КВАНТОВІ ГЕНЕРАТОРИ. ЛАЗЕРИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Як уже зазначалося, атом не може тривалий час перебувати у збудженому стані — через деякий час (порядку 10-8с) він переходить в умовно стабільний або стабільний стан. Такий самочинний його перехід з одного енергетичного стану в інший супроводжується, як правило, спонтанним випромінюванням кванта світла певної частоти. Оскільки це відбувається з кожним атомом довільно, то за звичайних умов спостерігається спонтанне випромінювання світла атомами, яке в сукупності є різночастотним, немонохроматичним і некогерентним за своєю природою.

Електромагнітне випромінювання певної частоти (довжини хвилі) називають монохроматичним; випромінювання, що має однакову фазу, є *когерентним*.

У 1917 р. А. Ейнштейн припустив, що за певних умов випромінювання може бути вимушеним. Зокрема, якщо електрон в атомі переходить з одного енергетичного рівня на інший під дією зовнішнього електро-магнітного поля, частота якого збігається з власною частотою квантового переходу електрона  то випромінювання буде індукованим.

Індуковане електромагнітне випромінювання є монохроматичним і когерентним. Особливістю такого випромінювання є те, що воно поширюється в тому самому напрямку, що й падаюче світло, є монохроматичним і когерентним з ним, тобто не відрізняється від поглинутої атомом електромагнітної хвилі ні за частотою, ні за фазою, ні за поляризацією. Інакше кажучи, внаслідок проходження електромагнітної хвилі крізь речовину може відбуватися когерентне підсилення світла за рахунок індукованого випромінювання (мал. 7.11). Таке підсилення можливе лише тоді, коли більшість атомів речовини перебуває у збудженому метастабільному стані. З цією метою можна використовувати різні способи активізації речовини. Зокрема, в рубінових лазерах це робиться за допомогою потужної лампи, яка змушує електрон до квантового переходу на вищий рівень за рахунок поглинання фотона. У такому стані атом може перебувати недовго, і тому через деякий час він повертається у стабільний стан, випромінюючи при цьому світло з частотою падаючого випромінювання: . Це явище, передбачене ще А.Ейнштейном, покладено в основу *принципу дії квантових генераторів* і підсилювачів.



У 1954 р. вчені М. Г. Басов і О. М. Прохоров та незалежно від них у 1955 р. американський фізик Ч. Таунс створили перший квантовий підсилювач електромагнітного випромінювання в діапазоні радіохвиль так званий мазер. У 1964 р. вони були удостоєні Нобелівської премії за фундаментальні праці в галузі квантової електроніки. У 1960 р. американський фізик Т. Мейман створив на кристалі рубіна перший квантовий генератор оптичного діапазону, названий лазером. Рубіновий лазер складається з кристала рубіна (оксид Алюмінію АІ2О3 з домішками Хрому), виготовленого у формі стрижня 1 з плоскопаралельними торцями 2 (мал. 7.12). Один із торців роблять дзеркальним, а другий — напівпрозорим. Рубіновий стрижень охоплює спіральна газорозрядна лампа імпульсного режиму 3, у спектрі випромінювання якої є електромагнітна хвиля збуджувальної частоти. Атом Хрому в кристалі рубіна, поглинаючи фотон з довжиною хвилі 560 нм, активізується і переходить з основного, стабільного стану Е1 у збуджений з енергією E3(мал. 7.13). У такому стані він існує недовго (близько 10-8 с), після чого самочинно переходить на метастабільний рівень E2, в якому перебуває більш тривалий час (близько 10-3с). Така трирівнева система активізації рубіна дає змогу насичувати його метастабільний енергетичний рівень. Оскільки більшість атомів Хрому знаходиться у збудженому стані, можливе підсилення світла за рахунок вимушеного електромагнітного випромінювання внаслідок квантового переходу атома з метастабільного енергетичного рівня Е2 на основний з енергією Е1.

*Лазер*— абревіатура слів англійського виразу «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» (підсилення світла за допомогою вимушеного випромінювання).

За допомогою лазерів можна досягати інтенсивності короткочасних імпульсів 1014 Втсм2 , що перевищує інтенсивність випромінювання Сонця в 1010разів У підсиленні основну роль відіграють хвилі, що прямують уздовж осі стрижня. Багаторазово відбиваючись від плоскопаралельних торців, вони створюють інтенсивне монохроматичне когерентне випромінювання.

Лазерне випромінювання характеризується певними властивостями, які вирізняють його серед інших джерел світла. Насамперед це вузькоспрямоване проміння з малим кутом розходження (до 10-5рад). Внаслідок цього можлива точна локалізація променя і його вибіркова дія на атоми, іони, молекули, яка викликає фотохімічні реакції, фотодисоціацію та інші фотоелектричні явища. Ця його властивість використовується в лазерній хімії, технологіях запису інформації на лазерних дисках, лікуванні зору тощо.

Вийняткова монохроматичність і когерентність лазерного випромінювання дає змогу використовувати його в побудові стандартів частоти, спектроскопії, голографії, волоконній оптиці, в астрофізичних дослідженнях небесних тіл, тощо. Наприклад, за допомогою лазерної локації вдалося уточнити параметри руху Місяця і Венери, швидкість обертання Меркурія, наявність атмосфер у планет.

Висока сконцентрованість енергії лазерного променя дає змогу досягти значної інтенсивності випромінювання, надвисоких температур і тисків. Це використовують у зварюванні і плавленні металів, для одержання надчистих матеріалів, у лазерній хірургії, під час термоядерного синтезу тощо.

Залежно від активної речовини лазери бувають газові, рідинні, напівпровідникові та твердотілі. З появою лазерів започатковані такі нові розділи фізики, як нелінійна оптика і голографія.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ

1. Обчисліть кінетичну, потенціальну і повну енергію електрона атома Гідрогену, якщо радіус його орбіти дорівнює 5,29 • 10-11 м.

2. Під час квантового переходу енергія атома змінилася на 2,5 еВ. Чому дорівнює частота і довжина хвилі випромінювання?

3. Світло якої довжини хвилі випромінює атом Гідрогену при квантовому переході з п'ятого на другий рівень?

4. Визначити мінімальну енергію збудження атома Гідрогену, якщо його енергія в незбудженому стані дорівнює 13,55 еВ.

5. Яку мінімальну довжину хвилі має світло в серії Бальмера?

Дом.завдання

1. Яке випромінювання називають індукованим?

2. Чим відрізняється спонтанне випромінювання від індукованого?

3. У чому полягає механізм підсилення світла під впливом вимушеного випромінювання?

4. Який принцип дії рубінового лазера?

5. Які основні властивості лазерного випромінювання?

6. Наведіть приклади лазерних технологій.