



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛОВДИВ
ФАКУЛТЕТ „Фармация“
ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

Лекция №10 *Медицинска физика*

Луминесценция - същност и основни видове. Механизъм на процеса, енергетичен луминесцентен добив и спектър на излъчване. Фотолуминесценция. Закон на Стокс. Стоксова и антистоксова фотолуминесценция. Хемилуминесценция. Приложения на методите за луминесцентен анализ в медицината и биологията. Лазерно лъчение - естество, свойства и механизъм на излъчване. Лазери - устройство, основни компоненти и принцип на действие. Рубинов импулсен лазер и хелий-неонов лазер с непрекъснато действие. Приложения на лазерите в медицината за терапия, диагностика, профилактика и рехабилитация.

проф. Константин Балашев, д.х.н.

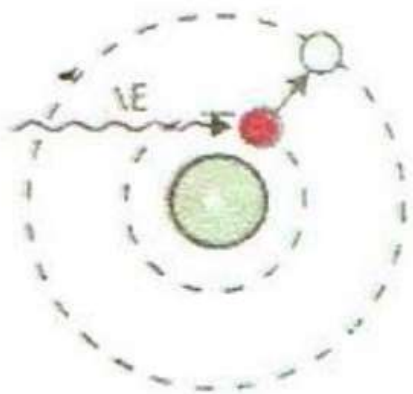
ЛУМИНЕСЦЕНЦИЯ

Луминесценцията е процес на излъчване на фотон електромагнитно лъчение в резултат на спонтанен преход на частица (атом, молекула, йон или друг по-сложен комплекс) от енергетично възбудено в основно, невъзбудено състояние. По своя механизъм луминесценцията се различава от инкандесценцията и може да се излъчва независимо от нея. Топлинното излъчване е равновесно излъчване от електронно невъзбудени частици. Луминесцентното излъчване е неравновесно и се реализира спонтанно от частици, намиращи се в неравновесно, електронно възбудено състояние.

Макар че е наблюдавано и известно още от древността, явлението луминесценция за пръв път е описано през XVIII век (1775 г. от *Forskal*), а дефинирано и класифицирано едва в края на XIX столетие (от *Widemann*, 1888 г.). Природни луминесцентни явления са северното сияние, светенето на някои минерали, животни и растения. Изкуствени източници на луминесцентна светлина са луминесцентните лампи, екраните на телевизионните приемници и др.

Механизъм

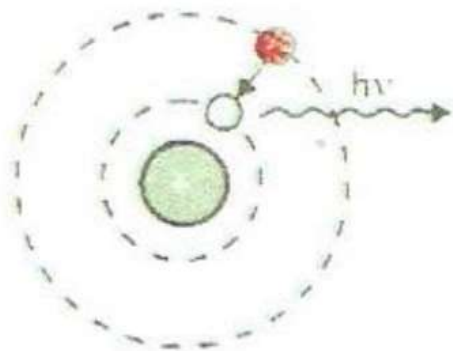
Процесът на луминесценция има два основни стадия: **възбуждане** и **дезактивация**.



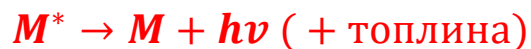
За осъществяване на луминесцентно излъчване е необходимо поглъщане на порция енергия $\Delta E = E_2 - E_1$ което възбужда частицата M , т.е. привежда някои от електроните ѝ в състояние с по-висока енергия:

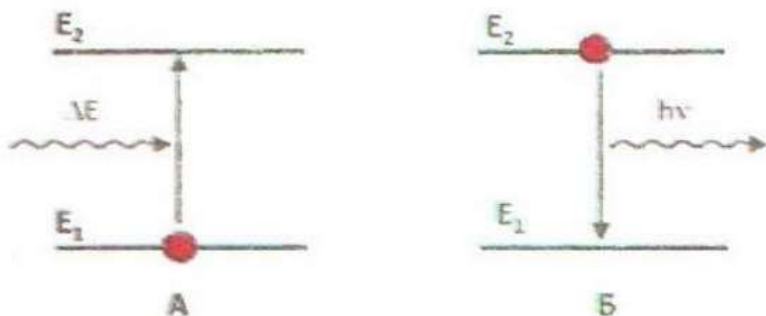


Това възбудено състояние M^* е неравновесно, неустойчиво и поради това бързо и спонтанно се дезактивира, т.е. частицата се връща в основното си равновесно невъзбудено състояние M .

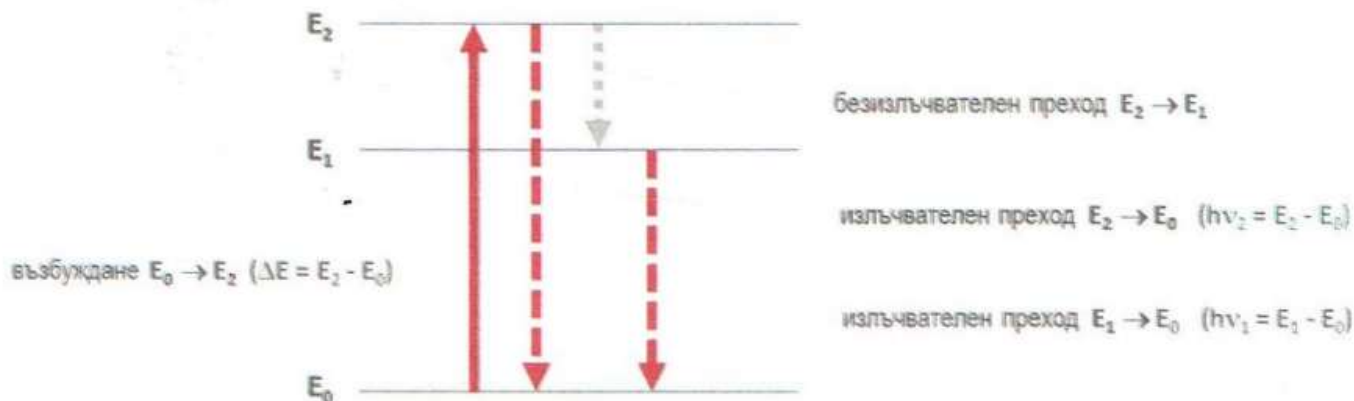


При спонтанната дезактивация на частицата може да се освободи цялата или част от придобитата енергия ΔE във вид на кванти светлина $h\nu$:





На илюстрацията са показани квантовите преходи при възбуждане (**А**) и дезактивация (**Б**) на луминесценцията.



Процесите на възбуждане могат да се различават поради различията във вида на погълтаната енергия. Но последващото дезактивиране на възбудените частици до основно невъзбудено състояние не зависи от това, а само от начините, по които енергията на възбуждане се трансформира по-нататък в енергия от друг вид. Вероятността за излъчателен преход зависи от типа на възбудената частица. Тя се определя и от природата на възбудените ѝ състояния (E_2, E_2, E_3, \dots) и от характера на прехода към основното (E_0).

Възможно е дезактивацията да се извърши чрез **вътрешномолекулни процеси**, при които погълнатата от частицата енергия се излъчва като фотон електромагнитно лъчение или се превръща *безизлъчвателно в топлина* без каквито и да е взаимодействия с други частици:



Много по-често дезактивацията се извършва посредством **междумолекулни процеси**, т.е. при взаимодействия на възбудената частица с други от нейното обкръжение.

Тези взаимодействия могат да протекат *по физичен механизъм*, т.е. чрез физичен контакт на частицата (M^* с частица X , при което енергията на възбудяване се прехвърля от M върху X):

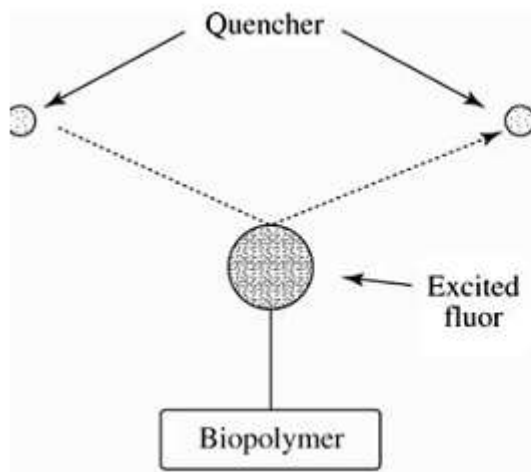


Възможно е те да се извършат и по химичен механизъм - чрез химично взаимодействие на M^* с друга частица X , при което енергията на възбуждане се прехвърля върху реакционния продукт P :

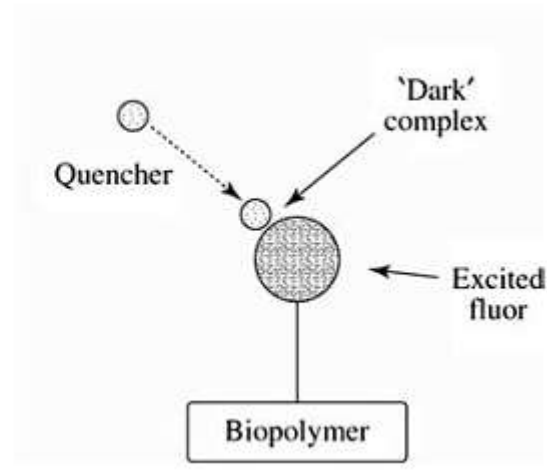


И в двата случая крайният реципиент на енергията на възбуждане се деактивира чрез вътрешномолекулен процес.

При дезактивацията посредством междумолекулни процеси, вероятността за излъчване на фотон от вторично възбудените молекули може да бъде по-голяма или по-малка от тази на изходните. В съответствие с това тези молекули могат да се разглеждат като *усилватели* или *гасители* на луминесценцията.



Динамично гасене



Статично гасене

Видове луминесценция

Луминесцентните процеси се характеризират с редица показатели: интензитет на излъчването, емисионен спектър, луминесцентен добив, продължителност на послесветене след прекратяване на активирането, вид на енергията за възбуждане и др.

Емисионният (излъчвателен) спектър е зависимостта на интензитета на излъчваната светлина от дължината на вълната. Спектърът на луминесцентно излъчваната светлина може да бъде разположен в диапазона на ултравиолетовата, видимата или инфрачервена област на оптичните лъчения.

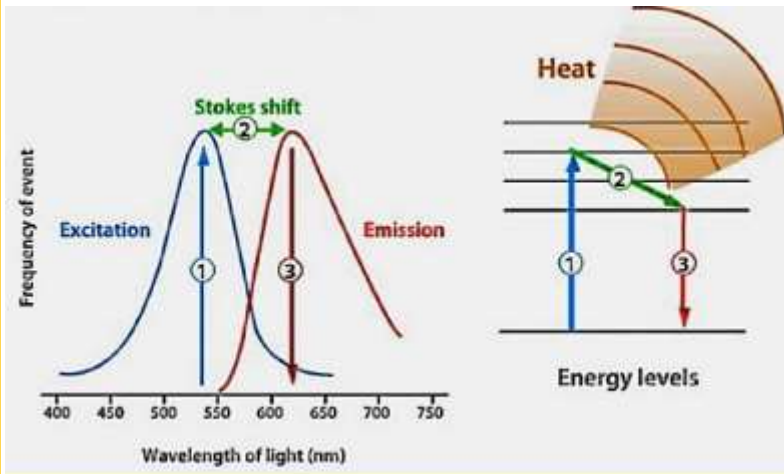
Интензитетът на излъчването се характеризира с броя излъчени фотони за единица време. Той може да бъде достатъчно голям за наблюдаване с невъоръжено око, но има и редица луминесцентни процеси, чийто интензитет е под прага на чувствителност на човешкото око (около 1 000 фотона в секунда на cm^2) и за измерването му е необходима специализирана апаратура.

В зависимост от вида на енергията, използвана за предварителното електронно възбуждане, луминесцентните явления се разделят условно на следните видове:

Вид луминесценция	Източник на енергия за възбуждане
Сонолуминесценция	Ултразвук
Триболуминесценция	Структурни промени във веществата
Пиролуминесценция	Топлина
Термолуминесценция	Топлина, след предварително поглъщане на енергия
Електролуминесценция	Електрически полета
Електронолуминесценция	Ускорени електрони
Хемилуминесценция	Екзергонни химични реакции
Фотолуминесценция	Светлина
Радиолуминесценция	Йонизиращи лъчения



Фотолуминесценцията е вид луминесценция, при който енергията за възбуждане е светлинна. Поглъщат се фотони с енергия $h\nu_a$ и се излъчват фотони с енергия $h\nu_e$.



Най-често енергията на излъчените фотони е по-малка от тази на погълнатите: $h\nu_e < h\nu_a$, поради междинни безизлъчвателни преходи, подобни на $E_2 \rightarrow E_1$ показан на енергетичната диаграма по-горе. Тази закономерност е известна под името **закон на Стокс**. Тя обуславя отместване между спектъра на възбуждащото фотолуминесценцията лъчение и спектъра на излъченото. Спектърът на възбуждане е разположен в област с по-малка дължина на вълната (по-богати на енергия фотони), а спектърът на излъчване е отместен към по-дълговълновите лъчения. Описаният тип фотолуминесценция носи още названието "**стоксова луминесценция**".

Емисионният спектър зависи от спецификата на излъчващата субстанция. Това се използва за качествен и количествен анализ на фотолуминесциращи вещества.

От вида и спецификата на елементарните процеси, трансформиращи енергията на възбуждане в енергия от друг вид и водещи до луминесценция, в голяма степен зависи времето между възбуждането и излъчването на фотон (т.нар. *време на послесветене*). Зависимост от големината на времето на послесветене фотолуминесценцията се дели на *флуоресценция* (при която изсветването се извършва за времена от порядъка на $10^{-9} \div 10^{-6} \text{ s}$) и *фосфоресценция* (за времена от порядъка на $10^{-6} \div 10^6 \text{ s}$). Флуоресценцията е по-широко разпространеният вид луминесценция.

Хемилуминесценцията е друг вид луминесценция, при който енергията за възбуждане се осигурява от екзергонни химични реакции. В широкия смисъл на думата, хемилуминесценцията е излъчване на фотони от възбудени частици, които или са продукти на химическа реакция или получени в резултат на пренос на енергия от възбуден продукт на такава реакция.

За интензивна хемилуминесценция е необходима както ефикасна продукция на възбудени молекули в хода на химична реакция, така и ефективно трансформиране на тяхната енергия в кванти светлина. При реакции от вида $A + B \rightarrow P$ скоростта на получаване на продукта $\frac{dP}{dt}$ е пропорционална на концентрациите на изходните реагенти $[A]$ и $[B]$, а хемилуминесцентният интензитет е пропорционален и на концентрациите на изходните реагенти: $I \propto \frac{dP}{dt} \propto [A][B]$. Ако скоростната константа и концентрацията на единия от изходните реагенти се поддържат постоянни, то интензитетът на хемилуминесценцията ще отразява промените в концентрацията на другия. А ако концентрацията на всички изходни реагенти се поддържа постоянна, то промените в хемилуминесцентния интензитет ще отразяват промените в скоростта на реакцията.

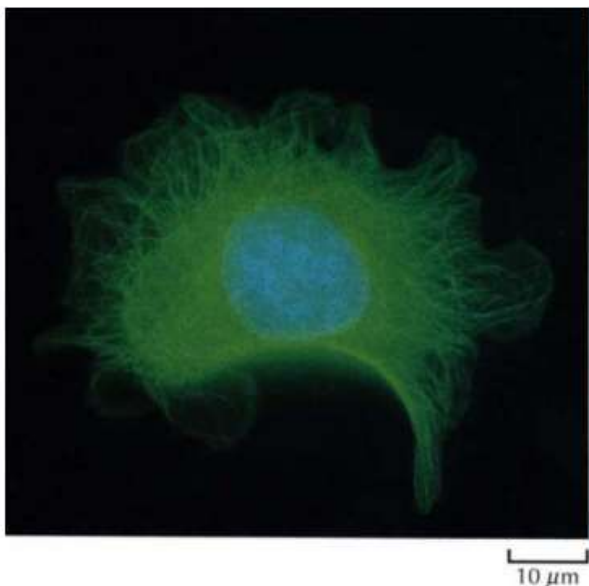
Методи за луминесцентен анализ

Съвременните аналитични изследвания в областта на биологичните науки изискват чувствителни и специфични методи за откриване и за количествени измервания на редица клетъчни метаболити - ензими, субстрати, кофактори, витамини, микроелементи, свободни радикали, хормони. От известните методи, използвани за такива цели, най-висока чувствителност притежават луминесцентните.

Така например, докато спектрофотометричните методи позволяват откриването на субстанции в *микромоларни до наномоларни* концентрации ($10^{-6} \div 10^{-9} \text{mol} \times L^{-1}$), то флуоресцентните методи работят в диапазона *наномоларни - пикомоларни* концентрации ($10^{-9} \div 10^{-12} \text{mol} \times L^{-1}$), а хемилуминесцентните позволяват откриването на субстанции във *фемтомоларни* и дори *атомоларни* концентрации ($10^{-15} \div 10^{-18} \text{mol} \times L^{-1}$).

Това обуславя широкото приложение на луминесцентните методи в медицината (имунология, микробиология, фармакология, клинична лаборатория, съдебна медицина, хигиена и пр.).

Флуоресцентният емисионен анализ се прилага в две разновидности - атомен и молекулен. При атомният емисионен анализ изследваният обект се довежда до атомно състояние, получените атоми се възбуждат и се измерва техният емисионен спектър. Той е съставен от отделни линии, характерни за излъчващите атоми. Така могат да се откриват например следи от микроелементи в изследваните проби. При молекулният емисионен анализ, който намира по-широко приложение в медицината, изследваните проби не се атомизират. Заснема се излъчването на възбудените молекули. Спектърът в този случай е ивичен (или непрекъснат в определен честотен интервал) и дава информация за химичния състав, строежа и междуатомните връзки в молекулите, както и за междумолекулните взаимодействия. Спектралният анализ дава възможност за качествени и количествени измервания - за откриване на вещества с предварително известен емисионен спектър в смеси с други вещества, както и за измерване концентрацията на вещества в смеси по интензитета на техните спектрални ивици в емисионния спектър (чувствителност - $10^{-10} \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$).



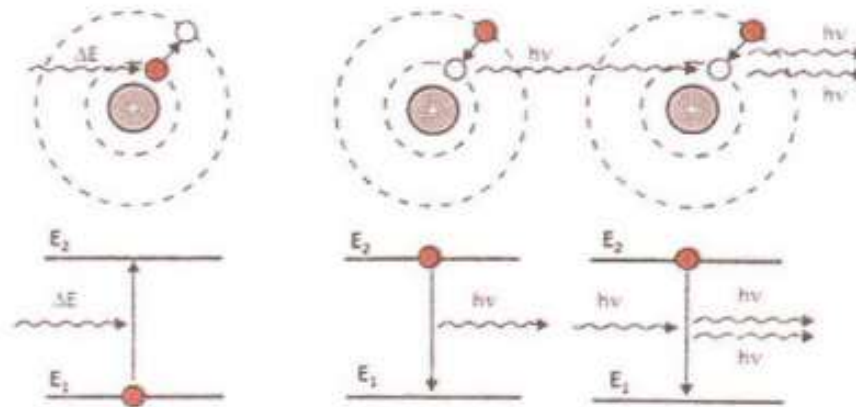
Фотолуминесценцията се използва в луминесцентната микроскопия (оцветяване на части от обекта с луминесцентни багрила), в имунологията и генетиката за откриване на луминесцентни маркери (напр. акридиноранж - свързва се с ДНК), в дерматологията - за откриване и диференциална диагностика на спори и гъбични заболявания.

Хемилуминесценцията намира приложение за изследване на различни процеси от биологичен интерес посредством кинетичен анализ на спектъра и интензитета на луминесценцията, излъчвана по време на протичането им (собствена или сенсibiliзирана с помощта на вещества с висок квантов добив). Често се използва куплиране на нехемилуминесцентни процеси с хемилуминесцентни реакции. Прилага се с успех при изследване на биологично важните патологични процеси на липидна пероксидация, за изследване генерацията на свободни радикали и реактивни метаболити на кислорода, за качествени и количествени измервания на ензими и метаболити, на екстрацелуларен калций и пр.

ЛАЗЕРНО ЛЪЧЕНИЕ

Освен неравновесното спонтанно излъчване (луминесценцията), е възможен и друг тип неравновесно лъчение - стимулирано (принудено). То се осъществява при взаимодействие на фотон с електронно възбудена частица (атом, йон, молекула), ако енергията на фотона е равна на енергетичната разлика между възбуденото и основно енергетични състояния на частицата.

В резултат на такъв принуден квантов преход от частицата се отделят и продължават да се разпространяват в една и съща посока два идентични фотона: първичният, стимулирал излъчването, и нов вторичен, излъчен от частицата:

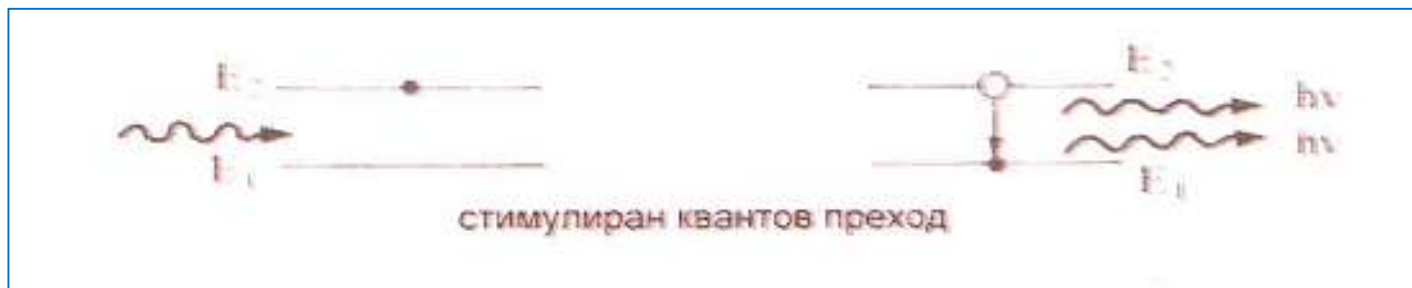
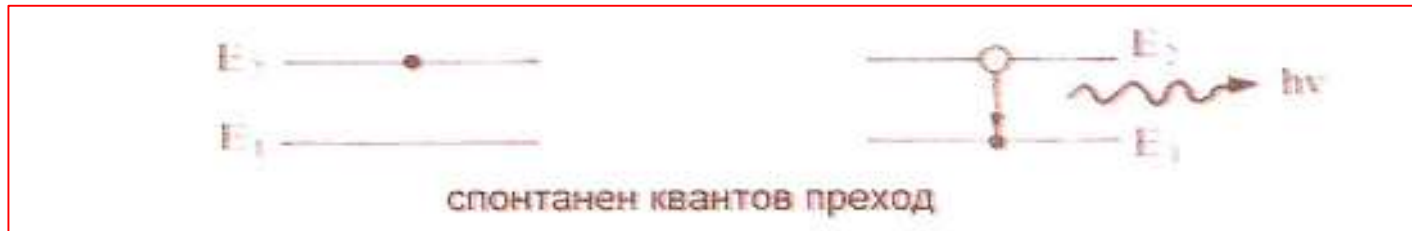


Лазерното излъчване се състои от абсолютно идентични фотони. Тези фотони имат **еднаква посока, честота, фаза и равнина на поляризация.**

- То е *монахроматично*, тъй като се състои от фотони с една и съща, единствена честота.
- То е и *кохерентно*, защото фотоните му имат постоянна фазова разлика.
- Лазерното лъчение *има голям интензитет*, тъй като е получено в резултат на многократно усилване на светлината с помощта на външна енергия.

Тези свойства на стимулираното излъчване се дължат на съгласуваността в излъчването на отделните атоми, обусловена от външната стимулация, както и на обезпечаването му с външна енергия. Подъл го вълновото лазерно лъчение (инфрачервено и видимо) има топлинен ефект, по-късовълновите инициират фотохимични реакции.

Каква е основната разлика между луминесцентното и лазерното излъчване? При луминесцентното се осъществяват **спонтанни квантови преходи** от състояния с по-висока енергия към състояния с по-ниска, а при лазерното излъчване това става **стимулирано**.

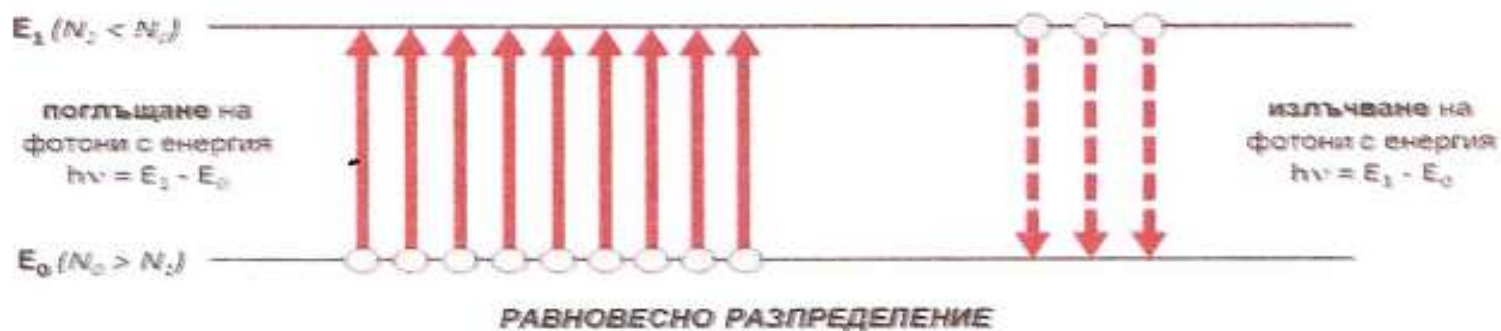


Механизъм на излъчване

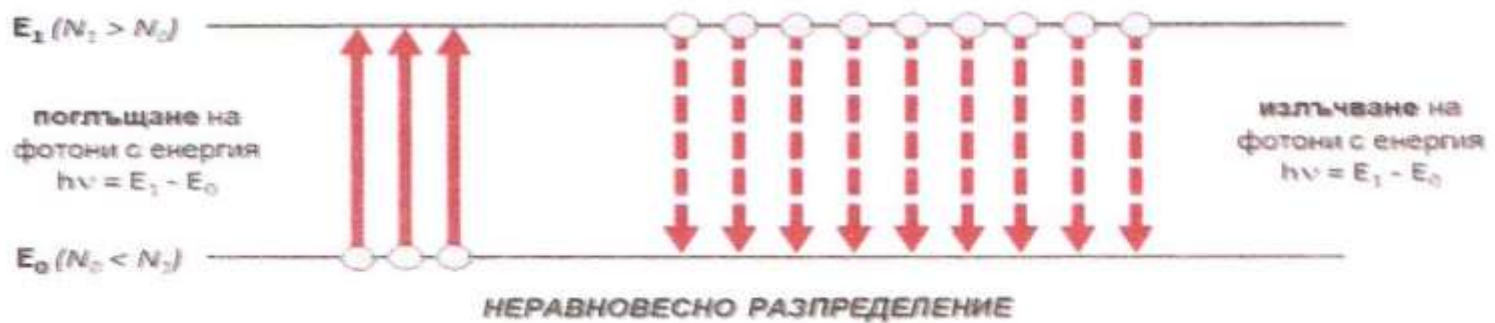
Отслабване и усилване на електромагнитните лъчения при взаимодействия с веществата

За да могат да бъдат разбрани принципите на работа на лазерите и онова, което прави тяхното излъчване толкова специално, са необходими познания за взаимодействието на електромагнитната радиация с материята.

Да разгледаме тяло, съставено от голям брой частици (атоми, молекули), всяка от които за простота може да се намира само в две позволени енергетични състояния - основно E_0 и възбудено E_1 . Когато температурата на тялото навсякъде е еднаква, (т.е. системата е в равновесие), по-голямата част от частиците (N_0) се намират в основното състояние с минимална енергия E_0 , а останалата по-малка част (N_1) - във възбуденото с енергия E_1 . Такова енергетично разпределение е **равновесно**.



Ако тази съвкупност от частици се облъчи с електромагнитни фотони с енергия = $h\nu = E_1 - E_0$, невъзбудените частици могат да погълнат енергия и да преминат в състояние E_1 , а възбудените да преминат стимулирано от E_1 в E_0 , излъчвайки фотони със същата енергия.



Очевидно, когато вещество в равновесни условия се облъчва с електромагнитни вълни, то ще поглъща, тъй като вероятността за поглъщане (която е право пропорционална на N_0) е по-голяма от вероятността за излъчване (пропорционална на $N_1 < N_0$). Ето защо интензитетът (I) на светлината, разпространяваща се в това вещество, ще намалява с увеличаване на изминатия от нея път (x). Законът, който описва това, е

$$I = I_0 e^{-kx}$$

k е коефициент на отслабване (поглъщане), а I_0 - началният интензитет преди навлизането в това вещество (знакът " - " показва намаление).

Ако повечето от частиците на веществото са във възбудено състояние ($N_1 > N_0$), такова неравновесно състояние на веществото има обратна (инверсна) населеност на енергетичните нива и се нарича "инверсно". При облъчване на вещество в инверсно състояние ще се наблюдава усилване на електромагнитната вълна по аналогичен експоненциален закон:

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

където α е коефициент на квантово усилване (знакът " + " показва увеличение).

Основни етапи в процеса на излъчване на лазерното лъчение

1. Създаване на инверсна населеност

Наличието на вещество с инверсна населеност на електронните енергетични нива е задължително условие за осъществяване на лазерно излъчване. Създаването на такова състояние на работното вещество при лазера става чрез придаване на външна енергия (обикновено светлинна) и се нарича процес на "напомпване". Времената на живот на възбудените атоми са твърде кратки 10 ns. Затова с подходящи средства (охлаждане, въвеждане на примеси към основното работно вещество и др.) това време се удължава поне до 10 ms. Така възбудените състояния на атомите стават относително по-дългоживущи (*метастабилни*). Това облекчава създаването на инверсна населеност.

2. Спонтанна луминесценция (иницииране на излъчването)

Атомите на веществото, приведено в инверсно състояние, неизбежно започват спонтанно да релаксират до основното невъзбудено състояние, при което се излъчват фотони, т.е. започва процес на луминесценция.

3. Усилва не на излъчването

Всеки един от тези фотони, разпространявайки се в инвертираната среда, предизвиква принудено излъчване. Броят на фотоните, движещи се по посока на всеки начален инициращ фотон започва да нараства експоненциално по закона $I = I_0 e^{-\alpha x}$.

4. Многократно усилване и насочване на лъчението в една посока

За генерация на интензивно и насочено лазерно лъчение не е достатъчно само гореописаното просто оптично усилване от средата с инверсна населеност. С помощта на подходящи оптични системи се реализира т.нар. положителна оптична обратна връзка, в резултат на която излъчването се насочва в една посока и многократно допълнително усилва.

Лазери

На базата на описания по-горе ефект на стимулирано излъчване през 1954 г. са създадени първите апарати за генерация на стимулирано лъчение, т.нар. лазери или квантови оптични генератори (LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Първите експериментални лазери са създадени едновременно и независимо от руските физици Николай Басов, Александър Прохоров и американеца Чарлз Таунс, за което те заедно получават Нобелова награда за физика през 1964 г.

Всеки лазер има 3 основни компонента: *работно вещество (активна среда)*, *система за "напомпване" (създаване на инверсна населеност)* и *система за допълнително усилване и насочване на лъчението*.



В рубиновия лазер работното вещество е рубинов монокристал ($Al_2O_3 + 0,05 \% Cr^{3+}$) с цилиндрична форма. Частиците, които участват в създаването на инверсна населеност са йоните на хрома (Cr^{3+}). При въздействие с мощен светлинен импулс (система за "напомпване" - ксенонова импулсна лампа), те преминават от основно E_0 във възбудено състояние E_2 , чието време на живот е 10 ns.

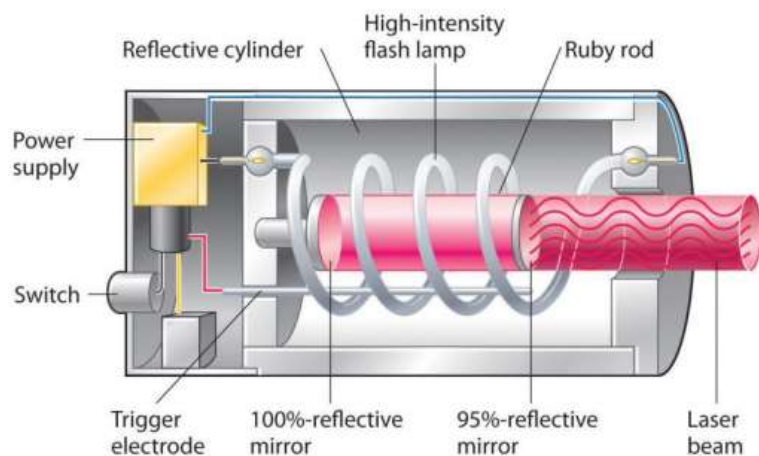
От това състояние по-голямата част от йоните преминават спонтанно и безизлъчвателно на метастабилното ниво E_2 (с време на живот 10 ns). Част от тях се връщат и направо в състоянието E_0 . При достатъчна мощност на напompващия светлинен импулс броят на хромовите йони в състоянието E_1 става по-голям от този в състояние E_0 (т.е. създава се инверсна населеност на нивото E_2 спрямо нивото E_0).



Излъчваните спонтанно фотони в резултат на преходи $E_i \rightarrow E_0$ предизвикват лавинообразно увеличаващ се поток от кванти, движещи се в най-различни посоки.



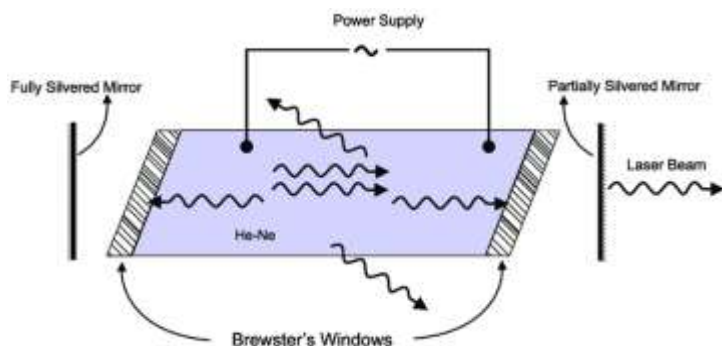
За създаване на насочен и допълнително многократно усилен сноп от фотони се прилага положителна оптична обратна връзка - посредством 2 успоредни огледала (двете основи на цилиндъра) със 100 % и 99 % отражение (или и двете със 100%, но едното с малък отвор в центъра).



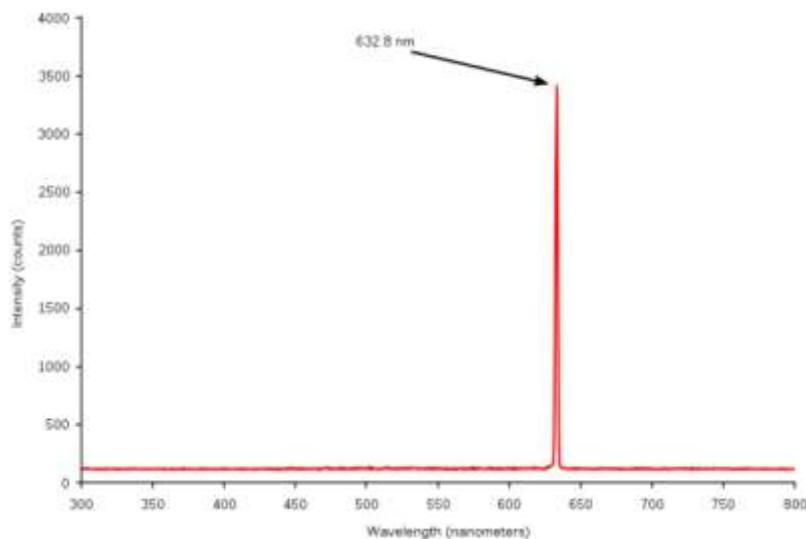
Стимулирано излъчените фотони, в зависимост от началната посока на движението си, или излитат през частично прозрачната околна повърхност на работното тяло, или, многократно отразявайки се от огледалата, предизвикват нови и нови стимулирани преходи на атомите на работното вещество, което е в инверсно състояние. По такъв начин снопът фотони, перпендикулярен на огледалните основи на цилиндричното работно тяло, получава най-голямо усилване. Излъчването му става през полупрозрачното огледало (или през прозрачния отвор).

Мощността на лазерния импулс е обратно пропорционална на продължителността му. При продължителност $10^{-9}s$, мощността е $10^6 W$. Ако това лъчение се фокусира в петно с диаметър $10^{-6}m$, то плътността на енергията ще достигне гигантската стойност $10^{19}W \times m^{-2}$. Тази енергия може да предизвика разрушения във всички вещества, тъй като е по-голяма от енергията на свързване между електроните и ядрата в атомите. За сравнение - плътността на енергията в пламъка на ацетиленова горелка е $10^3W \times m^{-2}$.

Хелий-неонов лазер с непрекъснато действие



Освен в импулсен режим, лазерите могат да работят и в непрекъснат. Такъв например е *He-Ne лазер* излъчващ светлина с дължина на вълната $\lambda = 623.8 \text{ nm}$. Работното му вещество е смес от газовете хелий и неон в обемно съотношение 10/1, намираща се в тръба, в която се възбужда тлеещ електрически газов разряд (за напompване).



Спектърът на хелий-неоновия лазер показва много висока спектрална чистота, което е характерно за всички лазери.

Приложения на лазерите

Има широка гама от приложения на лазерните лъчения в различни медицински и немедицински области. В терапията най-често се използват термичните ефекти на високоенергетичната лазерна светлина, приложена към лесно достъпни външни части на тялото - например в офталмологията и дерматологията. С лазер е възможно силно нагряване и без механичен контакт. Лазерите доставят прецизно фокусирана монохроматична светлина с висока енергийна плътност, което е особено полезно в хирургията. Лазери със световод се използват като хирургически режещ инструмент. Светлинната енергия може да среже тъкан по-добре от най-добрия скалпел, а може и само да коагулира протеини, с което да запечата кръвоносните съдове, така че значително да намали кървенето по време на операция. Предимства на лазера в сравнение с класическия хирургичен скалпел са по-високата точност и по-голяма бързина при работа, по-малката инвазивност и периферни щети, минимално образуване на белези, сраствания и стенози, намаляване на следоперативната болка, ускорено възстановяване, намален риск от следоперативни инфекции.

В зависимост от нуждите се използват различни видове лазери - с различна дължина на вълната, изходна мощност, режим на работа, форма на импулсите и др. За безкръвни, атравматични, точни и стерилни микроразрези чрез дехидратация, коагулация на протеините, термолиза и изпаряване на тъканта като лазерен хирургичен скалпел често се използва YAG : Nd лазер (итриево-алуминиев гранат : неодим) с мощност 60-100 W излъчващ инфрачервена светлина с дължина на вълната 1060 нм), воден от пилотен He-Ne лазер (хелий- неонов) с малка мощност 2 mW и дължина на вълната във видимия диапазон - 632,8 нм, плюс оптичен световод. Намира приложение в пулмологията, в неврохирургията, гастроентерологията и урологията.

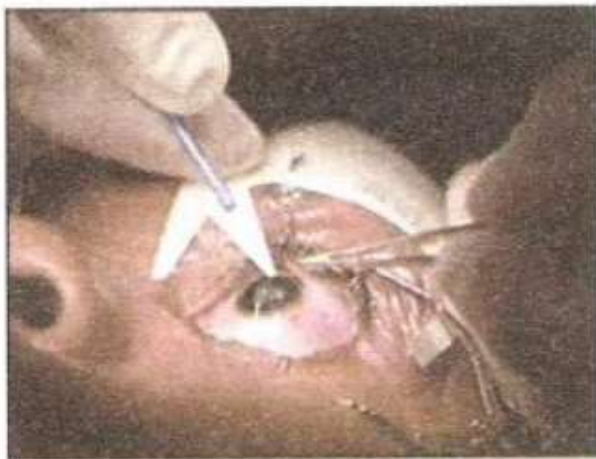
Лазери се използват за лечение на различни очни заболявания и състояния, например диабетна макуларна едема, пролиферативна диабетна ретинопатия, възрастова макуларна дегенерация, отлепване на ретината, ретинопатия при недоносени, катаракта, за лечение на глаукома чрез пробиване на фини отвори за отток на вътреочна течност и понижаване на вътреочното налягане, за коригиране на очни дефекти.

Модерен и високоефективен лазерен метод за коригиране на късогледство, далекогледство и астигматизъм е фоторефрактивната кератектомия. С помощта на ексимерен лазер, излъчващ ултравиолетова светлина, зрението се коригира трайно без очила или контактни лещи чрез промяна формата на роговицата.

Ултравиолетовата светлина има висока степен на поглъщане и слабо проникване в дълбочина от биологичните тъкани. Нейните ефекти са само повърхностни. Ексимерният лазер предизвиква изпаряване на прицелната тъкан, а не нейното изгаряне или изрязване. Това се дължи на фотохимичния ефект върху междумолекулните връзки, които ултравиолетовата светлина ефективно ги разрушава.

Лазерните технологии са прецизирани до такава степен, че с ексимерен лазер могат фино да се отстраняват повърхностни слоеве без никакъв термичен ефект в дълбочина или върху странични тъкани (повърхностна фотоаблация). Тези особености го правят особено подходящ за очна рефрактивна хирургия. С ултравиолетов импулсен лазер точно, контролирано и безопасно се отстраняват повърхностни слоеве от роговицата - по 0,25 микрона от тъканта с всеки импулс. За постигане на точната корекция често е достатъчно да се премахнат само 50 микрона от тъканта (дебелината на човешки косъм).

При далекогледство например роговицата на окото е по-плоска, отколкото е необходимо. Повърхностната фотоаблация с ултравиолетова светлина преформатира предната повърхност на окото и я прави по-изпъкнала. Така диоптърът се корегира трайно.



Друго медицинско приложение на лазера е за лечение на вродени капилярни малформации, които засягат около 0,3 % от децата при раждане. Тези рождени белези обикновено се намират на главата и шията. Това са оцветени от розово до лилаво петна, представляващи мрежа от ненормално разширени кръвоносни съдове под кожата. Наречени са портвайн петна, защото кожата изглежда като изцапана с червено вино. За терапията се използват импулсни лазери с дължина на вълната 585 nm, импулси с продължителност 0,45 милисекунди, които следват през 3 секунди. Лазерният лъч се фокусира в петно с диаметър 5 милиметра. Енергията на светлината се абсорбира от оксигемоглобина в увредените капиляри, които се унищожават с без да се уврежда съседната нормална тъкан. По-късно унищожените капиляри постепенно се заменят с нормални и петната избледняват, както е илюстрирано на снимката.



Този тип лечение е минимално инвазивно и насочено избирателно към кръвоносните съдове. Лазери с такава дължина на вълната, наричани още ангиолитични, се използват и за третиране на други дефекти, свързани с микрокапилярната мрежа, например за премахване на брадавици. В този случай лазерът премахва цялата брадавица както и някои от околните тъкани, за да е сигурно, че нейното кръвоснабдяване е напълно ликвидирано. След като бъде лишена от захранването с кръв брадавицата в крайна сметка умира.



Аналогичен е принципа за премахване на татуировки. Дължината на вълната на лазерната светлина се избира така, че пигментите на татуировките да я абсорбират по-силно, отколкото околните тъкани. Така въздействието върху тях е по-селективно и по-прецизно.



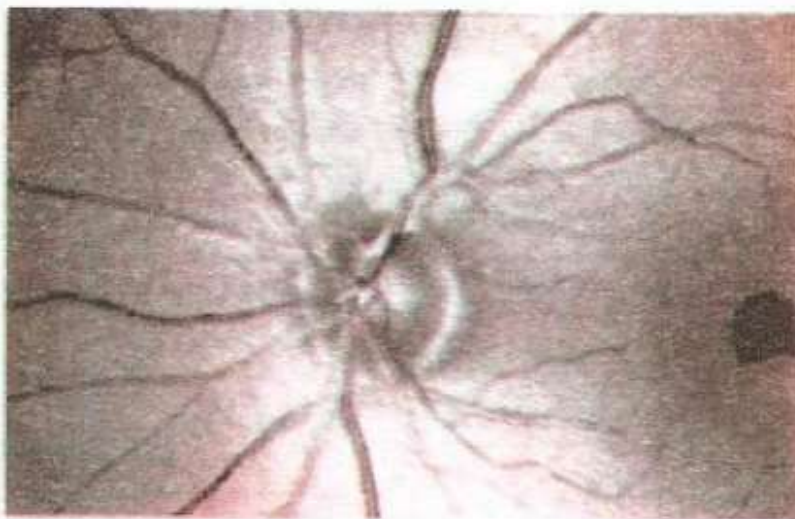
Лазерите са ефективни в козметичната хирургия за контурно оформяне на тялото, премахване на акне, отстраняване на коса. Лазери се използват преди процедури на липосукция за елиминирание на телесни мазнини от области, които са трудно податливи на въздействие дори с много упражнения и хранителна диета. Те втечняват мастните клетки преди процедурата, помагайки по-бързо и по-лесно да се екстрахират мазнините. Използването на лазер при липосукция намалява също времето за възстановяване на пациента и болката след операция. За премахване акне лазерът елиминира бактериалния проблем, който лежи в основата му - лазерната светлина убива бактериите, които причиняват акне (*P. Acnes*).



При фотодинамичната терапия на тумори в тялото венозно се въвежда фоточувствително вещество с висок афинитет към туморните клетки. Туморът го абсорбира от кръвта. То се свързва и натрупва избирателно само в туморните тъкани. При облъчване с лазерна монохроматична светлина с определена дължина на вълната се инициират фотохимични реакции, които унищожават туморните клетки и малките кръвоносни съдове, които ги хранят. Фотодинамичната терапия работи най-добре с малки тумори в техните ранни фази.

Аналогично на иглената акупунктура (вкарване на игли в специфични точки на кожата с цел третиране на различни заболявания посредством стимулация на нервни импулси) лазерната акупунктура използва биостимулация ефект на лазерно лъчение с дължина на вълната $632,8 \text{ nm}$ и ниска мощност - от 20 до $1\ 200 \text{ mW/cm}^2$ (He-Ne лазер). Това активира белтъчния синтез, ускорява разграждането на токсични продукти на обмяната, действа противовъзпалително и аналгетично, стимулира посттравматичните регенеративни процеси. Лазери с ниско ниво на мощност (под 10 mW) стимулират производството на АТФ в митохондриите на клетките.

Сканиращата лазерна офталмоскопия е диагностичен метод, чрез който се получават изображения на ретината с по-висока резолюция, отколкото с конвенционалната фотография поради монохроматичността на лазерното лъчение. Лазерният офталмоскоп сканиращо осветява ретината с тесен лазерен лъч и измерва количеството обратно отразена светлина от всяка нейна точка. Това количество зависи от структурни характеристики на тъканите, които определят техните отразяващи, пречупващи и абсорбционни свойства. Непрозрачности, помътнявания, кръвоизливи и катаракта могат да влияят върху интензитета на обратно преминалата светлина.



Някои приложения на лазерни лъчения в различни немедицински области:

- лазерни технологии (рязане, заваряване, топене);
- за предаване на информация (телекомуникационни връзки и съобщения);
- картографиране на Земята повърхност от самолети или спътници;
- за получаване на високотемпературна плазма;
- оптични носители за съхраняване на информация;
- компютърни принтери;
- светлинен радар (измерване на скорост чрез Доплер ефект);
- холография (получаване на обемни образи).