

СПОНТАНА И СТИМУЛИСАНА ЕМИСИЈА ЗРАЧЕЊА

Зрачење електромагнетних таласа од стране неких тиела може да се оствари на рачун различитих облика енергије побуде. Као најраспрострањеније јавља се тоplotно зрачење. Топlotно зрачење представља зрачење електромагнетних таласа на рачун унутрашње енергије тијела.

Осим тоplotног зрачења, постоји још једна врста зрачења тијела која не зависи од њихове температуре. Ова врста зрачења је названа луминесценција.

Луминесценција је процес хладне емисије зрачења које се не поковава законима тоplotног зрачења. Термин "хладна" користи се зато што енергија овог зрачења не потиче од претварања тоplotне енергије у свјетлосну, већ од неког другог вида енергије. Може да се јави веома интензивно и на ниским температурама и у свим агрегатним стањима. Ово зрачење обухвата области од ултраљубичасте, преко видљивог дела светлости све до инфрацрвеног зрачења.

Према врсти енергије која се претвара у зрачење постоји више типова луминесценције:

- фотолуминесценција – када се одређена супстанца освијетли свјетлошћу, она емитује свјетлост веће таласне дужине (мање фреквенције)
- радиолуминесценција – зрачење изазвано високоенергетским честицама, радиоактивним зрацима и X-зрацима (на екрану рендгенског апарата)
- катодолуминесценција – настаје при удару електрона (катодних зрака) у препреку (на овој појави је заснован рад већине екрана са катодним цијевима – осцилоскоп, телевизор)
- хемолуминесценција - директна трансформација хемијске енергије у енергију зрачења, без ослобођења топлоте (свјетљење фосфора у мраку)
- електролуминесценција – изазива се електричним пражњењем у разријеђеним гасовима, при чему гас свјетли (флуоресцентне цијеве, живине и ксенонске лампе)
- биолуминесценција – изазвана различитим процесима у живим организмима (свјетљење свитаца и неких врста риба)

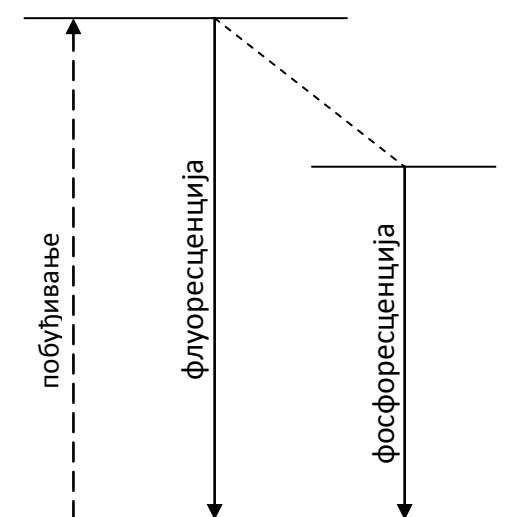
Код течности и гасова луминесцентна свјетлост при фотолуминесценцији нестаје истовремено са престанком освјетљавања тијела, док код чврстих тијела, та свјетлост се продужава неколико минута, па чак и неколико часова.

Ова појава може да се уочи и код осталих типова зрачења. Према трајању побуђеног стања, односно према времену трајања емисије зрачења после престанка побуђивања луминесценција се дели на флуоресценцију и фосфоресценцију. Ако је поменуто вријеме мање од 10^{-4} секунди, ради се о флуоресценцији, а када је вријеме дуже одиграва се фосфоресценција

Класична физика није била у стању да објасни појаву луминесценције. Појава је објашњена применом резултата до којих је довела квантна теорија.

Електрон се, прије побуђивања налази у основном енергетском стању, односно на основном енергетском нивоу. Довођењем енергије електрону, он прелази на виши

енергетски ниво. Приликом повратка електрона на основни ниво емитује се електромагнетно зрачење.



Могућа су два случаја:

- електрон се враћа на основни ниво за веома кратко вријеме при чему се емитује флуоресцентни фотон

- електрон се не враћа директно у основно стање већ се успут задржава на прелазним енергетским стањима

(метастабилни ниво електрона) и након тога прелази на основни ниво уз емисију фосфоресцентног фотона

Могућ је и повратак електрона са метастабилног нивоа на побуђени ниво, обично на вишим температурама). Приликом преласка са побуђеног односно метастабилног нивоа електрон може да пређе директно на основни ниво, а може успут да се задржава на прелазним енергетским стањима. Број емитованих фотона зависи од броја прелазних енергетских стања електрона. На сваки апсорбовани фотон супстанца емитује најмање два фотона.

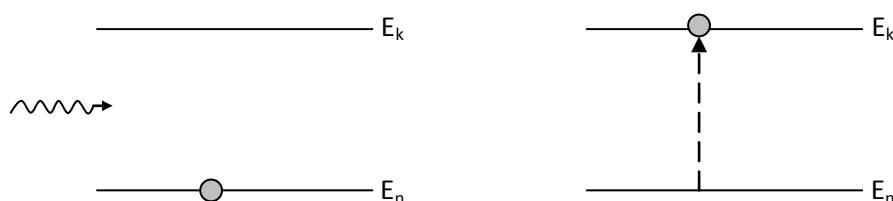
СПОНТАНА И СТИМУЛИСАНА ЕМИСИЈА

Квантни системи (атоми, јони или молекули) емитују или апсорбују свјетлост при промени квантних стања електрона (квантни прелази). Под квантним прелазима подразумијева се прелаз из једног енергетског стања у друго. Постоје три основна квантна прелаз: апсорпција, спонтана емисија и стимулисана емисија.

Апсорпција

Ако се атом налази у стању E_n , он може да се побуди у више енергетско стање E_k , када апсорбује фотон енергије

$$hf = E_k - E_n$$



Процесима апсорпције смањује се број фотона, односно слаби интензитет свјетлости која пролази кроз дату средину.

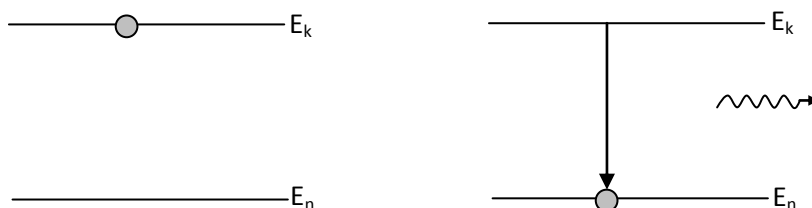
Спонтана емисија

Сви системи у природи, па и атом, теже стању са минимумом енергије, јер су у том стању најстабилнији.

Атом у побуђеном стању проведе веома кратко време (реда 10^{-8} s), после чега се прелазу на ниже енергетско стање емитујући фотон енергије

$$hf = E_k - E_n$$

Прелазак на ниже енергетско стање је спонтани процес, па се оваква емисија назива спонтана емисија.

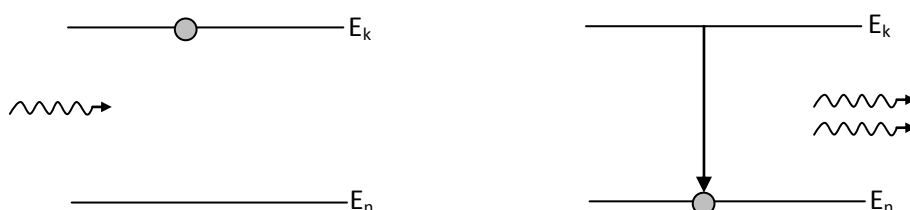


При спонтаној емисији у неком систему добија се некохерентно и неполаризовано зрачење. Фотони имају различите енергије и смјерове кретања. Узрок овакве појаве је што сваки атом почиње и завршава емисију фотона независно од других. И у оквиру истог атома, прелази се врше између различитих нивоа у различитим тренуцима времена. То значи да се спонтано зрачење може приказати великим бројем међусобно независних таласа који имају различите смјерове кретања, различите фазе, фреквенције (таласне дужине) и стање поларизације.

Стимулисана емисија

Поред процеса спонтане емисије, могућ је и процес стимулисане (индуковане) емисије.

Ако се на побуђени атом наиђе фотон одговарајуће енергије $hf = E_k - E_n$, може доћи до преласка атома у ниже енергетско стање, при чему се емитују два међусобно паралелна фотона једнаких енергија. Описани процес се назива стимулисана емисија.



Фотони добијени стимулисаном емисијом имају исте фреквенције(таласне дужине), исти правац, исте фазе и равни поларизације. При стимулисаној емисији добија се кохерентна свјетлост.

Процесима стимулисане емисије повећава се број фотона, односно појачава се интензитет свјетлости у датој средини.

Свјетлост одговарајуће фреквенције у некој средини се може појачавати или слабити. Ако је већи број атома у нижем енергетском стању, процес апсорпције је доминантан над процесом стимулисане емисије и свјетлост слаби. Ако је већи број побуђених атома, процес стимулисане емисије доминира над процесом апсорпције и свјетлост се појачава.

За одржавање стимулисане емисије, потребно је да број атома побуђеном стању буде знатно већи од броја атома, који се налази у основном стању. Појавио се проблем како да се пронађе подесан поступак да се то и оствари. Пошто интензитет свјетлости зависи од броја фотона, који учествују у стимулисаној емисији, утврђено је да њихов број може да се повећа ако се цијели атомски систем постави у простор између између два паралелна огледала чији је задатак да фотоне, који на њих падају, одбијају и враћају назад у систем.

ЛАСЕРИ

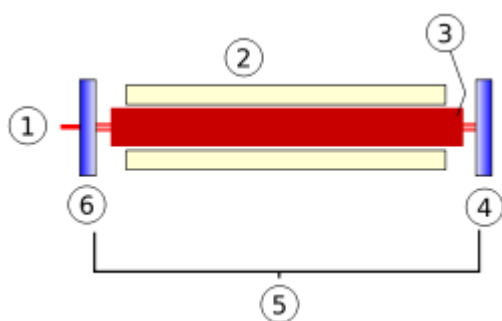
Ласер¹ је извор свјетлосног зрачења који емитује кохерентан сноп фотона, као извор стабилан је по фреквенцији, таласној дужини и снази. За разлику од свјетлости коју емитују уобичајени извори, као што су сијалице, ласерска свјетлост је углавном монохроматска, тј. само једне таласне дужине (боје) и усмјерена је у уском снопу. Сноп је кохерентан, што значи да су електромагнетни таласи међусобно у истој фази и шире се у истом смјеру.

У раду ласера користе се ефекти стимулисане емисије зрачења. Пошто се особине и понашање атома, као и процеси унутар атома описују квантним законима, често се умјесто ријечи ласер користи назив квантни генератор или квантни појачивач.

¹Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – појачавање свјетлосног зрачења помоћу стимулисане емисије

Први ласер конструисао је амерички физичар Теодор Мејман 1960. године. Ласери су квантни генератори који раде у области видљиве свјетлости. Прије ласера коришћени су уређаји под називом масери², који су радили у области микроталаса.

Први ласер који је давао видљиву свјетлост је био рубински ласер, који користи језгро од кристала рубина (Al_2O_3) као извор зрачења. Рубински ласер даје црвену свјетлост таласне дужине 694.3 nm.



Шема рубинског ласера:

1. излазни ласерски сноп
2. оптичка пумпа
3. извор зрачења (у овом случају рубин)
4. високо рефлеktivно огледало
5. резонатор
6. пропусно огледало

Основни дио ласера је цилиндар направљен од рубина дужине 4cm и пречника 4mm.

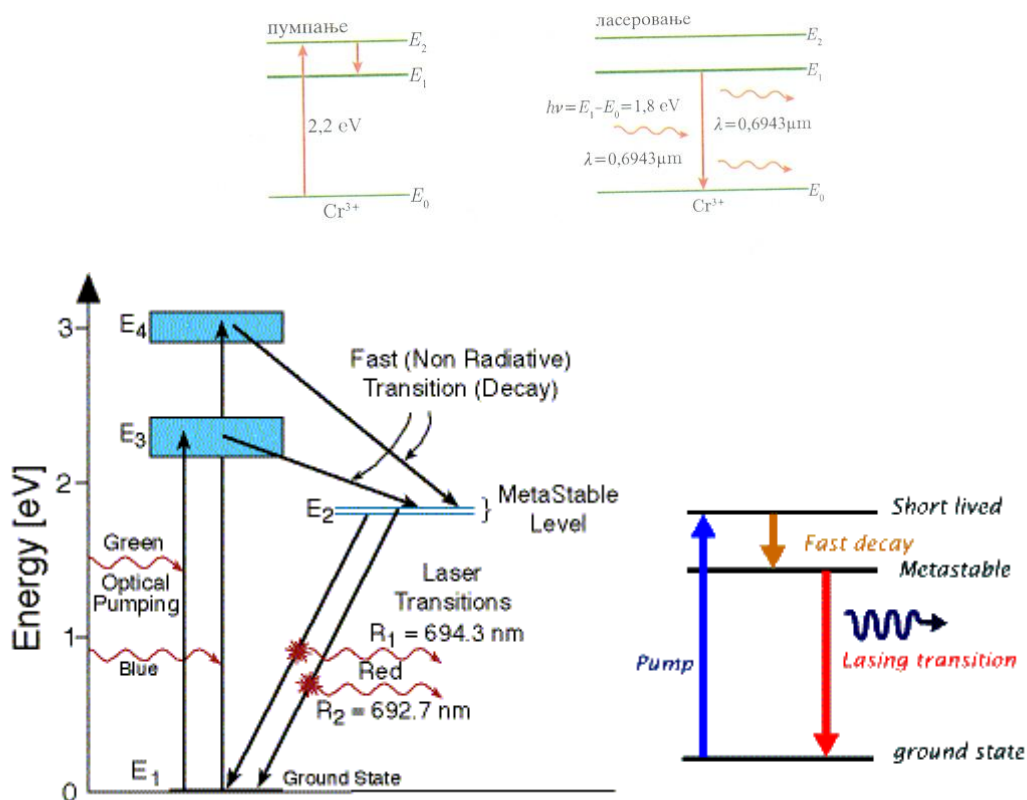


Основе цилиндра су добро исполиране и на њих су нанети слојеви сребра. Један од тих слојева сребра потпуно рефлектује свјетлост (огледало) и враћа је у радну средину. Други слој сребра рефлектује око 90% свјетлости према унутрашњости радне површине, а око 10% пропушта.

У кристалу рубина (Al_2O_3) неки од атома алуминијума су замијењени атомима хрома. Што је већа концентрација хрома, рубин је црвенији. При апсорпцији фотона, јони хрома Cr^{+++} прелазе у побуђено стање. Прелаз у стационарно стање се одвија у двије фазе. У првој фази побуђени јони предају дио своје енергије кристалној решетки и

²Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation – појачавање микроталасног зрачења помоћу стимулисане емисије зрачења

прелазе у метастабилно (прелазно) стање. Средње вријеме живота у метастабилном стању је 10^{-3} секунди. (вријеме живота у побуђеном стању је око 10^{-8} секунди)

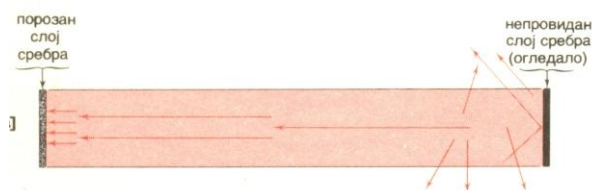


Из метастабилног стања јон хрома прелази у основно стање, емитујући при томе фотон таласне дужине 694nm. При дејству фотона исте таласне дужине јони хрома знатно брже прелазе у основно стање него при спонтаном преласку.

Код ласера рубин се озрачава импулсном ксенонском лампом, која даје свјетлост у широком опсегу фреквенција. При довољној снази лампе већина јона хрома прелази у побуђено стање, а затим већина прелази у метастабилно стање. Процес преласка јона хрома из основног стања у побуђено стање у ласерској техници назива се пумпање ласера.

Преласком из метастабилног стања у основно стање, јони хрома емитују фотоне, који изазивају стимулисано зрачење других јона, фотони, које они емитују изазивају стимулисано зрачење следећих јона итд.

Фотони, настали спонтаном емисијом, простиру се у свим могућим правцима, међутим од интереса су само они фотони који започињу стимулисану емисију у правцу паралелном оси кристала.

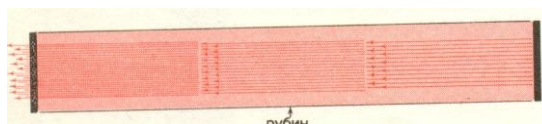


Фотони стимулисаног зрачења имају исти смјер кретања као и упадни фотони. Фотони који се крећу под малим угловима о односу на осу цилиндра доживљавају вишеструку рефлексију од базе цилиндра, што значи да им је путу у кристалу прилично дуг, па ће под њиховим дејством углавном и настати стимулисано зрачење.



Највећи број фотона ће се кретати у овом правцу. Фотони емитовани у другим правцима напуштају кристал кроз бочну површину.

Када ласерски сноп, после вишеструке рефлексије и умножавања, достигне довољну снагу, он се израчи из кристала у виду светлосног импулса.



Основна особина ласерског снопа је изузетна паралелност његових зрака.

При раду ласера загријава се активна средина. Пошто топлота неповољно утиче на рад ласера, конструкцијом ласера предвиђен је систем за хлађење.

Ласери чија концентрација снопа износи $100 \frac{W}{cm^2}$ могу да топе метал.

Основне карактеристике ласерске свјетлости су:

- велика уређеност (кохерентност)
- усмереност - строго одређен правац и смер
- монохроматичност
- велики интензитет

Врсте ласера

Постоје различити критеријуми за систематизацију одосно сврставање ласера у различите групе.

Према начину рада:

- импулсни – емитују ласерске снопове у импулсима
- континуални – емитују непрекидни снопови светлости

У зависности од агрегатног стања и врсте активне средине:

- чврсти ласери (ласери са активном супстанцом у чврстом стању)
 - кристални (рубински ласери)
 - аморфни (стакло са различитим примесама)
- течни ласери – активна средина раствори органских флуоресцентних боја
- гасни ласери
 - атомски (хелијум-неонски)
 - јонски (инертни гасови: аргон, криптон, ксенон)
 - молекулски (угљен-диоксид, азот, хелијум)

Према начину пумпања активне средине:

- ласери са оптичким пумпањем (користи се свјетлост јаким лампи) -кристални и течни
- ласери који се пумпају електричним пражњењем (кроз активну средину пушта се електрична струја – судари електрона и честица активне средине) – гасни
- хемијски ласери (користи се хемијска реакција)