



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛОВДИВ

ФАКУЛТЕТ „Фармация“

ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

Лекция №9 *Медицинска физика*

Светлина - естество и основни свойства. Явления при взаимодействието на светлината с веществата (отражение, пречупване, разсейване, поглъщане, дисперсия, интерференция, дифракция и поляризация). Спектър на оптичните лъчения. Инфрочервена, видима и ултравиолетова светлина - свойства и биологично действие. Основни механизми за излъчване на светлина - равновесни и неравновесни (спонтанни и стимулирани). Топлинно излъчване (инкандесценция) - механизъм, свойства и спектър. Емисионна и абсорбционна способност на телата. Закони на Кирхоф, Стефан-Болцман и Вин. Топлинно излъчване на човешкото тяло. Медицински приложения - инфрочервена фотография, термовизия.

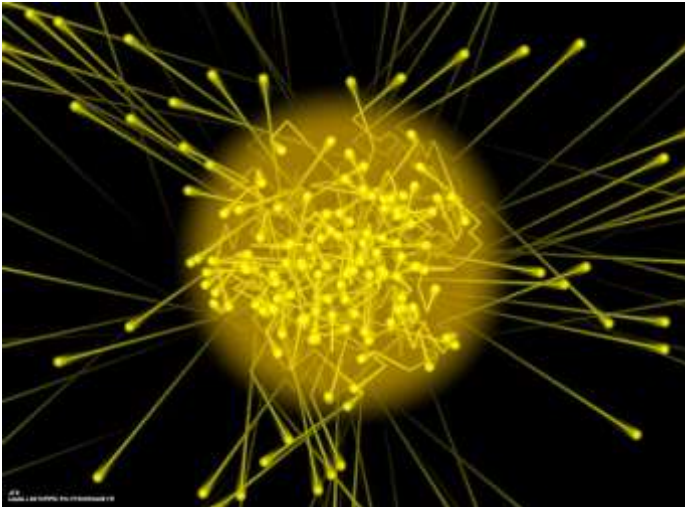
проф. Константин Балашев, д.х.н.

КАКВО ПРЕДСТАВЛЯВА СВЕТЛИНАТА?

Исторически развитието на възгледите за естеството на светлината еволюира в четири теории:

1. *Корпускулярна теория* (XVII век, Исак Нютон). Според нея светлината е поток от частици (корпускули), големината им определя цвета, а броят им - силата на светлината. Обяснява праволинейното разпространение, отражението и пречупването на светлината.
2. *Вълнова теория* (XVII век, Кристиан Хюйгенс). Светлината е вълнообразен процес, разпространяващ се във всички посоки в етера (материален носител). Не обяснява праволинейното разпространение, излъчването и поглъщането на светлината.
3. *Електромагнитна теория* (XIX век, Джеймс Максвел). Светлината е електромагнитна вълна. Обяснява отражението, пречупването, интерференцията, дифракцията и поляризацията, но не може да обясни излъчването и поглъщането на светлината, както и фотоефекта.
4. *Квантова теория* (XX век, Макс Планк и Алберт Айнщайн). Светлината е електромагнитна вълна, чието излъчване, разпространение и поглъщане не е непрекъснато, а става на порции (кванти) с определена енергия.

Светлината представлява поток от фотони, които при взаимодействието си с веществото проявяват както корпускулярни, така и вълнови свойства. В едни оптични явления са по-изявени корпускулярните им свойства (излъчване, поглъщане, фотоефект), а в други - вълновите (интерференция, дифракция, поляризация).



Фотонът е порция от електромагнитна вълна и представлява движещи се в пространството променливи електрично и магнитно полета, които осцилират в равнини, перпендикулярни една на друга и на посоката на движение на вълната.

Всеки отделен фотон в светлинния поток се характеризира с:

- > **честота** ν , която еднозначно определя **енергията на фотона**

$$E = h\nu$$

- > **фаза**, която при вълновите процеси характеризира големината и посоката на отместване от равновесното състояние в даден етап на трептенето,
- > **ориентация на светлинния вектор** (пространствената ориентация на равнината, в която трепти електричното поле на електромагнитната вълна).

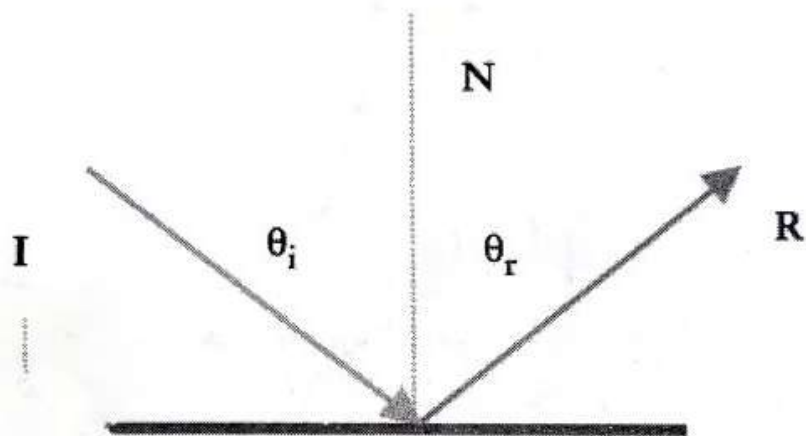
Човешките очи възприемат светлината с някакъв **ЦВЯТ** в зависимост от енергията на фотоните, от които тя е съставена, и с някакъв **ИНТЕНЗИТЕТ** - в зависимост от количеството на тези фотони (по точно от броя фотони, които за единица време преминават през единица площ, разположена перпендикулярно на посоката на тяхното движение).

В зависимост от честотата на фотоните светлината е **полихроматична** или **монохроматична**. Обикновено светлинният поток е съставен от фотони с най-различна честота, които предизвикват усещане за различни цветове. Поради това такава светлина се нарича полихроматична. Ако светлинният поток е съставен от фотони с една единствена честота, такава светлина е монохроматична.

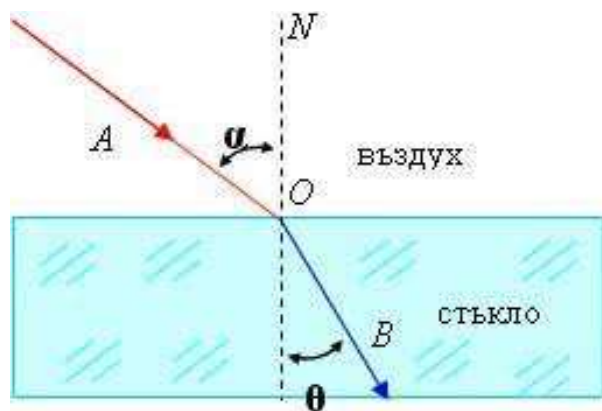
В зависимост от фазата светлината може да бъде **некохерентна** или **кохерентна**. Когато всички фотони в светлинния сноп имат една и съща фаза, светлината е кохерентна. Ако това условие не е изпълнено, тя е некохерентна.

По отношение на третия параметър светлината може се категоризира като **неполяризирана** или **поляризирана**. Когато различните фотони, съставлящи светлинния поток, имат различна пространствена ориентация на равнината, в която осцилира електричното им поле, това е неполяризирана светлина. При взаимодействието на такава светлина с оптично анизотропни вещества (такива, които имат различни оптични свойства в различните посоки на пространството), се получава поляризирана светлина. Поляризираната светлина е съставена от фотони с успоредни равнини на трептене на електрическото им поле.

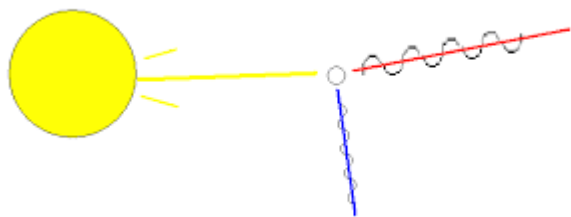
При взаимодействие на светлината с вещества се наблюдават всички явления, присъщи на вълните: отражение, пречупване, разсейване, поглъщане, дисперсия, интерференция, дифракция, поляризация.



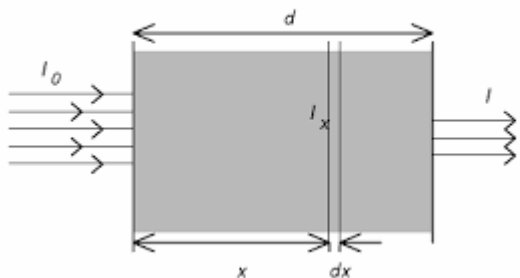
Отражение на светлината се наблюдава при попадане на светлинен поток върху границата на две материални среди с различна оптична плътност. Вследствие взаимодействието на светлинните фотони с частиците на веществото, там възниква нов светлинен поток, който се разпространява обратно в първата среда.



Пречупването на светлината е процес, при който светлинния поток, преминавайки от една среда в друга с различна оптична плътност, променя своята посока на разпространение.

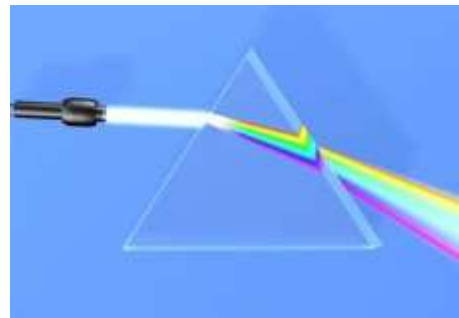


Разсейване на светлината представлява отклоняването на съставлящите я фотони в различни посоки при движението им в оптично нееднородна материална среда.

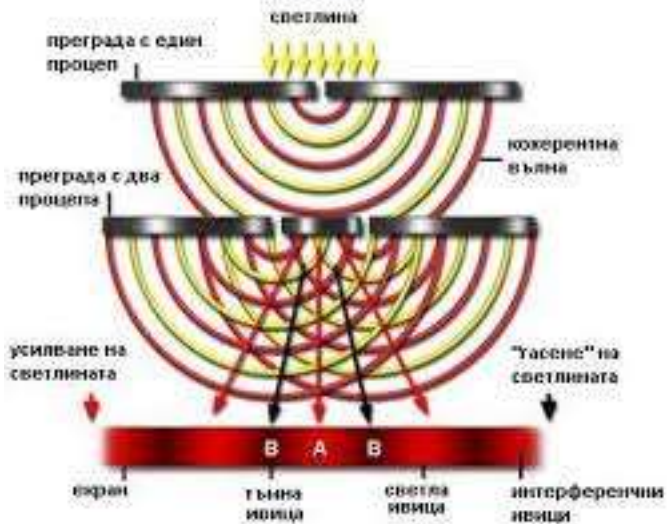


$$T = \frac{I}{I_0}$$

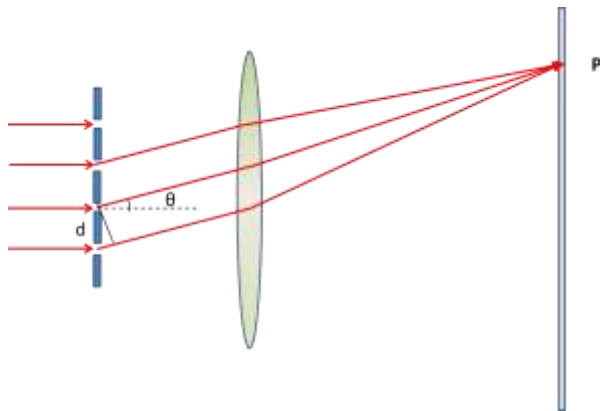
Поглъщането е процес на намаляване интензитета на светлинния поток (съпроводен и с промени в спектралния му състав) при преминаването на светлината през материална среда.



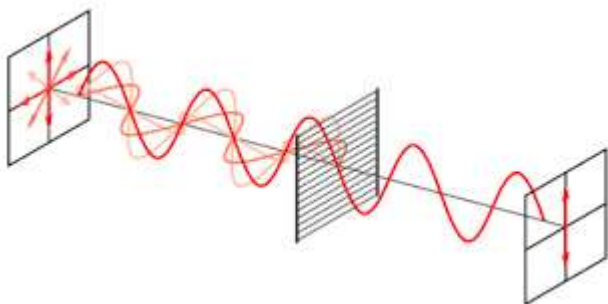
Дисперсия на светлината се нарича зависимостта на нейната скорост в дадено вещество от честотата ν (или зависимостта на показателя на пречупване на даденото вещество от дължината на светлинната вълна).



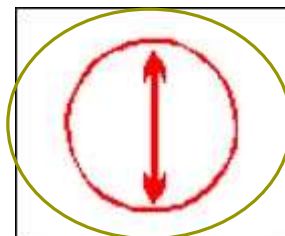
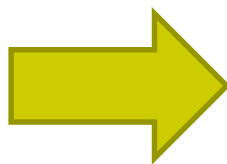
Дифракцията е отклоняването на светлинния лъч от праволинейната му посока на движение след материални обекти, чиято оптична плътност се променя значително на разстояния, сравними с дължината на светлинната вълна (0,3 - 0,8 μm).



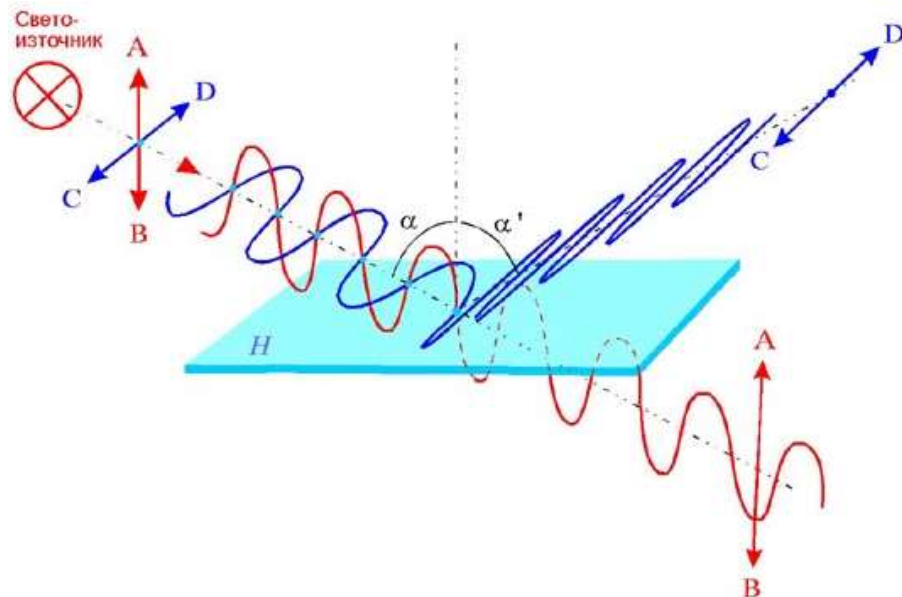
Интерференцията е такова наслагване на две или повече светлинни вълни, в резултат на което в пространството се получава устойчива картина на усилване и отслабване на резултантната светлинна вълна.



Поляризацията е процес, при който, в резултат на взаимодействието на обикновена светлина (чийто фотони имат произволна ориентация на равнината на трептене на електрическото им поле) с оптично анизотропни вещества, се получава поляризирана светлина, която е съставена от фотони с успоредни равнини на трептене на електрическото им поле.

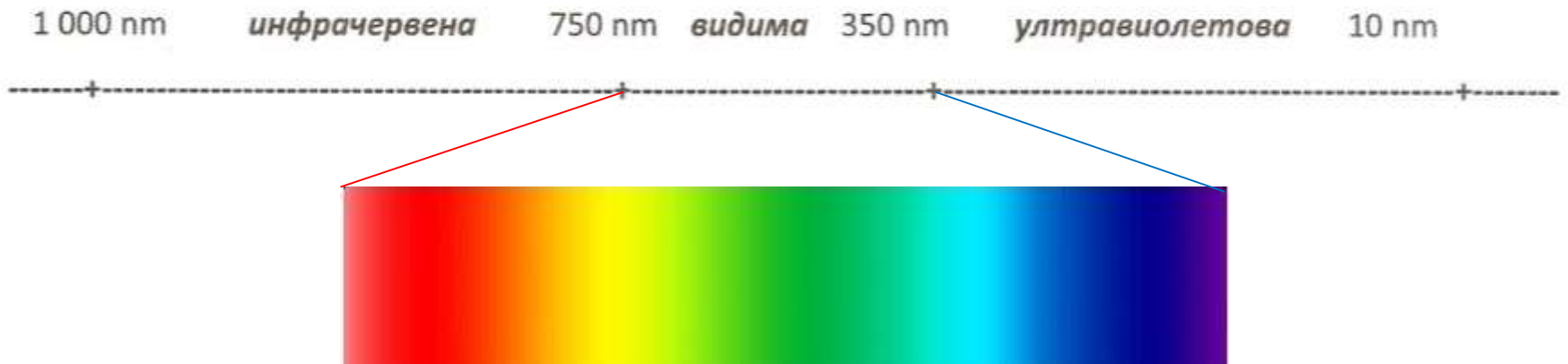


Ако светлината се отрази в повърхност на диелектрик (стъкло, водна повърхност, лакирани и полирани мебели, лъскави пластмасови предмети) или премине през нея (ако тя е прозрачна), се получава така, че електричните ѝ вектори трептят или само в една равнина - т. нар. **пълна, линейна** или **плоска поляризация**, или трептят преобладаващо в една равнина, но е налице трептене с по-малка амплитуда и в останалите посоки, като с най-малка амплитуда е трептенето в перпендикулярната равнина - **непълна, частична** или **елиптична поляризация**. Ако е налице трептене във всички направления, но с еднакво намалена амплитуда, имаме **кръгова поляризация**.



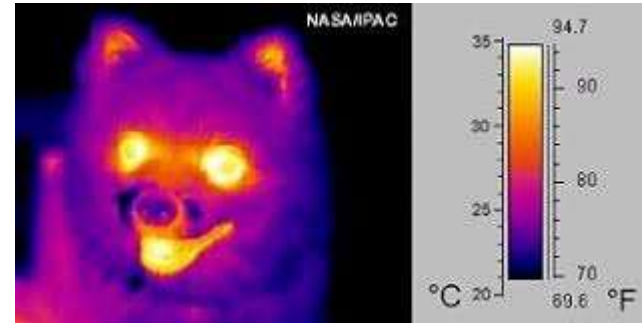
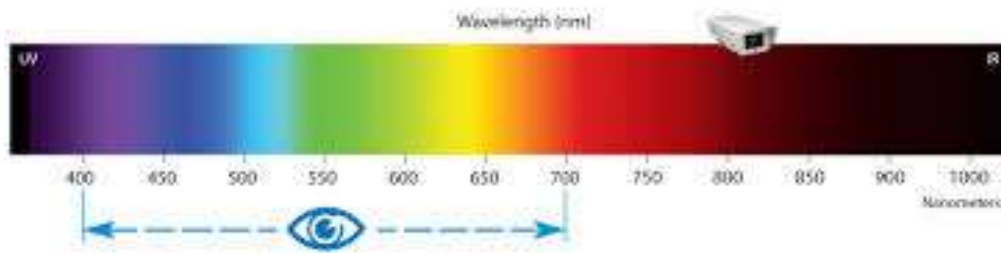
Върху пластинката **H** от прозрачен диелектричен материал (стъкло, плексиглас или др.) косо попада лъч естествена неполяризирана светлина. Разгелждаме трептенето на електричните вектори по две взаимноперпендикулярни равнини, пресичащи се по лъча (пунктира). Те са избрани така, че едната равнина, указана с направлението **AB**, да съдържа перпендикуляра (нормалата) към отразяващата повърхност. Съгласно втория закон на отражението, ъгълът на падане α е равен на ъгъла на отражение α' . Ъглите α и α' са с избрани стойности около **53 - 56°**, когато за повечето диелектрици се наблюдава максимална степен на поляризация на отразената и на преминалата през тях светлина. В отразената светлина обаче електричните вектори трептят преобладаващо в направлението **CD**, а в преминалата през пластинката - в направлението **AB**, т.е. в равнината, съдържаща падация, отразения и преминалия лъч. Това можем да установим лесно като в отразената или в преминалата светлина поставим фотографски поляризационен (линеен) филтър, чрез въртенето на който можем да установим равнините на трептене (респ. на поляризация).

Спектър



Спектърът на оптичните лъчения в диапазона от 1 mm до 10 nm се разделя на три диапазона: инфрачервена, видима и ултравиолетова светлина. На илюстрацията по-долу тези диапазони не са представени мащабно. Видимият реално е много по-тесен - той заема едва 0,4 % от общия диапазон на оптичните лъчения.

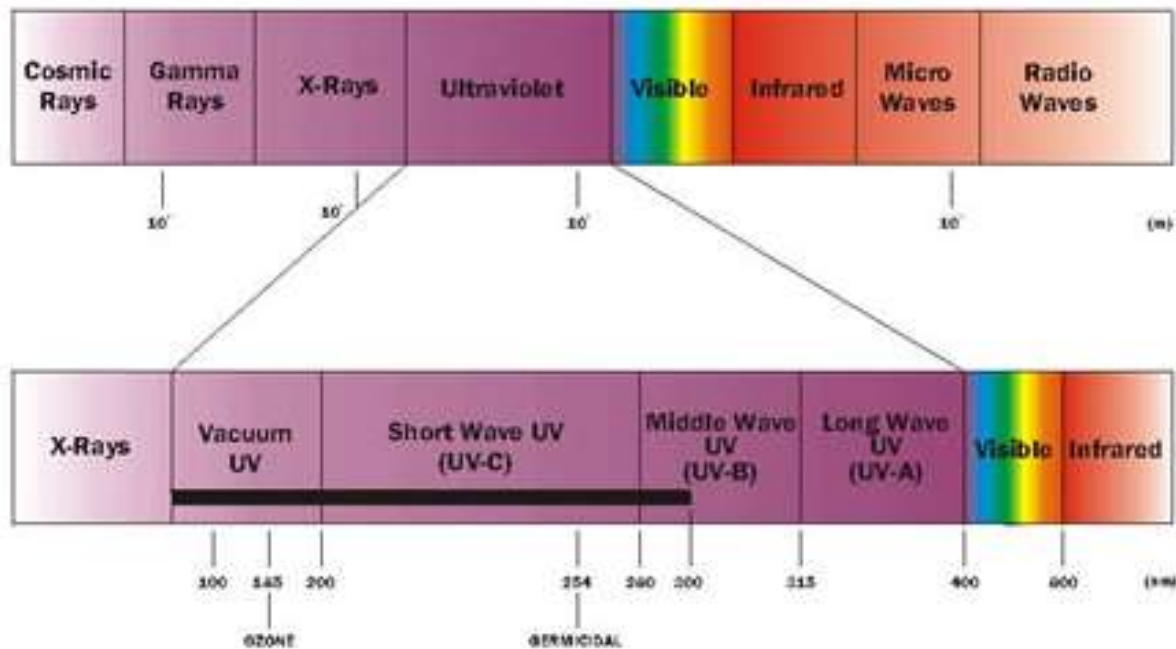
Тези три типа светлинни вълни имат разлики в свойствата си, което е обусловено от различната енергия на техните кванти.



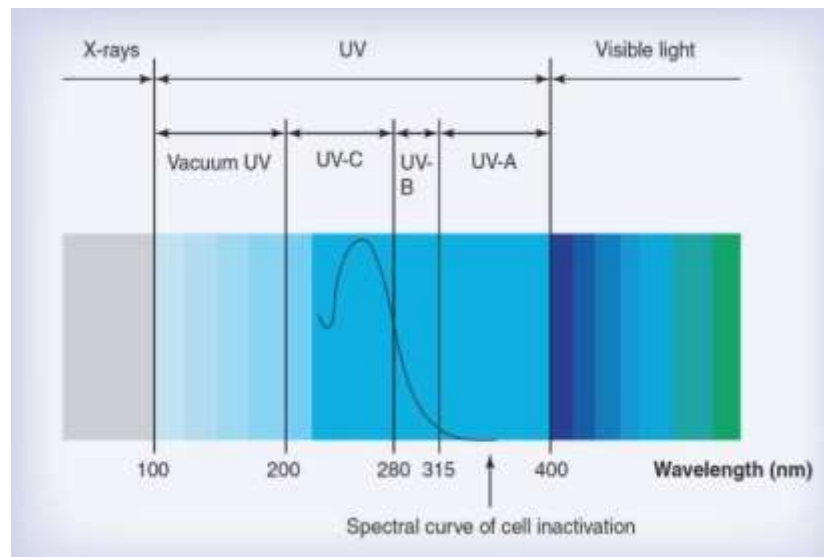
Инфрочервеното лъчение е невидимо за човешкото око електромагнитно излъчване, заемащо спектралната област между видимото лъчение и радиовълните (750 nm - 1 mm). Инфрочервените лъчи имат по-голяма дължина на вълната в сравнение с видимото лъчение и респективно по-малка енергия на фотоните. При взаимодействие с веществото те увеличават неговата молекулно-механична енергия, т.е. действат топлинно. Биологичното им действие е базирано преди всичко на топлинния им ефект, който

Цвят	Дължина на вълната, nm
Виолетов	400 – 450
Син	450 – 500
Зелен	500 – 550
Жълт	550 – 600
Оранжев	600 – 650
Червен	650 - 700

Видимата светлина се разполага между 350 и 750 nm. Тя е комбинация от различни цветове - от червения, през жълтия, зеления и синия, до виолетовия. Тези цветове съставят видимия спектър и могат да бъдат разделени, когато светлината премине през призма. Видимата светлина носи информация. Различните цветове на спектъра съответстват на различни дължини на вълните, респективно - на различни честоти и енергии на фотоните.



Ултравиолетовото лъчение е невидимо за човешкото око електромагнитно излъчване, заемащо спектрална област между рентгеновото и видимото лъчение (350 nm - 10 nm).



Излагането на UV може да бъде много вредно или безвредно, в зависимост от вида на UV, вида на излагане на лъчението и продължителността. UV областта от електромагнитния спектър допълнително се разделя на четири по-малки области:

- **UV-A (315 до 400 nm):** Дълговълнова UV, която е основният вид UV на слънчевата светлина, отговорен който като цяло не е вреден и се използва за лечение на определени кожни заболявания.
- **UV-B (280 до 315 nm):** средно вълнова UV, малка, но опасна част от слънчевата светлина. Повечето слънчеви UV-B се абсорбират от намаляващия атмосферен озонов слой. Продължителното излагане е отговорно за някакъв вид рак на кожата, стареене на кожата и катаракта (замъгляване на лещата на окото).
- **UV-C (200 до 280 nm):** Известен също като UV с къси вълни, включва бактерицидно (253,7 nm дължина на вълната) UV, използвано за дезинфекция на въздуха. Неволното преекспониране причинява преходно зачервяване и дразнене на очите, но НЕ причинява рак на кожата или катаракта.
- **Вакуум UV (100 до 200 nm)**

Механизми за излъчване

Излъчването на електромагнитни вълни се дължи на неравномерното движение на електрически заредени частици (ускорително или закъснително движение). Излъчването на светлина от веществата се извършва благодарение на такива движения на изграждащите ги частици при вътрешномолекулни или вътрешноатомни процеси. Източниците на енергия и механизмите на излъчване при това могат да бъдат различни, както е например при светлината от слънцето, луминесцентната лампа и лазера.



Механизмите за излъчване на светлина са два основни вида: *равновесни* (при които излъчващите атоми и молекули са в равновесно състояние, т.е. електронно невъзбудено) и *неравновесни* (при които частиците на веществото са в електронно възбудено състояние). Към равновесното излъчване се отнася *инкандесценцията*, а към неравновесните - *луминесценцията* и *лазерното лъчение*.

ИНКАНДЕСЦЕНЦИЯ



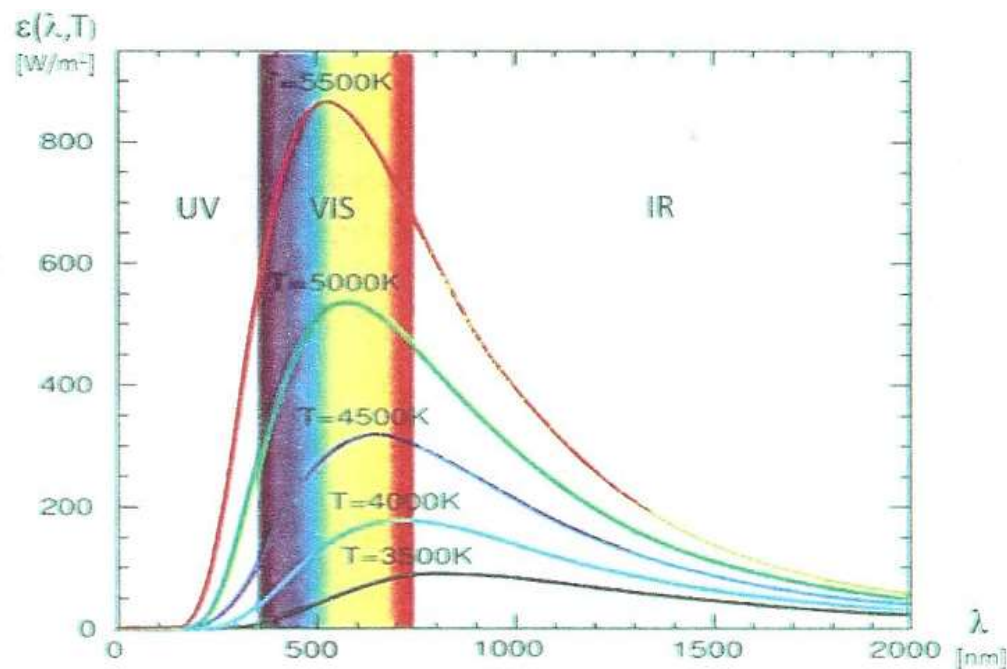
Видимия цвят на обект, нагрят до нажежаване в температурния интервал от 550 ° C до 1300 ° C.

От многообразието на електромагнитни лъчения може да бъде отделено едно, което е присъщо на всички тела. Това е излъчването на нагнетите тела. Нарича се още топлинно излъчване или инкандесценция. То възниква при всякакви температури на телата, по-високи от абсолютната нула (0 K) и затова се излъчва от всички тела в природата. В зависимост от температурата на тялото се променя както интензитета на излъчването, така и неговия спектрален състав (инфрачервени, видими, ултравиолетови фотони). Ето защо топлинното излъчване не всякога е видимо.

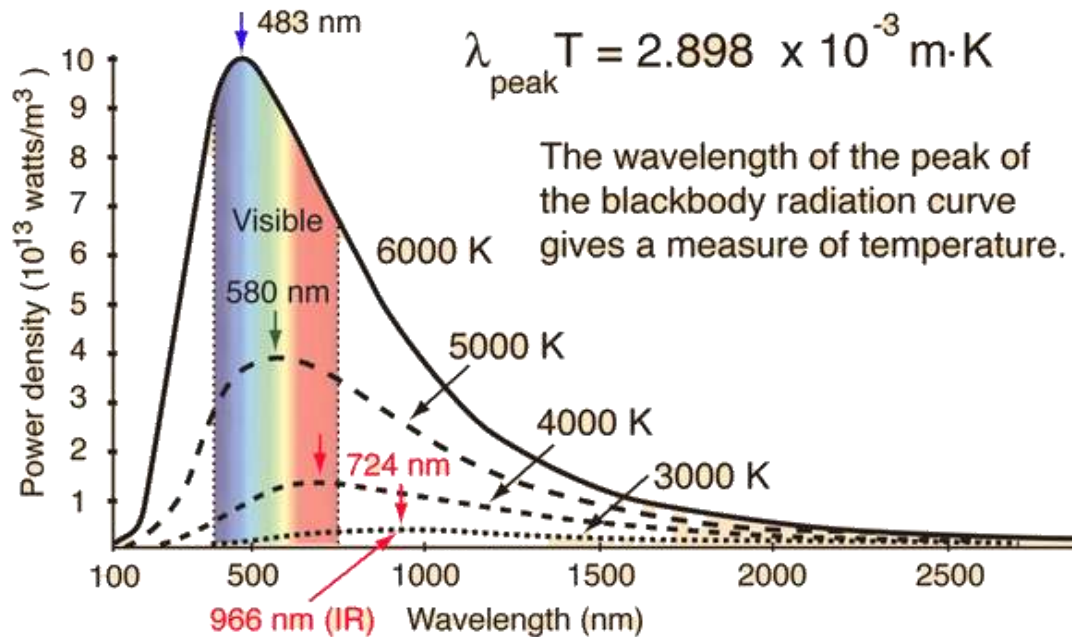
Механизъм и емисионен спектър

Топлинното излъчване е равновесно по механизъм, тъй като се излъчва от атоми и молекули, чийто електрони заемат основните си енергетични нива, т.е. не са възбудени. Причина за това излъчване са неравномерните движения на частици, съдържащи електрически товари. Тъй като множество различни частици участват и множество различни по големина енергии се трансформират в кванти електромагнитно лъчение, съвкупността от излъчваната светлина съдържа фотони с най-различна енергия (*честота*). С повишаване на температурата скоростта на този тип движения се увеличава, което води до увеличаване броя и енергията на излъчваните фотони, съответно до увеличаване интензивността на излъчване и промени в неговия спектрален състав.

Емисионният спектър на едно тяло е функция на две променливи $\varepsilon(\lambda, T)$: дължината на вълната λ и температурата T . Величината $\varepsilon(\lambda, T)$ се нарича **спектрална плътност на излъчването**.



Спектърът на излъчената светлина при определена температура е крива, която показва интензитета на излъчване при различни дължини на вълната. Кривите, представящи емисионния спектър, са подобни, но различни при различни температури на излъчващото тяло. На фигурата са показани пет спектъра, получени при температури 3 500, 4 000, 4 500, 5 000 и 5 500 K, Кривите имат еднотипна форма, но се различават по височината на максимума си и по неговото разположение. С повишаване на температурата максимумът нараства (увеличава се интензитетът на излъчване) и се отмества към по-късите дължини на вълните (излъчването с максимална интензивност става по-богато на енергия).



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/radfrac.html>

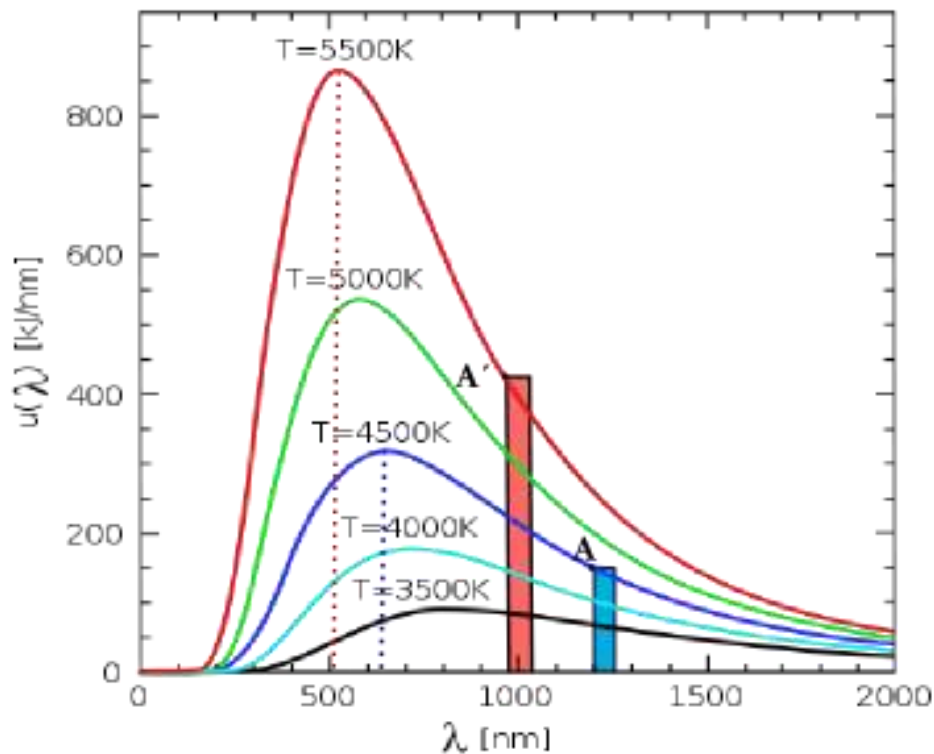
Сумата от стойностите на спектралната плътност на излъчването за всички дължини на вълните (т.е. представена от площта под кривата) се нарича **обща (интегрална) емисионна способност** на тялото $E(T)$. Тя зависи само от температурата. От показаните емисионни спектри, получени при различни температури, се вижда, че общата емисионна способност се увеличава с увеличаване на температурата на излъчващото тяло.

Конкретният вид на зависимостта на интегралната емисионна способност от температурата е установен от австрийските физици Йозеф Стефан (*Joseph Stefan*, 1835-1893, австрийски физик и математик) и Лудвиг Болцман (**закон на Стефан-Болцман** *Ludwig Eduard Boltzmann*, 1844-1906, австрийски физик) и носи името :

$$E(T) = \sigma T^4$$

($\sigma = 5,67 \times 10^{-8}, Wm^{-2}K^{-4}$ се нарича константа на Стефан - Болцман).

Този закон показва, че общата излъчена енергия нараства пропорционално на четвъртата степен на температурата на тялото. С други думи, ако температурата се увеличи 2, 3, 4 и т.н. пъти, излъчването ще се увеличи съответно 16, 81, 256 и т.н. пъти.



Немският физик Вилхелм Вин (*Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien*, 1864-1928, носител на Нобелова награда за физика за 1911 г.) установява, че дължината на вълната, излъчвана с максимална интензивност от нагрятото тяло е обратно пропорционална на неговата температура (закон на Вин):

$$\lambda = \frac{b}{T}$$

($b = 2,9 \times 10^{-3}, \text{mK}$ се нарича константа на Вин).



От този закон следва, че с увеличаване на температурата, максимумът на излъчване се премества към по-късите дължини на вълната (т.е. започват да се излъчват по-богати на енергия фотони). Нагледна илюстрация на закона на Вин е промяната на цвета на нагрявано парче метал (отначало тъмен, после тъмночервен, след това оранжев, жълт и накрая, при много висока температура - бял).

Медицински приложения

Температурата на човешкото тяло е около 310 K . Това обуславя топлинно излъчване на електромагнитни вълни с дължина в диапазона $9 - 50\ \mu\text{m}$, т.е. инфрачервена светлина. Поглъщането на инфрачервените лъчи от веществата води до увеличаване молекулно-механичната енергия на техните частици, т.е. до увеличаване на тяхната топлинна енергия. Ето защо топлинното излъчване на инфрачервена светлина е важен механизъм за пренос на топлина в пространството. Чрез топлинно излъчване човешкият организъм осъществява около 50% от своя топлообмен с околната среда.

Измерванията на температурата по повърхността на човешкото тяло показват, че тя варира в различните точки. Стойностите ѝ зависят от външни физични фактори и от вътрешни метаболитни и циркулационни процеси близо до кожата. Кръвният поток под кожата е доминиращ фактор в това отношение. Тъй като вариациите в тези вътрешни процеси могат да бъдат симптоматични за някои патологии са правени много опити за точно "картографиране" на повърхностната телесна температура и за свързването ѝ с патологични състояния. Тъй като топлинното излъчване от организма носи важна диагностична информация са разработени методи и апаратура за получаване на температурна "карта" на повърхността на тялото (*термография*). Повърхностните участъци от тялото с повишено кръвоснабдяване или усилен метаболизъм могат да бъдат открити чрез фотография с инфрачервени лъчи (*инфрачервена фотография*) или термовизия (*инфрачервена телевизия*).

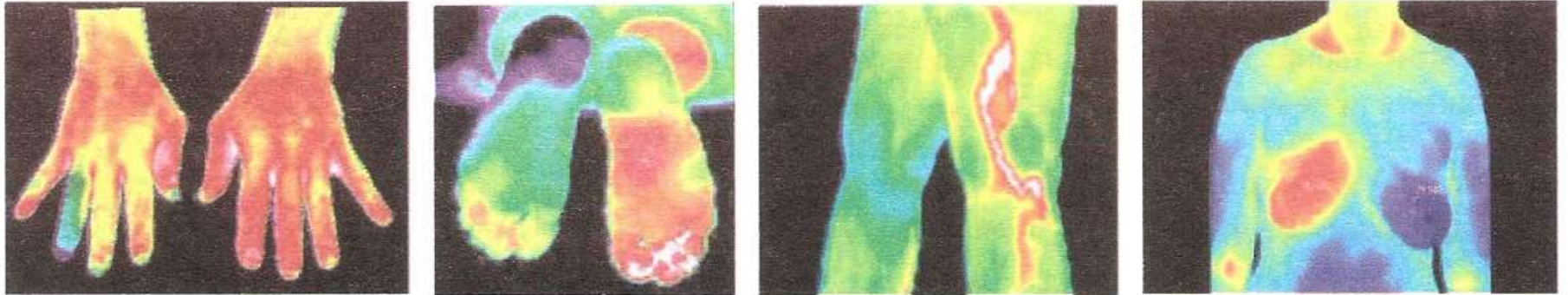


Фотография в реални
видими цветове



Инфрачервена термограма
(кодирана във видими цветове)

Инфрачервената фотография се осъществява със специални фотоапарати, чиято оптична система пропуска инфрачервените лъчи. Те работят и със специални фотоленти, чувствителни в инфрачервения диапазон. С тях се получава *термограма* на инфрачервеното излъчване от обекта, която съответства на температурното разпределение в дадения момент. Термограмата не е фотографска снимка на обекта, а инфрачервеното му излъчване, кодирано във видим образ - черно-бял или цветен. При черно-бялото кодиране по-топлите участъци са кодирани с по-светли нюанси на сивото, а при цветното- с по-топлите цветове от видимия спектър.



С инфрачервени термограми могат да бъдат локализирани повърхностни зони от тялото с повишено кръвоснабдяване или усилен метаболизъм. Прави се ранна диагностика на тумори, сканира се топографията на разширени вени, области с нарушено кръвоснабдяване, невропатия на крайниците, възпалителни процеси.



Термографията често се използва за откриване на рак на гърдата. Изследванията показват, че в областта на раковото огнище има повишена кожна температура. Обикновено се сравнява температурния релеф на двете гърди. Когато температурата на едната е по-висока в определена зона, това предполага развитието на тумор в тази зона. Туморът често усилва кръвоснабдяването и има по-ускорен метаболизъм - и двата фактора увеличават температурата му. Термограмата избягва допълнителните диагностични тестове - палпация, снимка с меки рентгенови лъчи и/или биопсия. С палпация трудно се откриват тумори с диаметър по-малък от сантиметър. Използуването на рентгенови лъчи за диагностиката на рака на гърдата е информативно, но те са вредни за организма. Биопсията дава най-точна информация за материала, който е извлечен, но ракова тъкан близо до мястото на изрязване може да бъде пропусната.