виявляє електромагнітні властивості, а під час поглинання - корпускулярні.

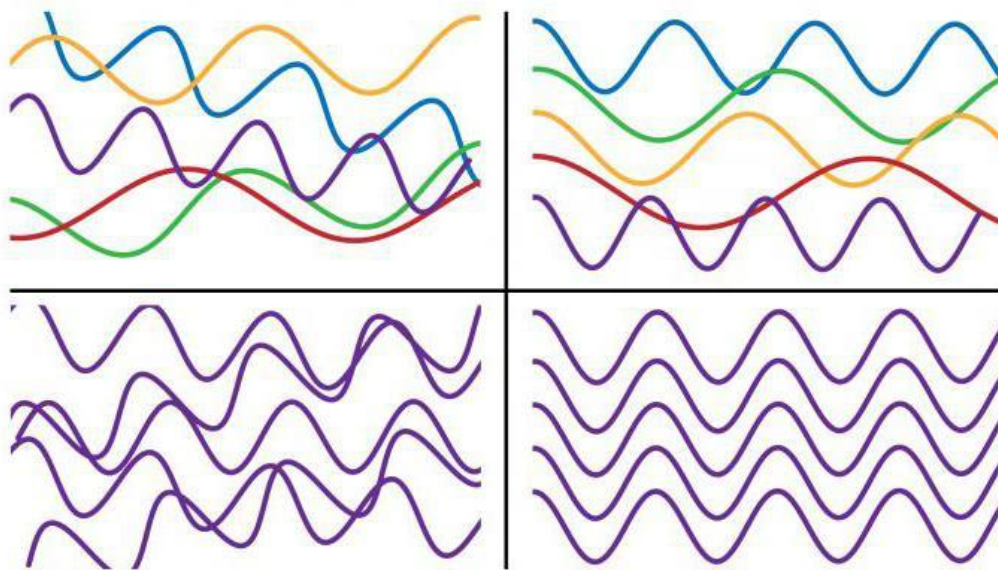
Корпускулярно-хвильовий дуалізм- це загальна властивість матерії, що виявляється особливо на мікроскопічному рівні. Тому мікрочастинці з імпульсом $p=mc$ відповідає хвиля завдовжки

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Такі хвилі називають **хвилями де Бойля**. Для них характерні явища інтерференції та дифракції, але вони не мають електромагнітної природи. Зміст корпускулярно-хвильового дуалізму світла полягає в тому, що світло має складну природу, яка залежно від умов досліду лише наближено можна описати із застосуванням звичних для нас уявлень про хвилі та частинки, так, в явищі фотоефекту світло взаємодіє з речовиною як потік дискретних частинок (фотонів), а під час проходження крізь вузькі отвори в перешкодах він поводить себе як хвиля (дифракція). Зі зростанням частоти корпускулярні властивості фотонів виявляються дедалі сильніше. Якщо для низькочастотного випромінювання або радіохвиль більш характерні хвильові властивості, то високочастотне випромінювання поводить себе здебільшого як потік частинок. Світлові хвилі створюють тиск на перешкоду, з якою вони зіштовхуються, оскільки примушують електрони впорядковано рухатися в тілі. На них з боку магнітного поля світлової хвилі діє сила Лоренца, яка за правилом лівої руки напрямлена в бік поширення хвилі.

Когерентність світлових хвиль – це узгодженість протікання коливних процесів, що виражається в закономірному зв'язку між фазами, частотами, поляризаціями й амплітудами цих хвиль.

Якщо всі фотони знаходяться в одному квантовому стані (моді), то ми маємо справу з **плоскою** монохроматичною світловою хвилею з заданим хвильовим вектором і поляризацією. Близькі за властивостями поля дають одномодові лазери, що працюють при значному перевищенні порогу генерації. Цей випадок відповідає **повній когерентності** світлових коливань. В іншому граничному випадку рівноважного теплового випромінювання фотони майже рівномірно розподілені по різних модах поля. Випромінювання такого типу **некогерентне**. Таким чином, **когерентність випромінювання принципово пов'язана з його нерівноважністю**.



З іншого боку, когерентність випромінювання тим вища, чим сильніше виражені його хвильові і слабкіше – корпускулярні властивості. Тому умову класичності світлового поля (2.52) певною мірою визначає також і умова його когерентності.

Оптичне випромінювання

Теплове випромінювання. Тепловим називають електромагнітне випромінювання тіла, що знаходиться в стані термодинамічної рівноваги з навколишнім середовищем. Таке випромінювання мають всі тіла при будь-яких температурах T , відмінних від абсолютного нуля.

Люмінесценція – це випромінювання надлишкове над тепловим випромінюванням тіла при даній температурі і триває після припинення збудження протягом часу, що перевищує період світлових коливань.

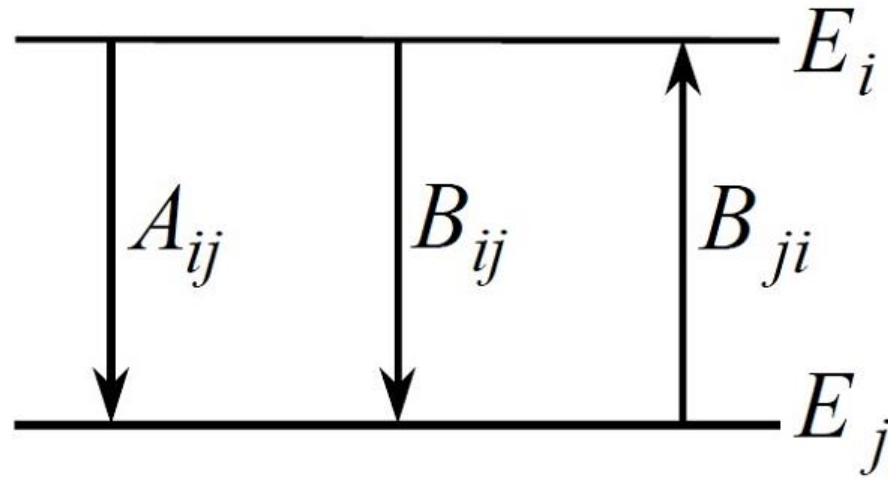
Для збудження люмінесценції енергія повинна підводитися до тіла будь-яким нетепловим способом. За способом збудження виокремлюють кілька видів люмінесценції. Фотолюмінесценція – світіння речовини під дією оптичного випромінювання (зазвичай видимого або ультрафіолетового).

Електролюмінесценція – світіння під дією електричного поля (пов'язана з протіканням через речовину електричного струму).

Катодолюмінесценція – світіння речовини при бомбардуванні його пучком швидких електронів.

Радіолюмінесценція – світіння деяких середовищ під дією продуктів радіоактивного розпаду (α -, β - і γ -променів) і космічного випромінювання. У сучасній оптоелектроніці найчастіше використовується електролюмінесценція твердих тіл.

Спонтанне і вимушене випромінювання.



Між виділеними рівнями можливі оптичні переходи трьох типів: спонтанні переходи з випромінюванням (A_{ij}), вимушені переходи з випромінюванням (B_{ij}) і з поглинанням (B_{ji}) світла.

Лазерна генерація

Для перетворення оптичного підсилувача в оптичний квантовий генератор або лазер необхідно забезпечити позитивний оптичний зворотний зв'язок достатньої величини.

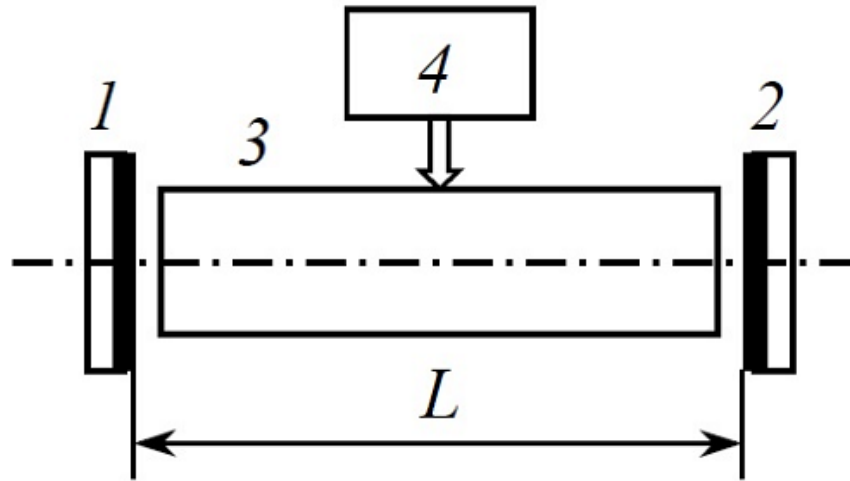


Рис. Схема лазера:

1 і 2 – дзеркала резонатора; 3 – активна речовина; 4 – система накачування

Такий позитивний зворотний зв'язок створюється шляхом встановлення активної речовини у *відкритий оптичний резонатор*, утворений двома паралельними дзеркалами і без бічних поверхонь. Принаймні одне з цих дзеркал робиться напівпрозорим для виведення генерованого випромінювання з лазера

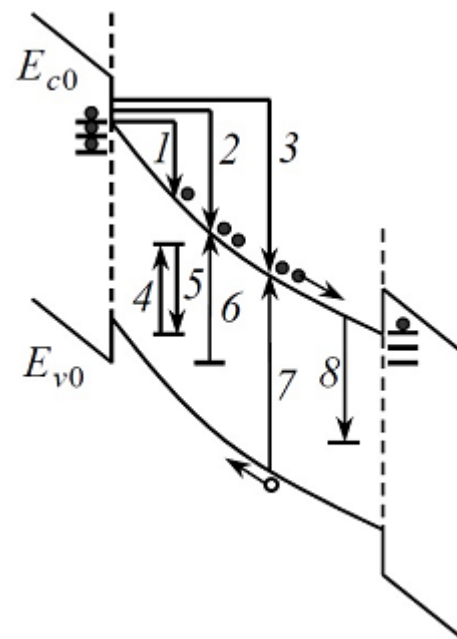
Випромінювальні процеси у твердих тілах

Добробійна електролюмінесценція.

Це явище спостерігається в кристалофосфорах – напівпровідниках із широкою забороненою зоною, в які вводяться домішки (активатори), що виконують роль центрів випромінювання. Як основний матеріал зазвичай використовують сульфід (ZnS) і селенід цинку (ZnSe). Як активатор використовують мідь (Cu), марганець (Mn), срібло (Ag), золото (Au), ртуть (Hg), тербій (Tb), ербій (Er), тулій (Tm) та ін. Крім активаторів, у ZnS вводяться співактиватори, які самі не викликають світіння, але впливають на дію активатора.

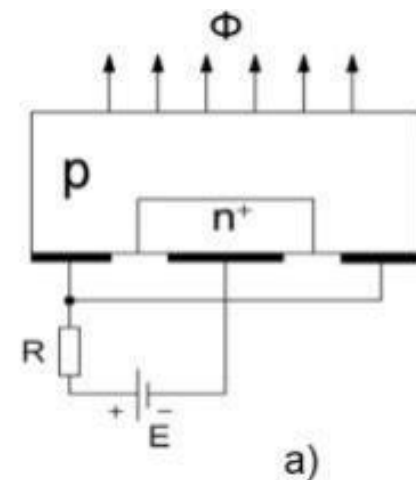
за один період напруги формуються два стрибки інтенсивності випромінювання, що називаються хвилями яскравості, тобто при частоті збуджуючої напруги f світло буде пульсувати з частотою $2f$.

Галузі застосування електролюмінесцентних випромінювачів: знаковитезуючі індикатори, світлові шкали, екрани, табло, багатоколірні мнемосхеми, підсилювачі і перетворювачі зображення тощо.



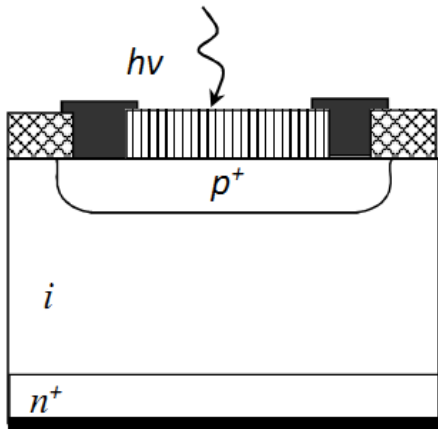
Зонна діаграма і переходи електронів в ізолюваному зерні або плівці люмінофора, що знаходяться між двома діелектричними шарами

Інжекційна люмінесценція – це генерація оптичного випромінювання в р-п переході. Вона об'єднує два процеси: інжекцію носіїв і власну електролюмінесценцію. За допомогою інжекції забезпечується створення нерівноважних носіїв заряду, для чого р-п перехід зміщується джерелом напруги у прямому напрямі. У такому режимі електрони з n- області напівпровідника інжектують у р – область, де вони є не основними носіями заряду, а дірки – в зустрічному напрямі. Далі відбувається рекомбінація зайвих неосновних носіїв заряду з електричними зарядами протилежного знаку. Випромінювальною є область лише з одного боку р-п переходу, для чого n-область легують сильніше, ніж акцепторну р-область. Таким чином, у несиметричній структурі інжекція є односторонньою – з n-емітера в р- базу – і випромінює базова область. Принцип інжекційної люмінесценції використовується у світлодіодах.



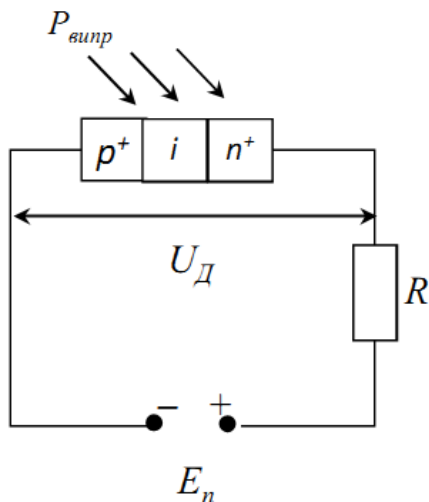
p-i-n - фотодіоди

В p-i-n -фотодіоді на підкладці з n-типом провідності сформовано слабологований i-шар (напівпровідник з власним типом провідності) і шар з p-провідністю товщиною до 0,3 мкм.



При подачі зворотної напруги між p і n областями створюється електричне поле, в результаті збідненою виявляється весь i-шар. Ємність переходу зменшується, розширюється область поглинання падаючого випромінювання і підвищується чутливість приладу. Електричне поле збідненого шару ($E=10^3$ В/см), прискорює носії до швидкості 10^7 см/с). Електричне поле змушує електрони дрейфувати до позитивно зарядженої n-області, а дірки до негативно зарядженої p-області.

Результат - створюється фотострум



p-i-n -фотодіод є базовим елементом для всіх оптичних ліній зв'язку.

Використання i-шару дозволяє реєструвати неосновні носії заряду і забезпечує високу швидкість (10^7 - 10^9 Гц).

