

15 -дәріс. Еріксіз сәуле шығару. Оптикалық кванттық генераторлар.

Жоспар: *Спонтанды ж/е еріксіз сәуле шығару. Лазердің жұмыс істеу принципі. Гелий-неонды ж/е рубинді лазер. Лазер сәулесінің негізгі қасиеттері. Лазер сәулесін ғылым мен техникада пайдалану.*

Оптикалық кванттық генераторлардың жұмыс істеуі жұтылу, спонтанды ж/е еріксіз сәуле шығару құбылыстарына негізделген. Бұл құбылыстарды сәуле шығарудың кванттық теориясын енгізу арқылы Эйнштейн (1916 ж) түсіндіріп берген.

Лазер деген сөз мынадай ағылшын сөздерінің бірінші әріптерінен құралған «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» (индукцияланған сәуле шығарудың жәрдемімен жарықты күшейту).

Индукцияланған сәуле шығару. 1917 жылы Эйнштейн атомдардың индукцияланған (еріксіз) сәуле шығару мүмкіндігін айтқан болатын. Индукцияланған сәуле шығару дегеніміз – түскен сәуленің әсерінен қозған атомдардың сәуле шығаруы. Бұл сәуле шығарудың тамаша ерекшелігі бар: индукцияланған сәуле шығару кезінде пайда болатын жарық толқынының жиілігі, фазасы, поляризациясы атомға түсетін толқындыкімен дәлме-дәл болады.

Кванттық теорияның тілінде еріксіз сәуле шығару дегеніміз – жоғарғы энергетикалық күйдегі атомның төменгі күйге өтуі, бірақ бұл кәдімгі сәуле шығарудағы сияқты, өздігінен емес, сыртқы әсердің ықпалынан болады.

Лазерлер. 1940 жылдың өзінде -ақ В.А.Фабрикант еріксіз сәуле шығарудың электромагниттік толқындарды күшейту үшін пайдалануға болатынын көрсеткен. 1954 жылы орыс ғалымдары Н.Г.Басов пен А.М.Прохоров және оларға тәуелсіз американдық физигі Ч.Таунс толқын ұзындығы $\lambda = 1.27$ см радиотолқынның генераторын жасау үшін индукцияланған сәуле шығаруды пайдаланды. Радиотолқындарды генерациялаудың және күшейтудің жаңа принциптері саласындағы істеген жұмыстары үшін 1959 жылы Н.Г.Басов пен А.М.Прохоровке Ленин сыйлығы берілді. Ал 1963 жылы Н.Г.Басов, А.М.Прохоров және Ч.Таунс Нобель сыйлығына ие болды.

1960 жылы америкада алғашқы лазер – спектрдің көрінетін диапазонындағы электромагниттік толқындардың кванттық генераторы жасалды.

Лазерлік сәуле шығарудың қасиеттері. Лазерлік жарық көздерінің басқа жарық көздерімен салыстырғанда кейбір елеулі артықшылықтары бар:

1. Лазерлік ажырау бұрышы өте кішкене (10^{-5} радианға жуық) жарық шоғын туғыза алады. Жерден Айға жіберілген осындай шоқ диаметрі 3 км болатын дақ берді.
2. Лазер жарығы аса монохроматты болады. Лазерлердің атомдары бір-біріне тәуелсіз сәуле шығаратын кәдімгі жарық көзінен айырмашылығы – оларда атомдар үйлесімді жарық шығарады. Сондықтан толқын фазасы ретсіз өзгерістерге ұшырамайды.

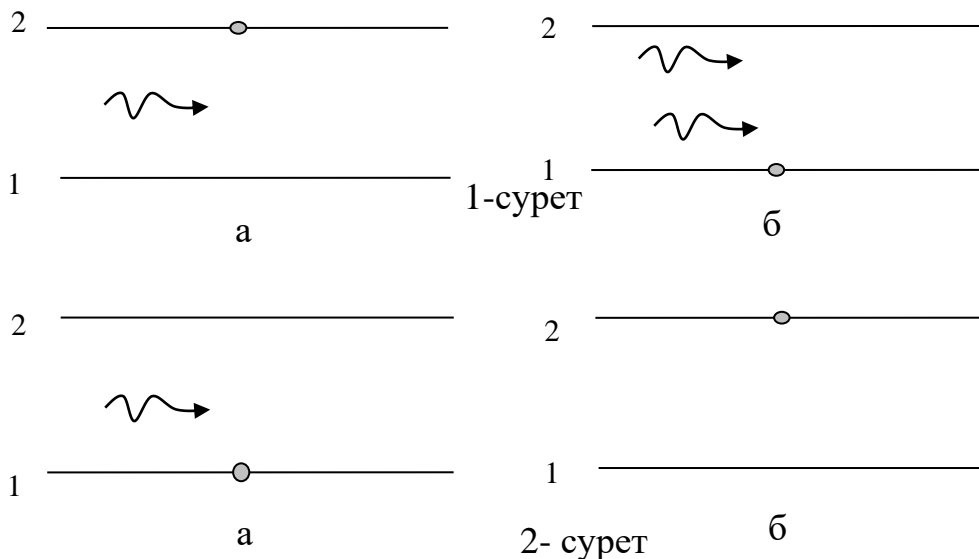
3. Лазерлер ең қуатты жарық көздері болып табылады. Уақыттың қысқа мерзімі ішінде (10^{-13} с уақыт аралығында) спектрдің жіңішке аралығындағы сәуле шығарудың қуаты 10^{17} Вт/см² –қа жетеді, ал Күннің сәуле шығаруы қуаты тек $7 \cdot 10^3$ Вт/см² қана, сонымен бірге бұл барлық спектр бойынша қосынды. $\Delta\lambda = 10^{-6}$ см жіңішке аралыққа (лазердің спектрлік сызықтарының ені). Күннің бар болғаны тек 0,2 Вт/см² қуаты ғана келеді. Лазер шығаратын электромагниттік толқындағы электр өрісінің кернеулігі атом ішіндегі өріс кернеулігінен артып келеді.

Лазердің әсер ету принципі. Әдеттегі жағдайларда атомдардың көпшілігі ең төменгі энергетикалық күйде болады. Сондықтан төменгі температуралардағы заттар сәуле шығармайды.

Электромагниттік толқын зат арқылы өткенде оның энергиясы жұтылады. Толқын энергиясының жұтылуының әсерінен атомдардың бір бөлігі қозады, яғни жоғарғы энергетикалық күйге өтеді. Бұл жағдайда жарық шоғынан 2 және 1 деңгейлердің арасындағы энергия айырымына тең

$$h\nu = E_2 - E_1$$

энергия шегеріледі. Қозбаған атом мен синусоиданың кескіндісі түрінде электромагниттік толқын 1, а-суретте сұлбемен көрсетілген. Электрон төменгі деңгейде тұр. 1,б-суретте энергияны жұтып, қозған атом кескінделген. Қозған атом соқтығысу кезінде өзінің энергиясының көрші атомдарға беруі немесе кез келген бағытта шығаруы мүмкін.

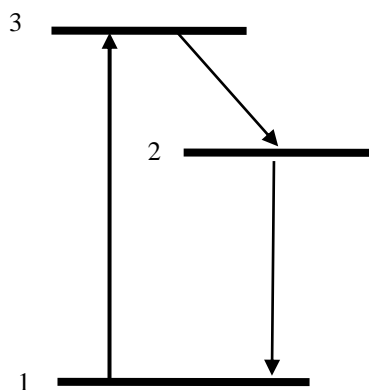


Енді біз белгілі бір тәсілмен ортаның атомдарының көптеген бөлігін қоздырдық делік. Сонда жиілігі

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

электромагниттік толқын зат арқылы өткенде, бұл толқын әлсіремейді, керісінше, индукцияланған сәуле шығарудың есебінен күшейтеді. Соның әсерінен атомдар жиілігі мен фазасы түскен толқындардыкіндей толқын шығарып, төменгі энергетикалық күйге үйлесімді түрде өтеді. 2,а –суретте қозған атом мен толқын көрсетілген, ал 2,б – суретте схема түрінде атом

негізгі күйге өтіп, толқынның күшейгендігі көрсетілген. Бірақ лазер жұмыс істеу үшін энергияның екі деңгейі жеткіліксіз. Шамның жарығы қаншалық қуатты болғанымен, қозған атомдардың саны қозбаған атомдардың санынан артық болмайды. Жарық бір мезгілде атомдарды қоздырады және жоғарғы деңгейден төменгі деңгейге индукцияланған өтуді туғызады. Бұдан құтылу жолы энергетикалық үш деңгейді (деңгейлердің жалпы саны әрқашан да өте көп, әңгіме «жұмыс істеуші» деңгейлер жөнінде ғана) пайдалану арқылы табылады. 3-суретте энергетикалық үш деңгей кескінделген.



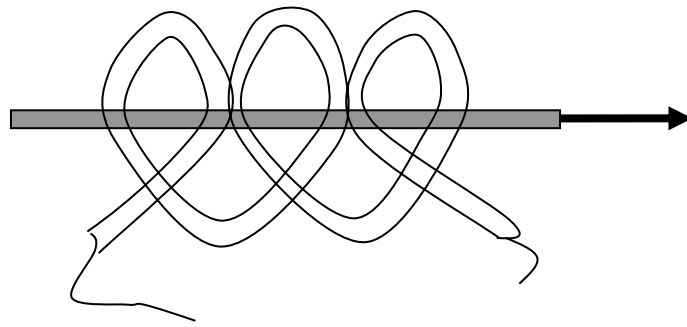
3- сурет

Үш деңгейлік жүйе. Атомдар қозған күйде ортаны алудың түрлуше әдістері бар. Рубин лазерінде бұл үшін арнаулы қуатты шам пайдаланылады. Атомдар жарықтың жұтылуы есебінен қозады.

Сыртқы әсер жоқ кездегі жүйенің әртүрлі энергетикалық күйлерде (өмір сүрі мерзімі) мүлдем түрліше болатындығы өте маңызды. 3-деңгейде жүйе өте аз, 10^{-8} с шамалас қана, өмір сүреді, одан соң өздігінен жарық шығармайды, жүйе 2 – күйге өтеді. (Энергия бұл жағдайда кристаллдық торға беріледі). 2 – күйдегі өмір сүру мерзімі бұдан 100 000 есе көп, яғни 10^{-3} с-қа жуық. Сыртқы электромагниттік толқынның әсерінен 2 – күйден 1 – күйге өту сәуле шығарумен қарбалас жүреді, ол лазерлерде пайдаланылады. Қуатты шама жарық еткеннен кейін жүйе 3 – күйге өтеді де, 10^{-8} с –қа жуық уақыттан соң 2 – күйде болады, мұнда ол едәуір ұзақ «өмір сүреді». Сөйтіп қозған 2 – деңгейде, қозбаған 1 –деңгеймен салыстырғанда, «асыра қоңыстану» пайда болады.

Қажетті энергетикалық деңгейлер рубин (лағыл) кристалында бар. Рубин – хром атомдарының қоспасы бар (0,05 процентке жуық) алюминий тотығының Al_2O_3 ашық қызыл кристал. Дәл осы кристалдағы хром иондары деңгейінің қажетті қасиеттері бар.

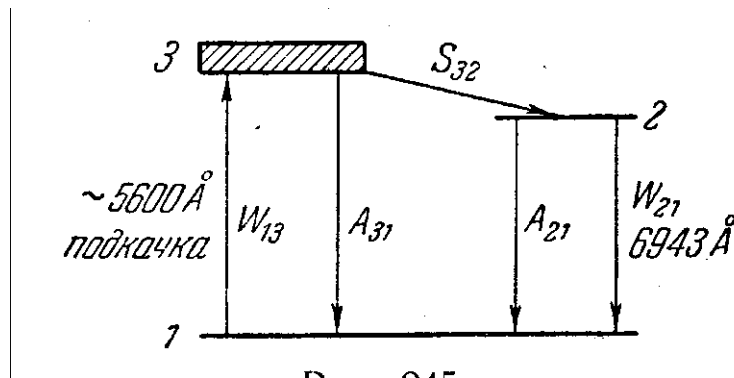
Рубин лазерінің құрылысы. Рубин кристалынан жақтаулары жазық – параллель болып келген стержень дайындалады. Спираль тәрізді (4-сурет) газ разрядтық шама көк жасыл жарық береді. Сыйымдылығы бірнеше мыңдаған микрофарада конденсаторлар батареясының қысқа мерзімді ток импульсі шаманың аса күшті жарқылын туғызады. Аз уақыттан соң 2 –энергетикалық деңгей «асыра қоныстанған» болып шығады.



4- сурет

$2 \rightarrow 1$ өздігінен өту нәтижесінде кез келген бағыттағы толқындар шығарыла бастайды. Кристалл өсімен бұрыш жасай бағытталаындары одан шығып кетеді де, кейінгі процестерде ешқандай роль атқармайды. Бірақ кристалл өсінің бағытымен жүретін толқындар оның жақтауынан бірнеше рет шағылады. Ол хромның қозған иондарының индукцияланған сәуле шығаруын туғызады да, тез күшейеді.

Рубин стерженьнің бір жақтауын айналы, ал екіншісі жартылай мөлдір етіп жасайды. Ол арқылы қуатты қысқа мерзімді (ұзақтығы жүздеген микросекундқа жуық) қызыл жарықтың импульсі шығады, оның осы праграфтың басында айтылған тамаша қасиеттері бар. Барлық атомдар үйлесімді сәуле шығаратындақтан, толқын когеренттік және индукцияланған



5-сурет. Рубин лазеріндегі электрондық өтулер

сәуле шығару кезінде жиналған барлық энергия өте аз уақытта бөлініп шығатындықтан, аса қуатты болады.

Рубин лазері импульстық режимде жұмыс істейді. Кристал ішінде үлкен жылу мөлшері бөлінеді. Оны салқындату сұйық ауа көмегімен жүзеге асырылады.

Лазер сәулесі монохроматтылығымен, бір бағыттылығымен және жоғары интенсивтілігімен ерекшеленеді. Импульстық режимде жұмыс істейтін лазерлердің қуаты импульс уақытын азайту арқылы өте үлкен мәнге ие болады.

Лазерлердің басқа түрлері. Біз танысқан рубин лазері импульстік тәртіпке жұмыс істейді. Сондай-ақ үздіксіз әсерлі лазерлер де бар.

Осы типтес газ лазерлерінде жұмыстық зат газ болып табылады. жұмыстық заттың атомдары электр разрядымен қоздырылады.

Үздіксіз әсер ететін жартылай өткізгішті лазерлер де қолданылады. Олар алғаш рет біздің елімізде жасалған. Бұларда сәуле шығару үшін энергия электр тоғынан алынады.

Жүздеген киловаттық өте қуатты үздіксіз әсер ететін газодинамикалық лазерлер жасалған. Бұл лазерлерде «асыра қоңыстанушылық» - ұлғаю кезінде және бірнеше мыңдаған кельвинге қыздырылған асыра дыбыстық газ ағындарын адиабаттық салқындату арқылы жоғарғы энергетикалық деңгейлерде пайда болады.

Лазерлердің қолданылуы. Лазер сәулесін байланыс үшін, әсіресе жарықты жұтатын бұлттары жоқ ғарыш кеңістігінде қолданудың болашағы зор.

Лазер сәулесінің зор қуаты вакуумдағы материалдарды кептіру, пісіру, және т.б. үшін пайдаланады. Лазер сәулесінің жәрдемімен хирургиялық операция жасауға, мысалы, көз түбінен ажырап кеткен торды «дәнекерлеуге» лазер сәулелерінің когеренттігін пайдаланып, денелердің көлемдік кескіндерін алуға болады.

Лазерлер жарық лакаторын жүзеге асыруға мүмкіндік береді, олардың жәрдемімен, нәрселерге дейінгі қашықтықтық бірнеше миллиметрге дейінгі дәлдікпен өлшенеді. Радиолакатор үшін мұндай дәлдік мүмкін емес.

Лазерлік сәулелер мен атомдарды немесе молекулаларды қоздыра отырып, кәдімгі жағдайларда жүзеге аспайтын химиялық реакцияларды жүргізуге болады.

Термоядролық реакцияны басқаруды жүзеге асыру үшін қуатты лазер сәулелерін пайдаланудың болашағы зор.

Қазіргі кезде лазерлердің қолданылатын жерлері әртүрлі және көп, оның бәрін айтып шығу бір сағат көлемінде қиынға түседі.

Лазерлерді жасау – іргелі ғылымның (кванттық теорияның) дамуы техника мен технологияның алуан түрлі салаларында зор прогресс жасайтындығының мысалы.