Фізика 11

Урок 79 Квантово-оптичні генератори (лазери)

Мета уроку:

Навчальна. Формувати знання про спонтанне та вимушене випромінювання, будову та принцип дії квантового генератора випромінювання, перетворення енергії, властивості лазерного випромінювання та широке використання лазерів у різних галузях.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів; вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; вміння стисло і грамотно висловлювати свої міркування та обґрунтовувати їхню правильність.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: урок вивчення нового матеріалу.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

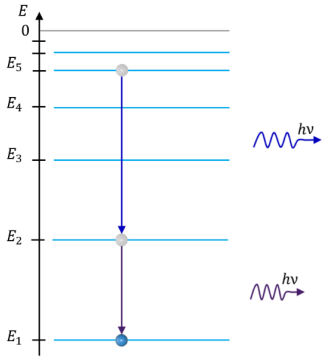
I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Що таке квантові генератори та де їх застосовують?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Спонтанне і вимушене випромінювання



Час життя атома у збудженому стані зазвичай є дуже нетривалим і становить 10^{-9}–10^{-10} с, після чого атом «самостійно» (спонтанно) повертається в основний стан із випромінюванням фотонів (або фотона) чітко визначених частот.

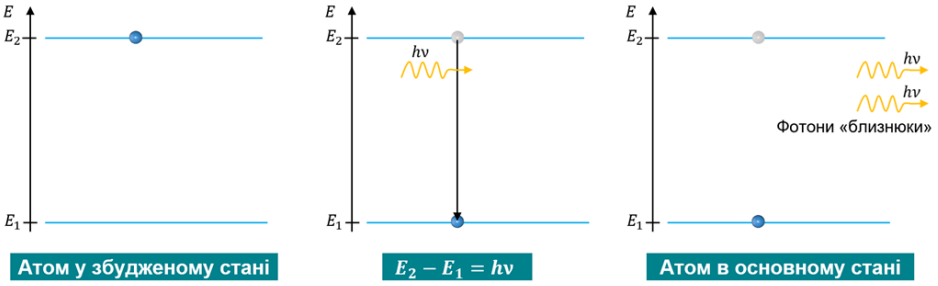
Спонтанне випромінювання – це випромінювання, що випускається внаслідок спонтанного переходу атома з одного стану в інший.

Спонтанне випромінювання некогерентне, бо кожен атом починає й закінчує випромінювати незалежно від інших.

У деяких випадках перехід електрона з верхнього енергетичного рівня на нижній із випромінюванням фотона може відбуватися не тільки спонтанно, але й вимушено – під впливом зовнішнього електромагнітного поля.

Індуковане (вимушене) випромінювання – це випромінювання, що випускається внаслідок вимушеного (під впливом зовнішньої електромагнітної хвилі) переходу атома зі збудженого стану в основний.

Індуковане випромінювання монохроматичне, когерентне, поляризоване, практично не розсіюється (можна отримати дуже вузький пучок світла).



Уже зазначалося, що атом перебуває у збудженому стані дуже короткий час.

Метастабільний стан – це стан при якому атоми речовини мають збуджені стани, в яких вони можуть перебувати протягом доволі тривалого часу, порядку 10^{-3} с.

Індуковане випромінювання таких атомів спричинило появу принципово нового типу генераторів світла – *квантових генераторів*.

2. Квантовий генератор

Проблемні питання • Як працює квантовий генератор?

Квантовий генератор – це джерело електромагнітних хвиль, дія якого будується на явищі вимушеного випромінювання.

Перший квантовий генератор був створений у 1954 р. двома незалежними одна від одної групами радіофізиків – радянськими фізиками *Миколою Геннадійовичем Басовим* (1922-2001), *Олександром Михайловичем Прохоровим* (1916-2002) і групою американських учених під керівництвом *Чарлза Гарда Таунса* (1915-2015). Винайдений квантовий генератор випромінював електромагнітні хвилі радіодіапазону.

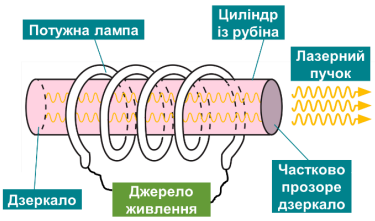
Перші лазери були створені у 1960 р.

Лазер – це квантовий генератор, який працює в оптичному діапазоні.

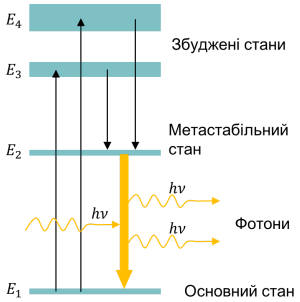
Принцип роботи лазерів:

Якщо на збуджений атом падає фотон, енергія якого дорівнює енергії збудження, то взаємодія цього фотона зі збудженим атомом спричиняє повернення атома в основний стан із випромінюванням вторинного фотона. Напрямок руху та енергія вторинного фотона такі самі, як у фотона, що спричинив випромінювання, тобто виникають два фотони-«близнюки». Якщо в речовині буде багато збуджених атомів, то кожний із фотонів-«близнюків» спричинить появу двох нових «близнюків» і т. д. Урешті-решт виникне *«лавина» фотонів з однаковими характеристиками.*

Принцип роботи рубінового лазеру:



Рубін – це кристал алюміній оксиду (Al_2O_3), у якому невелика кількість атомів Алюмінію 0,05%) заміщена атомами Хрому (атоми Хрому мають метастабільний стан). Кристалу надають форми циліндра, на два торці якого наносять відбивний шар (дзеркало). Одна із дзеркальних поверхонь повністю відбиває світло, друга є частково прозорою: 92 % світлового потоку відбивається від неї, а близько 8 % пропускається. Рубіновий стрижень поміщений усередину імпульсної спіральної лампи, яка є джерелом збуджувального випромінювання. Під час спалаху лампи атоми Хрому, поглинаючи випромінювання певної частоти, переходять із основного стану з енергією E_1 у збуджені стани з енергіями E_3, E_4.



Накачуванням – це процес переведення атомів з основного стану в збуджений, а лампа, яку використовують для цього – це лампа накачування.

Час перебування атомів Хрому в збудженому стані (на рівнях з енергіями E_3, E_4) є малим, і тому майже миттєво більша частина атомів переходить у метастабільний стан з енергією E_2.

Варто одному атому Хрому здійснити спонтанний перехід із метастабільного стану в основний із випромінюванням фотона, як виникає лавина фотонів, спричинена індукованим випромінюванням атомів Хрому, що перебувають у метастабільному стані. Якщо напрямок руху первинного фотона є чітко перпендикулярним до торців рубінового циліндра (а такі фотони є завжди), то первинні та вторинні фотони відбиваються від одного торця й летять крізь кристал до другого торця. На своєму шляху фотони спричиняють вимушене випромінювання в інших атомах Хрому і т. д. Процес завершується за 10^{-8}–10^{-10} с. Потужність світлового випромінювання лазера може сягати 10^9 Вт, що перевищує потужність електростанції.

3. Застосування лазерів

Лазерні пучки використовують:

В науці – як якісні джерела монохроматичного когерентного світла;

В техніці – для різання, зварювання, свердлення матеріалів;

В хірургії й офтальмології – як скальпель для «приварювання» сітківки.

За допомогою лазерного пучка здійснюють *кабельний теле-* і *радіозв'язок*, одержують *голографічні зображення*.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Чому звичайну лампу не можна вважати квантовим генератором?

Лампу не можна вважати квантовим генератором через те, що вона випромінює під дією спонтанного випромінювання, а квантові генератори випромінюють електромагнітні хвилі під дією вимушеного (індукованого) випромінювання.

2. Максимального енергетичного рівня атоми рубінового лазера сягають у разі поглинання світлових хвиль довжиною 560 нм, при цьому лазер генерує хвилі довжиною 694 нм. Яку енергію випромінює атом під час переходу зі стану з найбільшим рівнем енергії у метастабільний стан?

Дано:

$\lambda_1 = 560$ нм $= 5,6 \cdot 10^{-7}$ м

$\lambda_2 = 694$ нм $= 6,94 \cdot 10^{-7}$ м

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

$c = 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

E_{12} – ?

Розв'язання

$$E_{12} = E_1 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} = hc\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)$$

$$E_{12} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8} \bullet \left(\frac{1}{5,6 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{6,94 \cdot 10^{-7}}\right)$$

$$\approx 6,86 \cdot 10^{-34} \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $E_{12} \approx 6,86 \cdot 10^{-34}$ Дж.

3. Лазерна указка – це портативний квантово-оптичний генератор. Скільки фотонів за секунду випромінює такий генератор, якщо він працює на довжині хвилі 532 нм, а потужність його випромінювання становить 5 мВт? Світло якого кольору випромінює ця лазерна указка?

Дано:

$t = 1$ с

$\lambda = 532$ нм $= 5,32 \cdot 10^{-7}$ м

$P = 5$ мВт $= 5 \bullet 10^{-3}$ Вт

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

$c = 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

N – ?

Розв'язання

Потужність випромінювання: $P = \frac{W}{t}$

Сумарна енергія випромінювання фотонів: $W = NE$

Енергія одного фотона: $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

$$P = \frac{N \cdot \frac{hc}{\lambda}}{t} = \frac{Nhc}{\lambda t} \quad => \quad N = \frac{P\lambda t}{hc}$$

$$N = \frac{5 \bullet 10^{-3} \cdot 5,32 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}} \approx 1,34 \cdot 10^{16}$$

Відповідь: $N \approx 1,34 \cdot 10^{16}$; колір зелений.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Яке випромінювання називають спонтанним? індукованим (вимушеним)? Назвіть їх властивості.

2. Яку властивість повинні мати атоми активної речовини в оптичному квантовому генераторі?

3. Як улаштований лазер?

4. Поясніть, як працює лазер.

5. Наведіть приклади застосування лазерів.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 38, Вправа № 38 (1, 5)