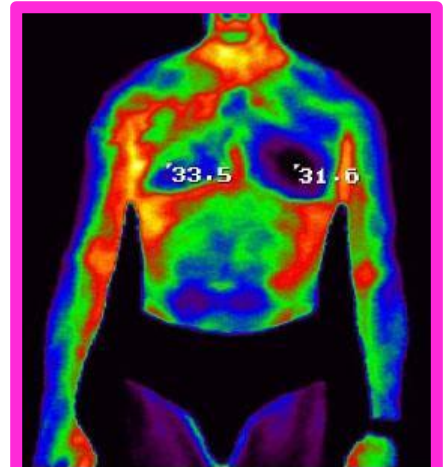




Тепловое излучение Квантовая биофизика



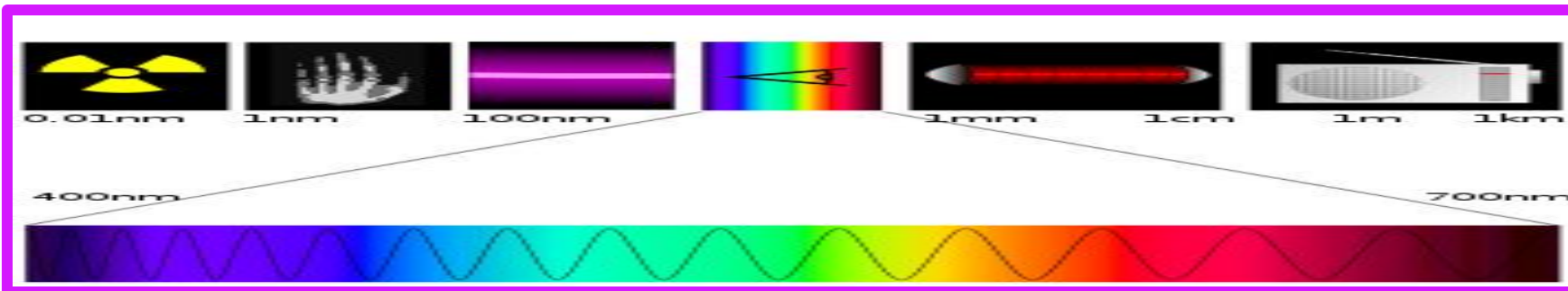
Ростов-на-Дону
2012



Содержание лекции №8

- **Тепловое излучение. Характеристики и законы теплового излучения.**
- **Физические основы тепловидения**
- **Люминесценция**

Шкала электромагнитных волн



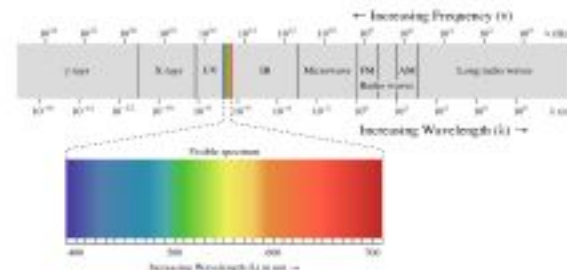
I Радиоволны до 1 мм

II ИК излучение (инфракрасное излучение)

1 мм – 760 нм

III Видимое 760 нм – 400 нм

$\lambda_{\text{зелен}} = 555 \text{ нм}$ **красн** **Фиол.**



IV УФ излучение (ультрафиолетовое излучение):

400 нм – 20 нм

V Рентгеновское излучение 80 – 10^{-5} нм

VI γ -излучение $\lambda < 0,1 \text{ нм}$

Тепловое излучение

Тепловое излучение- это электромагнитное (э/м) излучение, которое испускают **все !** тела, температура которых **выше** абсолютного нуля за счет своей **внутренней** энергии.

ВОПРОС: Это ионизирующее излучение?

Ответ: Это **неионизирующее** излучение

ТЕСТ:

Укажите температуру, при которой **может** наблюдаться **тепловое излучение**:

А. **25⁰ С** Б. **- 35⁰ С** В. **10 К** Г. **700 К**

Характеристики теплового излучения

1. Поток излучения Φ – это средняя **мощность** излучения.

Поток излучения – это энергия **всех** длин волн, излучаемых за 1 с

$$\Phi = \frac{E}{t}$$

[Вт]

2. Энергетическая светимость R – поток излучения, **испускаемый** 1 м² поверхности тела.

Или: это энергия **всех** длин волн, излучаемых за 1 с с 1 м²

$$R = \frac{\Phi}{S}$$

$\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$

$$R = \frac{E}{t \cdot S}$$

3. Спектральная плотность энергетической светимости

r_λ - это отношение энергетической светимости узкого участка спектра dR_λ к ширине этого участка $d\lambda$.

$$r_\lambda = \frac{dR_\lambda}{d\lambda} \quad \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right] \quad \text{Для } \underline{\text{определенной}} \text{ длины волны}$$

r_λ - это энергия излучения с 1м^2 в 1с в интервале **от λ до $\lambda + \Delta\lambda$** .

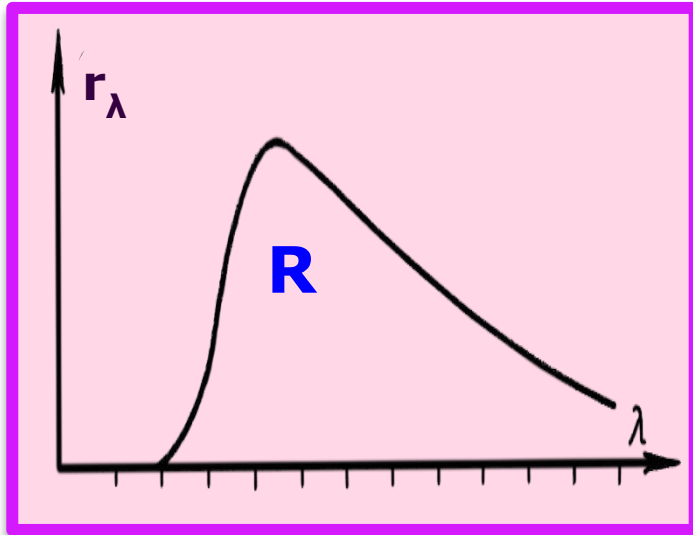
r_λ показывает, **какую долю** тепловое излучение данной λ составляет от общего теплового излучения источника.

3.1 Спектральная плотность энергетической светимости черного тела

ϵ_λ

Спектр излучения – это зависимость спектральной плотности энергетической светимости от **длины волны**:

$$r_{\lambda} = f(\lambda)$$



Спектр излучения **сплошной**.

r_{λ} зависит от λ , T , химического состава тел.

ВОПРОС:

Что характеризует площадь под графиком?

$$R = \int_0^{\infty} r_{\lambda} \cdot d\lambda$$

4. Коэффициент поглощения α :

α : равен отношению потока излучения поглощенного телом к падающему потоку. Он зависит от λ

$$\alpha = \frac{\Phi_{\text{погл}}}{\Phi_{\text{пад}}}$$

Монохроматический коэффициент поглощения α_λ

$$0 \leq \alpha_\lambda \leq 1$$

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{\text{погл}}(\lambda)}{\Phi_{\text{пад}}(\lambda)}$$

α_λ зависит от λ , T , химического состава тел.

Обзор

1. Поток излучения Φ

2. Энергетическая светимость R

3. Спектральная плотность энергетической светимости r_λ

3.1 Спектральная плотность энергетической светимости черного тела ϵ_λ

4. Монохроматический коэффициент поглощения α_λ

ВОПРОСЫ:

Монохроматический
коэффициент поглощения

α_λ

Сажа, черный бархат, черный мех. Чему равен α_λ ?



$$\alpha_\lambda = 1$$

Зеркало, белый материал. Чему равен α_λ ?



$$\alpha_\lambda = 0$$

Чайник **закопченный** и **не** закопченный. Где больше α ?
А в каком закипит быстрее?



Закопченный

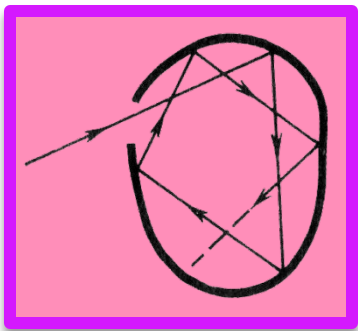
Спектр излучения черного тела



Черное тело – это тело, которое **полностью поглощает** весь падающий на него поток излучения.

Коэффициент поглощения $\alpha_\lambda = 1$ и **не зависит** от длины волны излучения.

Модель черного тела – это непрозрачный сосуд с небольшим отверстием, **стенки** которого имеют **одинаковую температуру**.



Через некоторое время стенки сосуда поглощают луч полностью.

ПРИМЕР: сажа, платиновая чернь



ВОПРОС:

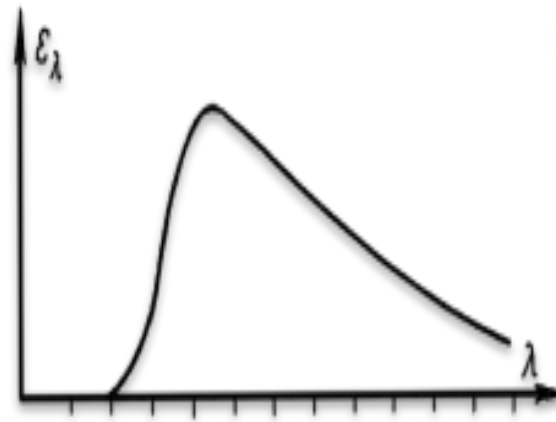
Почему **зрачок** нашего глаза кажется черным ?



Для **черного** тела ϵ_λ

-спектральная плотность
энергетической светимости

обозначается ϵ_λ



$$\epsilon_\lambda = f(\lambda)$$

Спектр излучения черного тела **сплошной**.

Свойства черного тела

1. Коэффициент поглощения черного тела α_λ равен 1.
 $\alpha_\lambda = 1$
2. Коэффициент поглощения черного тела **не зависит** от длины волны излучения λ .
3. Спектр излучения черного тела **сплошной**.
4. Черное тело – самый **совершенный излучатель**.

Серые тела

Серое тело – это тело, для которого коэффициент поглощения **меньше 1** и **не зависит** от длины волны λ излучения.

$$\alpha_{\lambda} < 1$$

Коэффициент поглощения α всех реальных тел зависит от λ и T (их поглощение селективно), поэтому их можно считать *серыми* лишь в определенных интервалах длин волн и температур, где α приблизительно постоянен.

ПРИМЕР: каменный уголь

$$\alpha_{\lambda} = 0,8$$



Тело
человека
 $\alpha_{\lambda} = 0,9$

Законы теплового излучения

Для всех тел

Закон
Кирхгофа

$$\frac{r_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} = \varepsilon_{\lambda}$$

Для черного тела

Формула
Планка

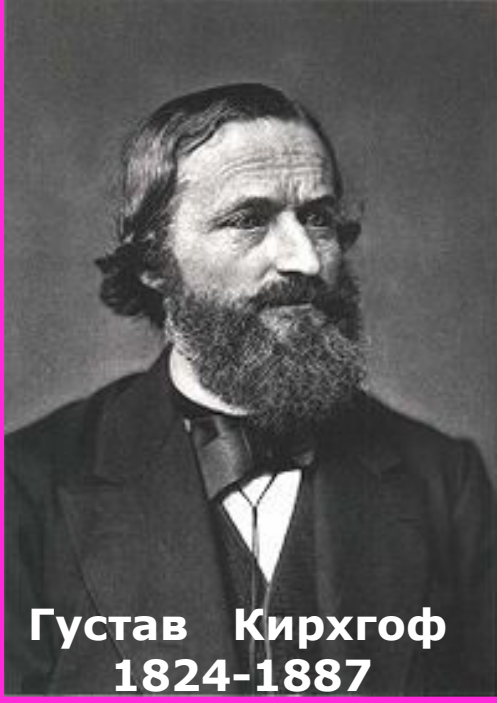
$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp[hc/(kT\lambda)] - 1}$$

Закон
Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

Закон Стефана - Больцмана

$$R = \sigma T^4$$



Густав Кирхгоф
1824-1887

Закон Кирхгофа

1859 г.

$$\frac{r_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} = \varepsilon_{\lambda}$$

$$\left[\frac{r_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} \right]_1 = \left[\frac{r_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} \right]_2 = \dots = \frac{\varepsilon_{\lambda}}{1}$$

Закон связывает способности тела *излучать и поглощать* энергию

При одинаковой температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости тел r_{λ} к монохроматическому коэффициенту поглощения α_{λ} для всех тел одинаково и равно спектральной плотности энергетической светимости черного тела ε_{λ} при той же температуре.

или

$$r_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \cdot \varepsilon_{\lambda}$$

Повторение

3. Спектральная
плотность
энергетической
светимости

r_{λ}

3.1 Спектральная
плотность
энергетической
светимости черного
тела

ε_{λ}

4. Коэффициент
поглощения

α_{λ}

Выводы:

1. $r_{\lambda} < \varepsilon_{\lambda}$, так как $\alpha_{\lambda} < 1$

2. Если $\alpha_{\lambda} = 0$, то $r_{\lambda} = 0$

3. Тело, которое **лучше поглощает**,
должно **интенсивнее и излучать**.

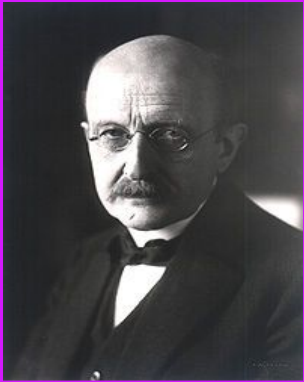
$$r_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \cdot \varepsilon_{\lambda}$$

4. Самый совершенный излучатель
– **черное тело** $\alpha_{\lambda} = 1$

Законы излучения черного тела

• Формула Планка

1900 г.



Макс Планк
1858 — 1947

Установила в **ЯВНОМ** ! виде **ВИД**
функции ε_λ в зависимости от λ и T



Повторение
3.1 Спектральная
плотность
энергетической
светимости черного
тела ε_λ

До Планка считали, что энергия
испускается **непрерывно** и **—→ УФ катастрофа**

УФ катастрофа – парадокс классической физики.

Гипотеза Планка: энергия испускается **порциями** =
квантами, то есть **дискретно**.

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp[hc / (kT\lambda)] - 1}$$

ε_{λ} -спектральная плотность энергетической светимости черного тела

k – постоянная Больцмана

c – скорость света в вакууме

h – постоянная Планка

λ – длина волны

T – термодинамическая температура

1879 г

Закон Стефана - Больцмана

1884 г



Йозеф Стефан
1835 – 1893

$$R = \sigma T^4$$

Энергетическая
светимость черного! тела
прямо пропорциональна
четвертой степени его
термодинамической
температуры.



Бóльцман
1844 —1906

Повторение

1. Поток излучения

Φ

2. Энергетическая
светимость R

3. Спектральная
плотность
энергетической
светимости

r_λ

ВОПРОС:

Если T **увеличить в
2 раза**,
интенсивность
излучения
возрастет в....

Постоянная Стефана -
Больцмана

$$\sigma \approx 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$$

16 раз

Для серых тел

$$R = \delta T^4$$

δ приведенный
коэффициент излучения

$$\delta = 5,1 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$$

Решение:

$$R = \sigma \cdot T^4$$

$$dR = 4\sigma T^3 dT$$

$$\frac{dR}{R} = 4 \frac{dT}{T}$$

$$R = \alpha \sigma T^4$$

Задача:

Докажите , что
относительное изменение
энергетической светимости
тела больше относительного
изменения температуры
излучающей поверхности в
4 раза.

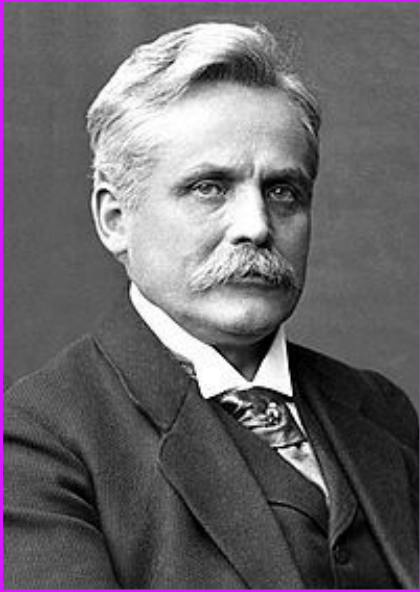
ВОПРОС:

Если T увеличилась на
1%, интенсивность
свечения возросла на...

4%

**T на
0,5%**

На 2%



Вильгельм Вин
1864 - 1928

Закон Вина

1893 г.

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

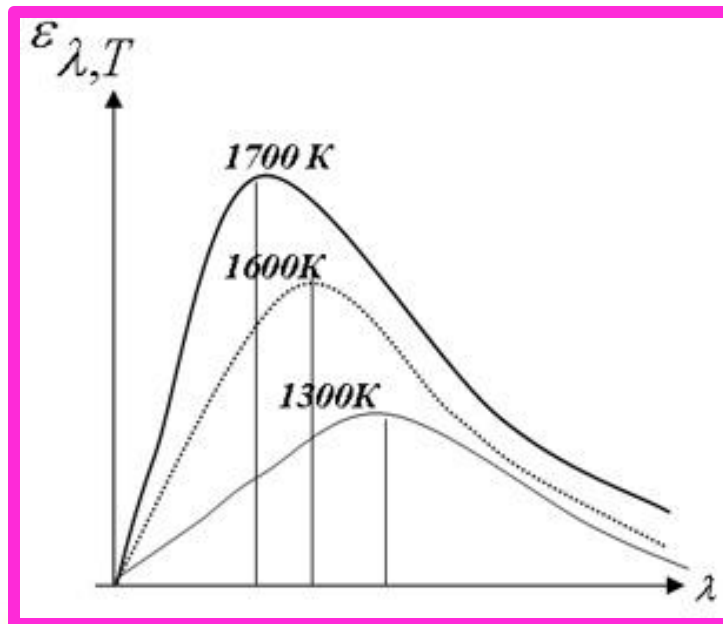
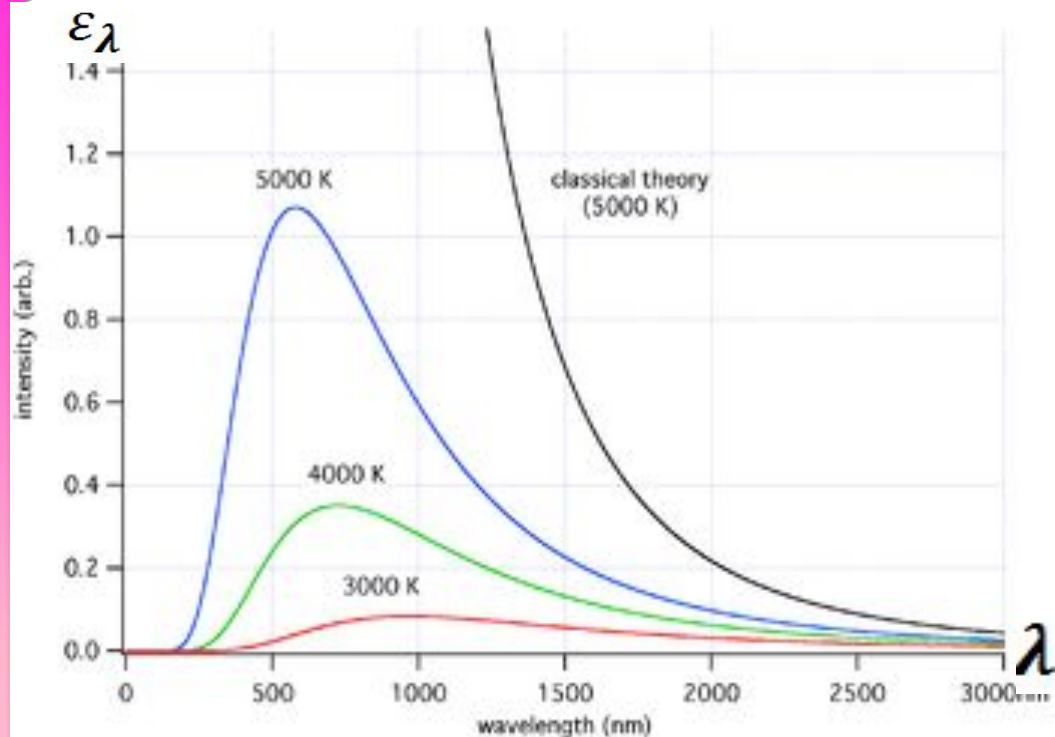


1911 г.

Длина волны ,на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости **черного тела** , обратно пропорциональна его термодинамической температуре.

$$b \approx 0,29 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$$

Постоянная Вина



**Спектр излучения
черного тела**

ϵ_λ -спектральная плотность энергетической
светимости **черного тела**

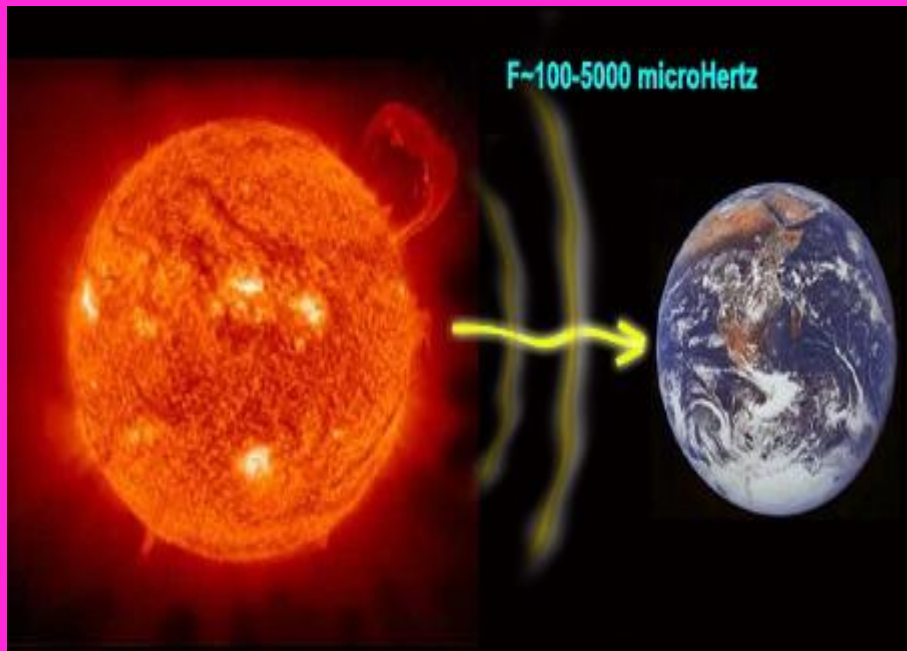
Максимум ϵ_λ **смещается влево** при $T_2 > T_1$

Поэтому называют закон **смещения** Вина.

ВОПРОС: Правильно ли начерчены эти графики для $T_2 = 2T_1$

Излучение Солнца

Солнце – самая **неизученная** звезда в нашей Солнечной системе.



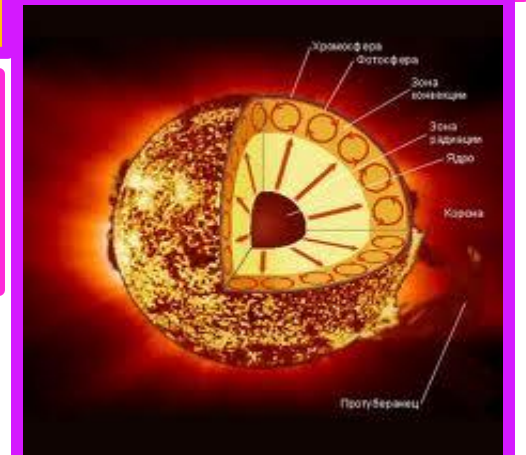
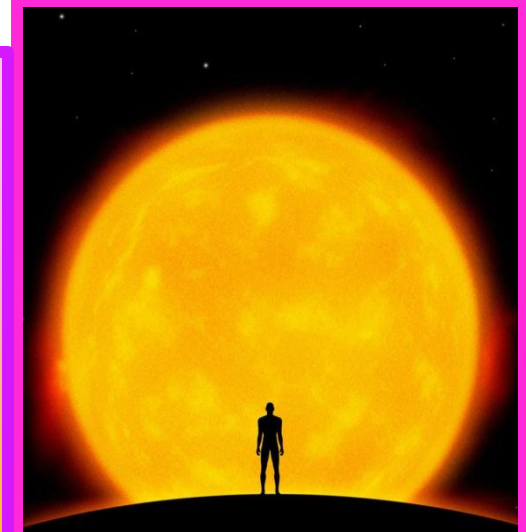
Колебания Земли синфазны с Солнцем

Солнечная постоянная

- поток солнечного излучения, приходящийся на 1 м² площади границы земной атмосферы.

Солнце – наиболее мощный источник теплового излучения, обеспечивающий жизнь на Земле.

$$1350 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$



Внутреннее строение Солнца

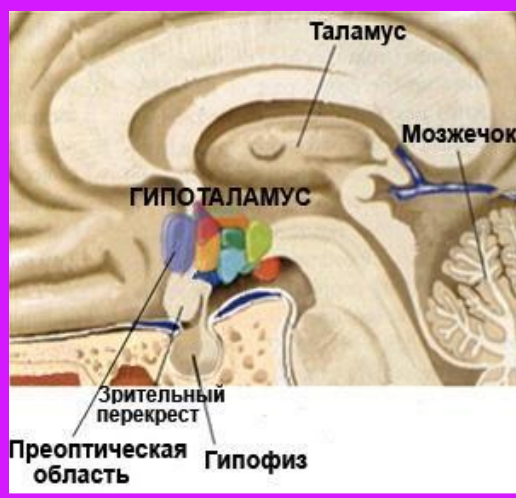
Тепловое излучение тела человека

Оно инфракрасное (ИК). $\lambda = 9,5 \text{ мкм}$

Обладает **тепловым** действием

Температура тела человека поддерживается **постоянной**, благодаря **терморегуляции**.

Теплопродукция = теплоотдача



→ Теплопроводность **0%**

→ Конвекция **20%**

→ Излучение **50%**

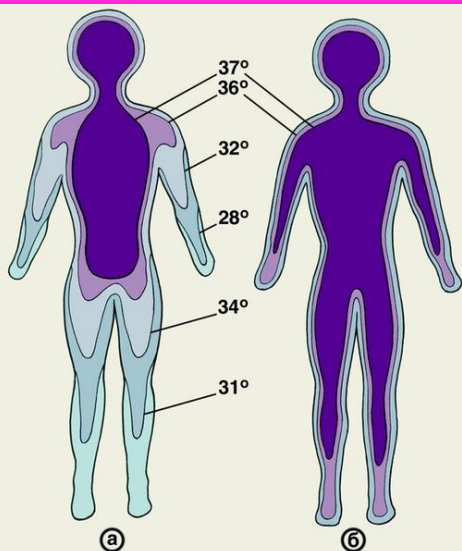
→ Испарение **20%**

Гипоталамус обеспечивает постоянство внутренней среды организма. Там находится и центр терморегуляции.

Расчет мощности излучения

$$P = \delta S(T_1^4 - T_0^4)$$

• Человек раздетый



Температура кожи

$$T_1 = 33^\circ\text{C} = 306\text{ K}$$

Температура воздуха

$$T_0 = 18^\circ\text{C} = 291\text{ K}$$

$$S = 1,5\text{ м}^2$$

Приведенный
коэффициент

излучения: $\delta = 5,1 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$

Ответ:

$$P = 122\text{ Вт}$$

• Человек одетый



Температура одежды 24°C

$$\delta = 4,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$$

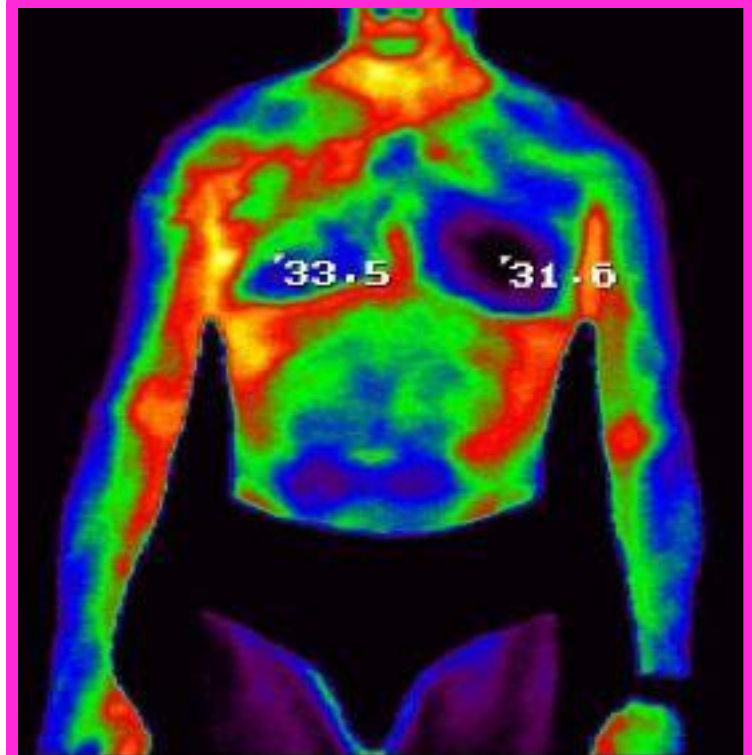
Ответ:

$$P = 37\text{ Вт}$$

Физические основы тепловидения

Тепловидение – диагностический метод, основанный на регистрации **температуры поверхности тела** за счет улавливания **инфракрасного** излучения.

При этом регистрируются **различия!** теплового излучения **здоровых** и **больных** органов, обусловленных небольшим отличием их температур.

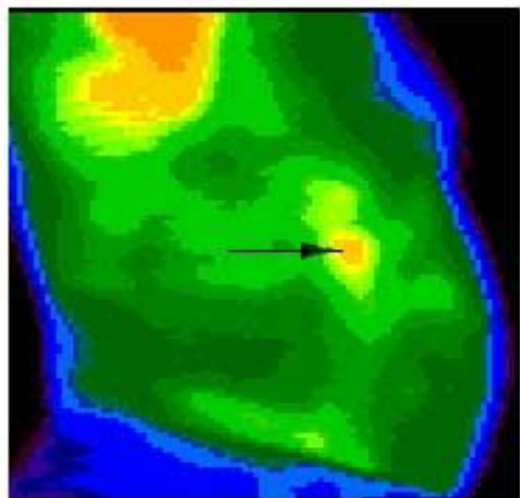


В основе термографии **закон Стефана –
Больцмана:**

$$R = \sigma T^4$$

Даже небольшое изменение температуры тела **на 1%** вызывает значительное **в 4 раза** изменение энергетической светимости, то есть **на 4%**

ТЕРМОГРАФИЯ
при холецистите
(стрелка - воспаление
желчного пузыря)



При этом получается **видимое !** изображение тел по их **тепловому (ИК-невидимому)** излучению.

Основные методы в тепловидении

Бесконтактные

Термограф



Тепловизор



ВОПРОС:

Какая разница?

Контактные

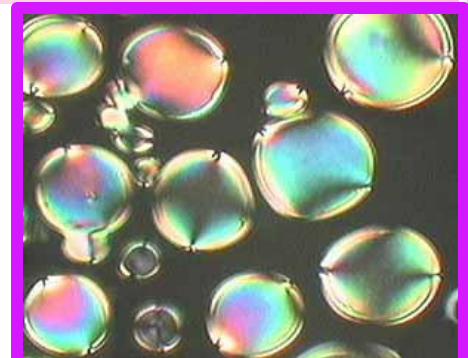
На **небольшой** участок поверхности тела помещается

специальная жидкокристаллическая пленка.

Жидкие кристаллы обладают свойством оптической анизотропии и **меняют цвет в зависимости от температуры.**



1888 г.



ЖК – свойства и жидкостей (**текучесть**) и кристаллов (**анизотропия**).

Термограф – это прибор, в котором тепловое изображение объекта **непосредственно ! без преобразования в электрический сигнал**, записывается на какой – либо **носитель, чаще всего бумагу**, покрытую тонким слоем вещества, меняющего свои оптические свойства под воздействием теплового излучения (**жидкокристаллические индикаторы**).



Тепловизор – это прибор для улавливания и регистрации излучения тела человека **на экране.** Этот измерительный прибор позволяет **увидеть !** **невидимое: ИК** излучение любых объектов.



Сканер

λ от 3 до 10 мкм

Приёмник –
преобразователь
ИК излучения в
электрический
сигнал

Экран



Тепловизор Т1-160 представляет собой **профессиональный телевизор** с очень широким температурным диапазоном.

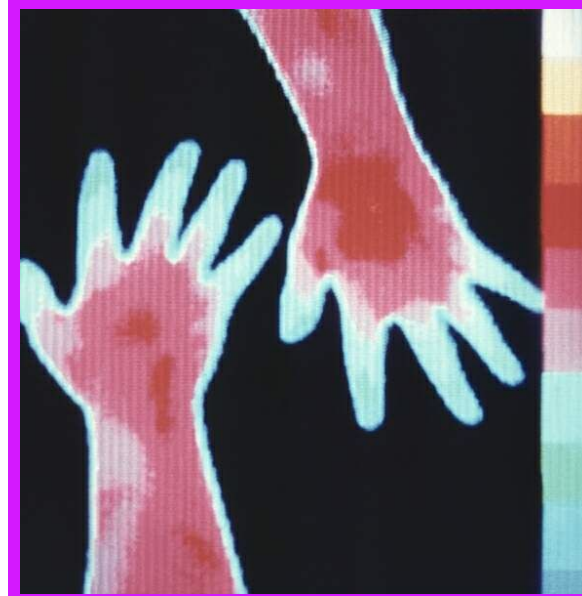


В медицине

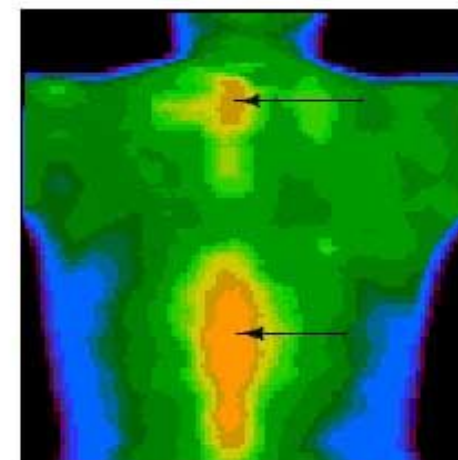
- Диагностика **сосудистых** заболеваний.
- **Функциональная** диагностика



Выявление в организме областей с **аномальной** температурой, в которых что-то происходит не так.



ТЕРМОГРАФИЯ
при остеохондрозе позвоночника

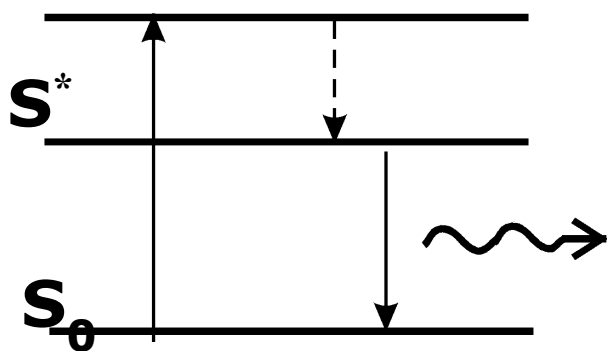
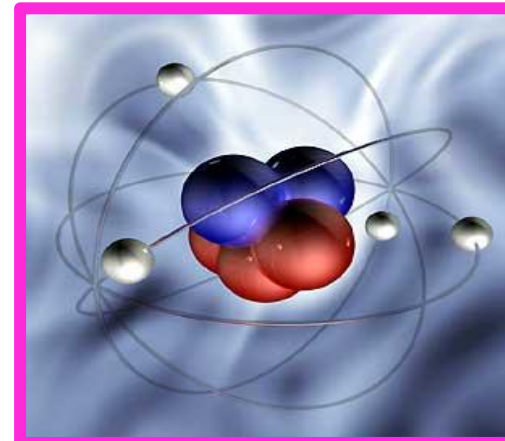


стрелками указаны места
напряжения мышц и воспаления

Электронные энергетические уровни атомов и молекул

Атомы и молекулы могут находиться в стационарных состояниях, когда они не излучают и не поглощают энергию.

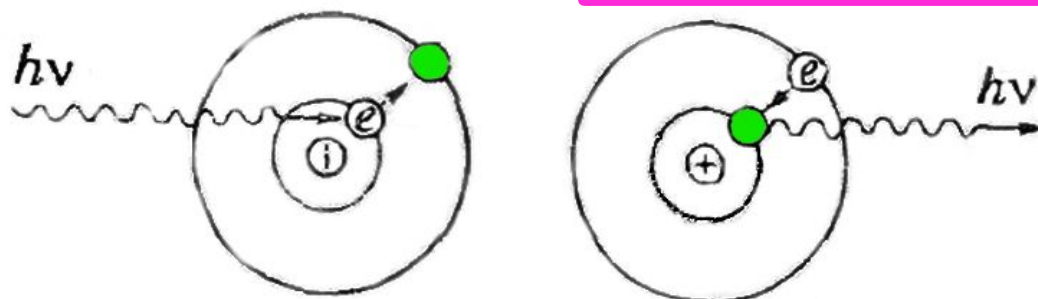
Энергетические состояния изображаются в виде уровней.



Самый нижний
основной S_0

Энергия фотона $E = h\nu$

h – постоянная Планка
 ν – частота излучения



Состояние атома меняется,
если есть переход электронов

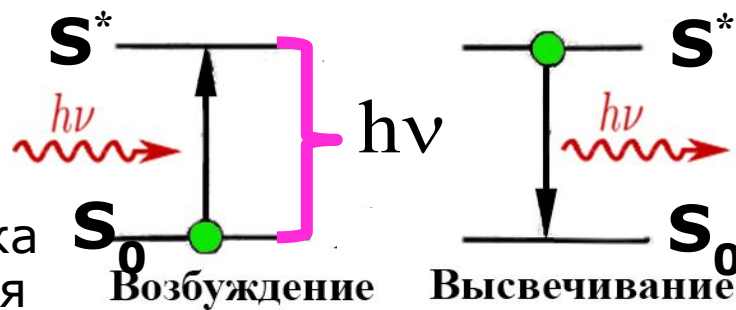
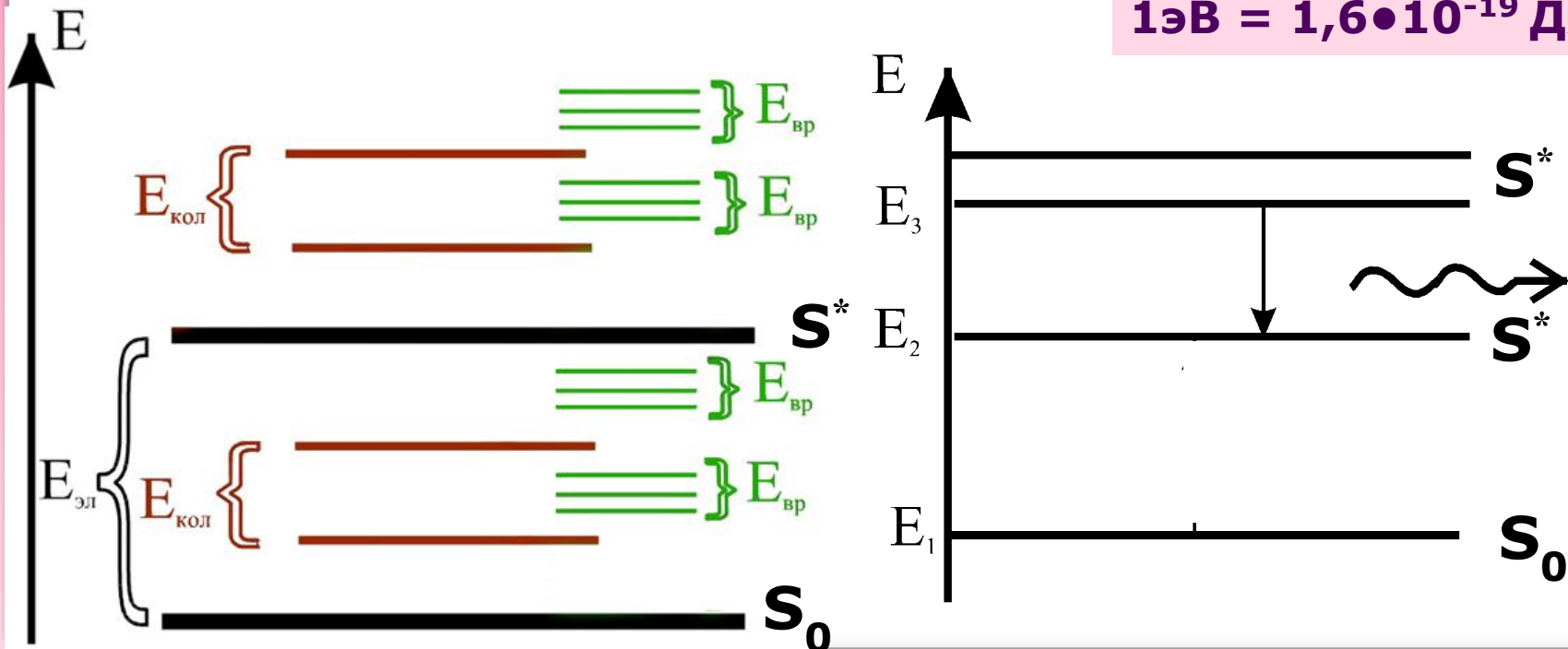


Схема энергетических уровней молекулы

Система уровней энергии молекулы характеризуется совокупностями далеко отстоящих друг от друга электронных уровней S_0 и S^* , расположенных значительно ближе друг к другу колебательных уровней и еще более близких вращательных уровней.

$$1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$



Люминесценция

(*Lumen, Luminis* – лат свет). «Холодное» свечение некоторых веществ)

L -я - это излучение света телами, **избыточное** ! над тепловым излучением **при той же температуре, возбужденное** ! **внешними источниками энергии** и продолжающееся в течение времени, значительно превышающего период световых колебаний.

$$\tau_{L-ии} = 10^{-9} - 10^6 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{света}} = 10^{-15} \text{ с}$$

Видеман + Вавилов С.И.



Существенно дополнил, сказав о длительности

ВАВИЛОВ С.И. 1891 - 1951



L-я – это коротко: надтемпературное свечение

Различные виды люминесценции

Люминесцируют **возбужденные** молекулы, и в зависимости от вида возбуждения различают:

- ИоноL-я – вызванная ионами;
- КатодоL-я – вызванная электронами;

ПРИМЕР:

На TV экране



- рентгеноL-я – рентгеновским и γ - излучением

ПРИМЕР:

На экране
рентгеновского
аппарата



- **ФотоL-я** – под воздействием фотонов;
- **ТрибоL-я** – вызывается трением

ПРИМЕР:

1605 г.
Френсис
Бекон –
кристаллы
сахара

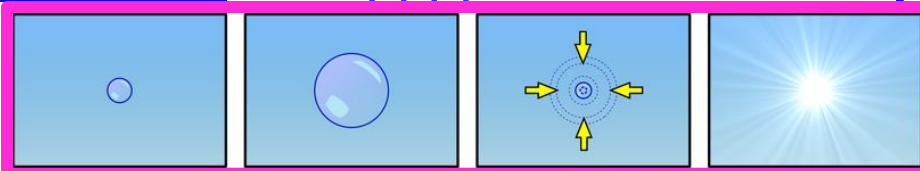


- **ЭлектроL-я** – вызывается электрическим полем;

- **Радио L-я** возникает при возбуждении атомов продуктами радиоактивного распада;

- **Хемилюминесценция** – излучение **сопровождающее** экзотермические химические реакции

- **СоноL-я** – под действием **УЗ**;



Фотолюминесценция

Возникает при возбуждении атомов светом (УФ и коротковолновая часть видимого света)

Флуоресценция – ее характеризует кратковременное "послесвечение"

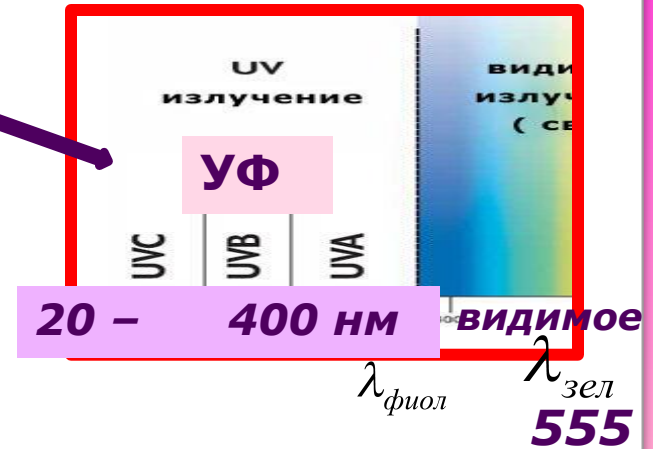
10^{-7} - 10^{-8} с после снятия возбуждения

ПРАКТИЧЕСКИ ЕГО НЕТ!

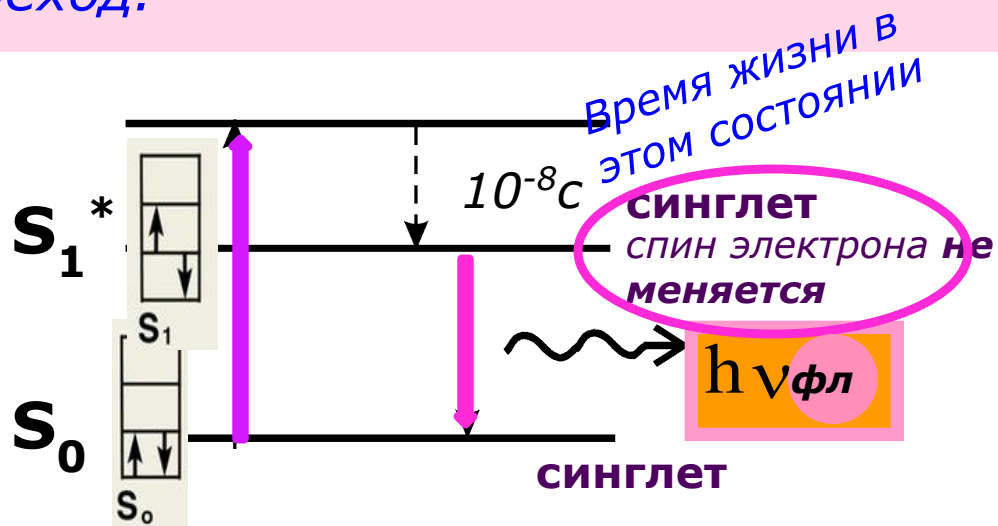
Свечение прекращается после снятия возбуждения

Фосфоресценция – ее характеризует длительное "послесвечение"

В физиологических условиях практически не наблюдается.



Флуоресценция – это испускание кванта света при переходе возбужденного электрона между **синглетными** уровнями (спин электрона **не** меняется). Это **разрешенный** по спину излучательный переход.



Свечение **прекращается** после снятия возбуждения.

Тоник облучают

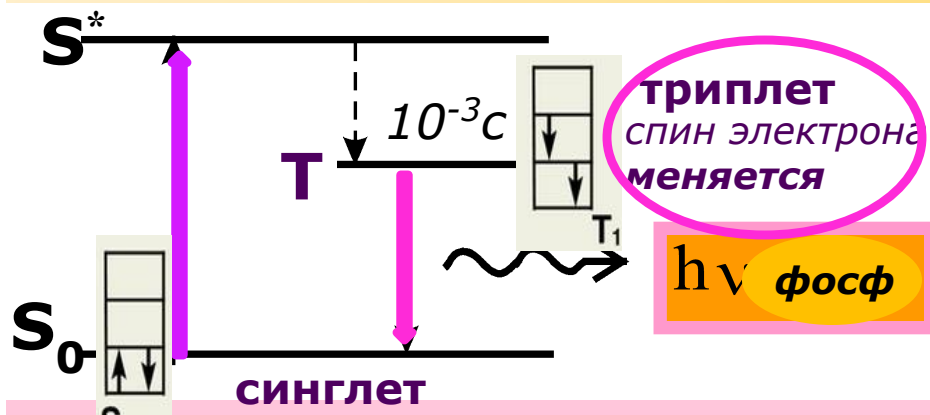


Ярко флуоресцирующее лекарственное соединение **хинин**. В кислых р-рах **синяя** область **475 нм**.

Фосфоресценция

–это испускание кванта света при переходе возбужденного электрона из триплетного состояния в синглетное (спин электрона меняется). Это запрещенный по спину излучательный переход.

Энергия, поглощенная веществом, высвобождается **медленно** в виде света.



Свечение сохраняется после снятия возбуждения



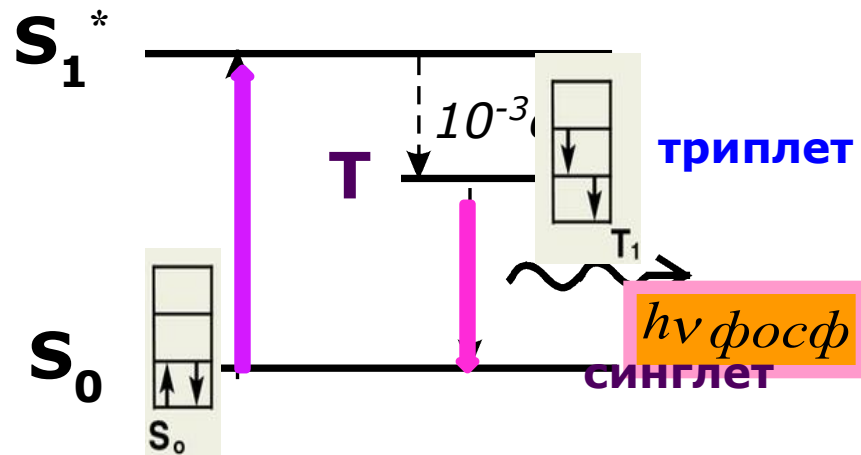
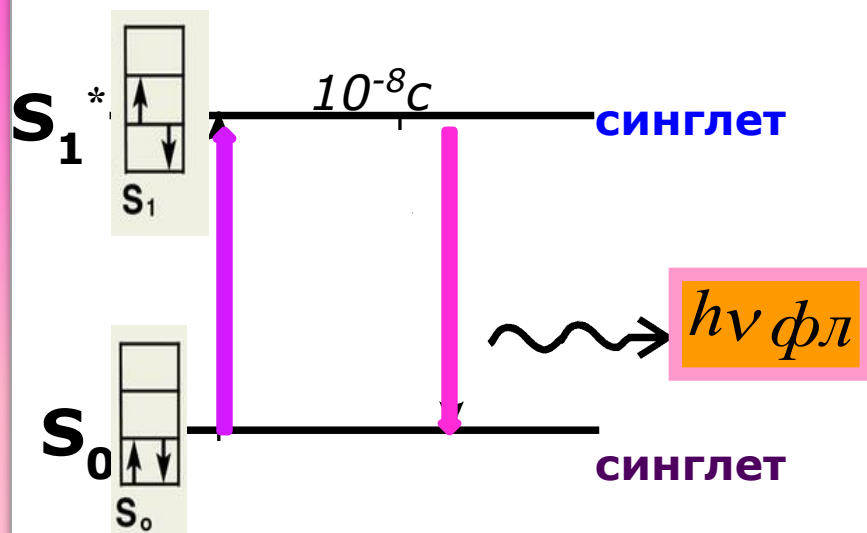
Банка в темноте



Облучили
ВИДИМЫМ светом и **УФ**

ВОПРОС:

Назовите три **отличия** синглета от триплета

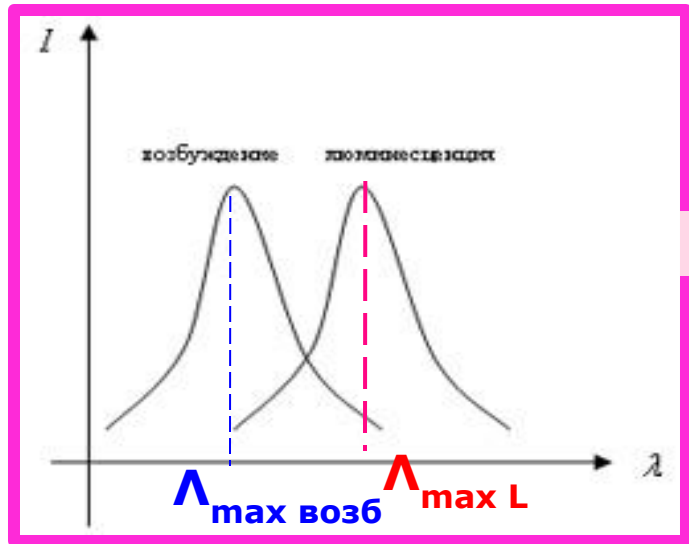


ОТВЕТ:

1. **Время жизни в триплете больше**
2. **Энергия в триплете меньше**
3. **В триплете спин меняется**

Закон Стокса для фотолюминесценции

Спектр люминесценции сдвинут в сторону больших длин волн относительно спектра, вызвавшего эту люминесценцию.



УФ

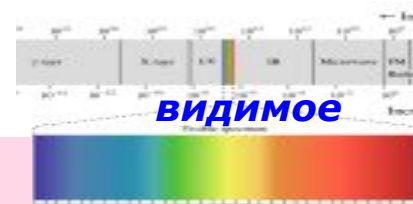
Видим.



Стокс Дж.

1819-1903(Кембридж)

На законе
Стокса
основаны
все методы
измерения
L-ии



УФ

400 нм

760 нм

$\lambda_{\text{кр}}$

$\lambda_{\text{фиол}}$

$\lambda_{\text{возб}}$

$\lambda_{\text{фиол}}$

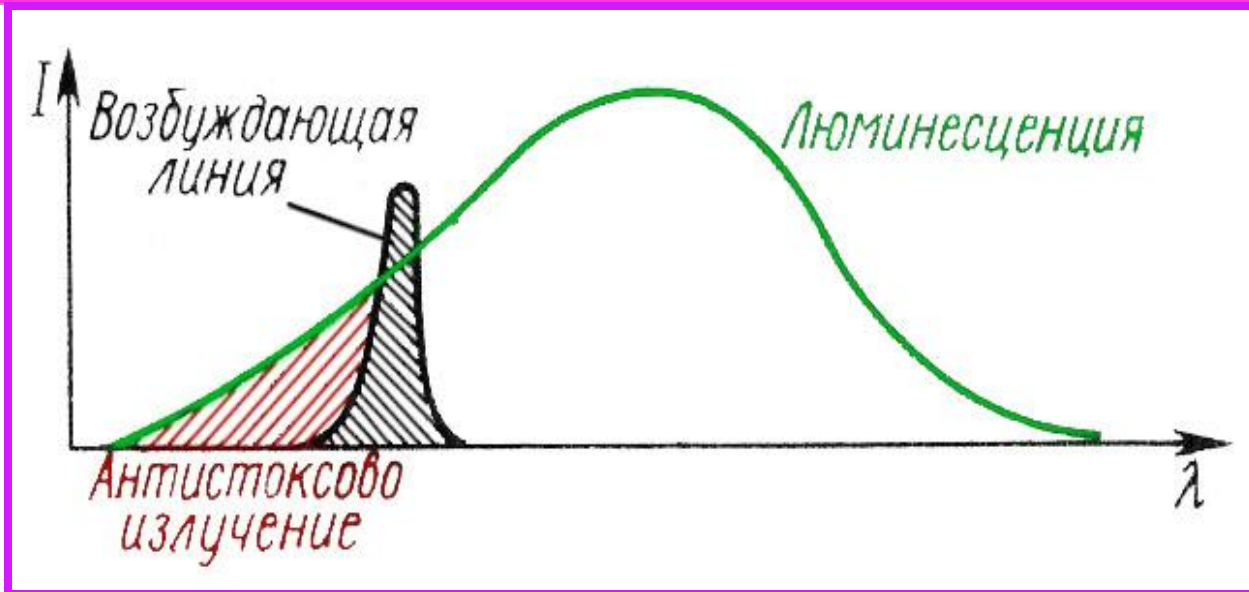
$\lambda_{\text{Л}}$

$\lambda_{\text{зел}}$



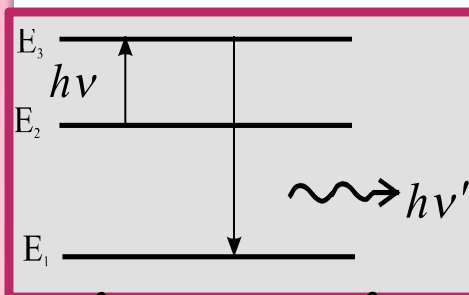
Колба с раствором
флуоресцеина.

Свет **L-ии** характеризуется **большей длиной волны**, чем свет возбуждающий.



Антистоксовая

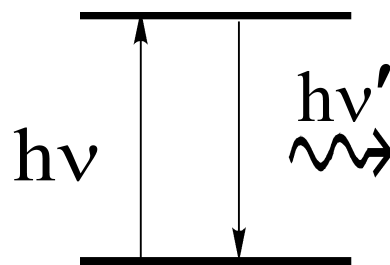
L-я (атом уже находится в возбужденном состоянии)



$$h\nu' > h\nu \quad \nu' > \nu$$

$$\lambda' < \lambda$$

Резонансная L-я

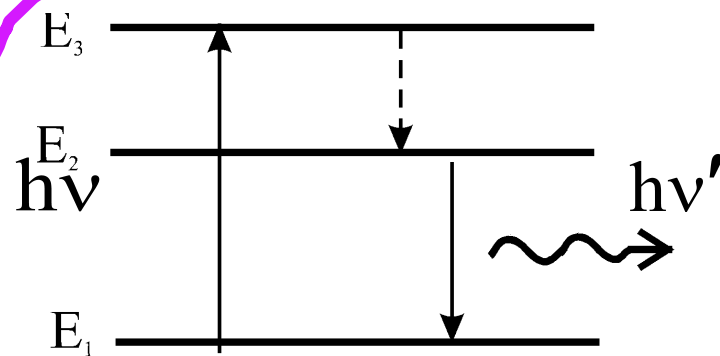


$$h\nu' = h\nu$$

$$\nu' = \nu$$

$$\lambda' = \lambda$$

Стоксовая L-я

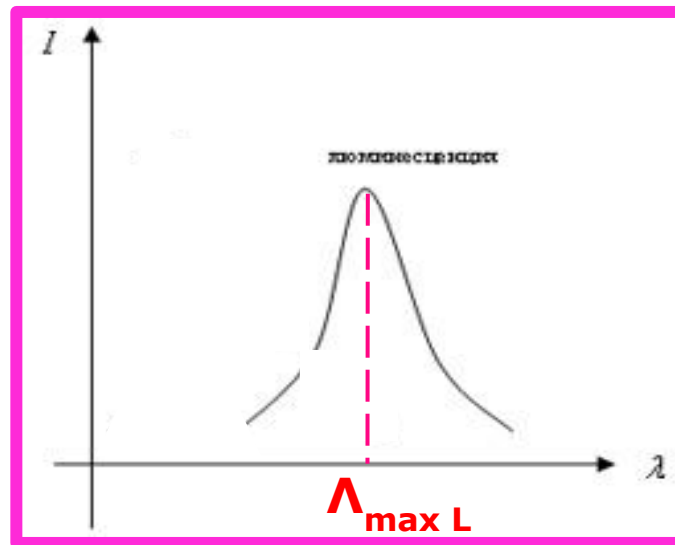


$$h\nu' < h\nu \quad \nu' < \nu$$

$$\lambda' > \lambda$$

■ Спектры люминесценции

Это характеристика **L-ии**. Это график зависимости интенсивности люминесценции от длины волны.



Роль
играет

Форма
спектра L-ии

Положение максимума $\lambda_{\max L}$ —
длина волны, на которую
приходится **максимум**
люминесценции

Квантовый выход люминесценции (ϕ)

ВОПРОС:

Для флуоресценции



Это КПД L-ии

$$\phi = \frac{N_{\text{изл}}}{N_{\text{погл}}}$$

$$\phi = 0,9$$

Как это понимать?

$$I_L = 2,3 I_0 \phi D$$

ОТВЕТ:

**На 10 погл-х квантов
высветилось 9**

ВОПРОС:

Для белков **$\phi=0,03$**

На 100 погл-х высветилось 3

$$D = \chi C l$$

**Это отношение числа
излучаемых
фотонов ($N_{\text{изл}}$) к
числу поглощенных
фотонов ($N_{\text{погл}}$)**

Люминесцентный качественный и количественный анализ.

L- анализ – это метод **исследования** различных объектов, основанный на наблюдении **их люминесценции**.

(по характерному для них свечению)

Качественный анализ – это метод, позволяющий обнаруживать и идентифицировать вещества в смесях по форме спектра **L-ии**

Отвечает на
вопрос: **Какое?**

Определение:

- **наличия** или отсутствия веществ;
- Изучение **структуры** молекул
- Химические превращения.

Количественный анализ –это метод,

позволяющий определять **концентрацию** вещества в смесях по интенсивности спектра **L-и**

Отвечает на вопрос: **Сколько?**

Чувствительность метода **10^{-10} г/см³**

ВОПРОС: Как понимаете?

Ответ:

Можно обнаруживать **массу вещества 0, 1 нг**

Виды L-ии биологических объектов

Под воздействием УФ

Собственное свечение (Первичная L-я)

→ **Витамины** B_1 , A , E , B_6
зел. УФ. син

→ **Белки**

→ **Триптофан**

→ **Тирозин**

→ **Фенилаланин**

Белки содержат 3 собственных флуоресцирующих хромофора:

Вторичная L-я

(возникает *после* соответствующей **химической модификации** имеющихся веществ)

Под действием **L-х красителей** = **люминофоров**. Это вещества, способные **превращать** поглощаемую ими энергию в **люминесценцию**.

ПРИМЕР: • **Витамины** B_{12} , C , D

• Наркотические вещества **морфин** и **героин** после обработки серной кислотой с послед. выщелачиванием дают **синюю** флуоресценцию. Определяется до **0,02 мкг** наркотика в крови.

Макроанализ

Это наблюдение невооруженным глазом **L-ии** объектов, облученных **УФ** излучением.

Контроль качества фармакологических препаратов.

Контроль качества пищевых продуктов.
Проводят по собственной L-ии

ПРИМЕР: При длительном хранении молока и сливок рибофлавин окисляется в люмихром. Цвет **L-ии** меняется от **желто-зеленого к синему**.

Диагностика кожных заболеваний (Проводят по собственной L-ии) :
под **УФ** свечение волос, кожи, ногтей при поражении их грибком и лишаем (**Ярко зеленая окраска**)



Лампа **Вуда** = лампа черного света (дает **УФ**)

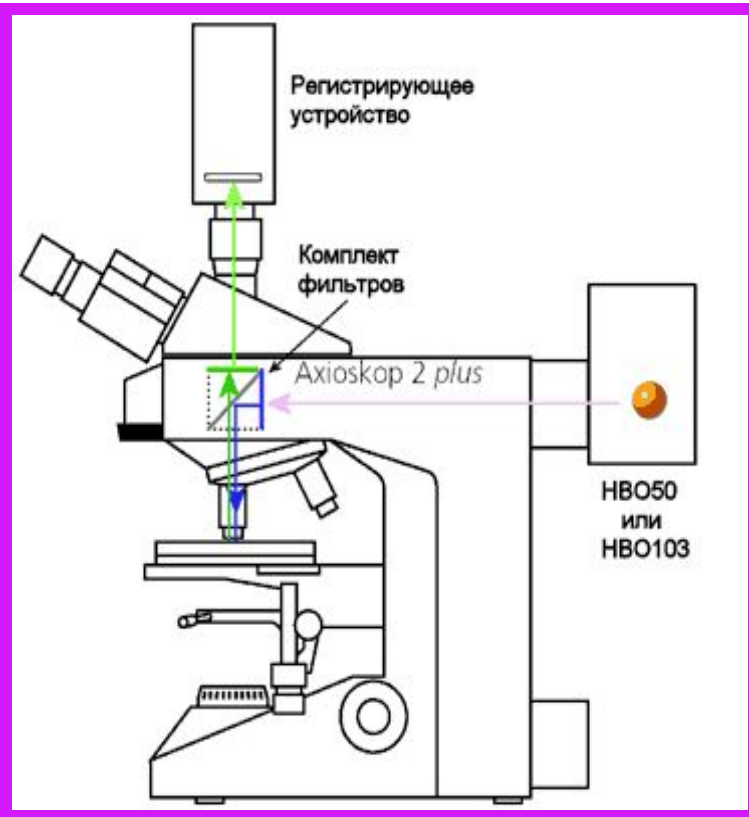


Люминесцентная микроскопия

Это метод исследования, основанный на изучении **под микроскопом L- го** свечения объекта, возникающего **при его освещении УФ**.



Устройство L-го микроскопа



3. Вторичный светофильтр
Между объективом и окуляром- выделяет свет L-ии Λ_L Цвет: **Зеленый, желтый**

4. Наблюдают с помощью ФЭУ или визуально

1. Источник для проведения фотовозбуждения:

Ртутно-кварцевая лампа
сверхвысокого давления (**УФ**)

Поэтому линзы конденсора и объектива....

Из кварца.

Чтобы увидеть L-ю нужны светофильтры.

2. Первичный светофильтр
перед конденсором

Выделяет область спектра, которая **вызывает L-ию**

Цвет: **Фиолетовый, УФ**

$\Lambda_{\text{возб}}$

Флуоресцентные зонды и метки

Это **люминофоры**, добавляемые к нелюминесцирующим веществам и связываемые с мембранами

Флуоресцентные зонды
(нековалентная связь с БМ)

это молекула, которая встраивается в структуру клетки, **не меняя химических связей**.
(Нековалентная связь с мембраной)

Флуоресцентные метки
(химическая связь)

Это люминофоры, **ковалентно** связанные с какими-либо молекулами, то есть путем **образования химических связей**.



ПРИМЕР: **Флуоресцентные зонды**

Определение времени циркуляции крови и области с пониженным кровоснабжением.

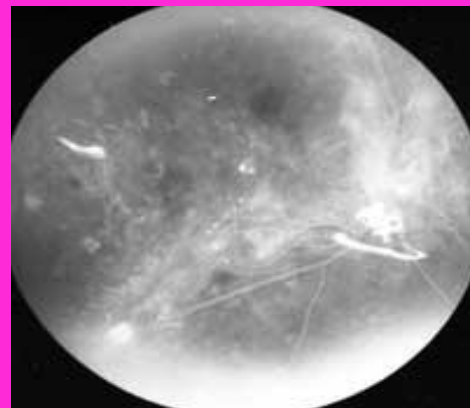
Определение скорости кровотока

Внутривенно вводят флуоресцеин секунд ярко зеленая флуоресценция в тканях глаз, слизистой оболочке рта, на губах.

Определение проницаемости капилляров кожи



Л-ю вызывают **УФ** и наблюдают в **видимой** области.



Фл-я ангиография сетчатки. Выход флуоресцеина из поврежденных сосудов

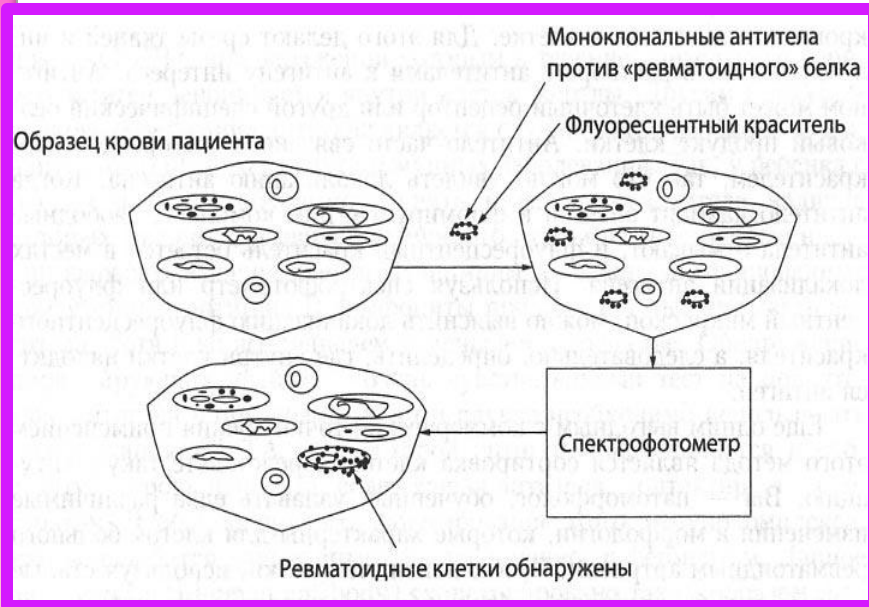


Глазное дно после **лазерокоагуляции** сетчатки.

ПРИМЕР: **Флуоресцентные метки**

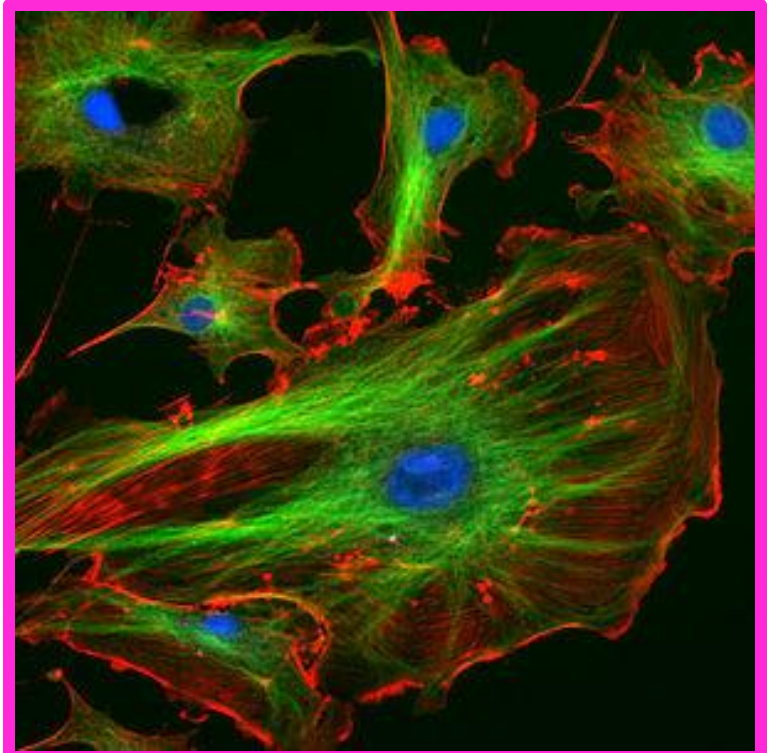
Использование **флуоресцентно меченных** антител в **иммунологических исследованиях крови**.

•Иммуоцитохимия



Использование связанных с флуоресцентной меткой моноклональных антител для выявления клеток, пораженных ревматоидным артритом

•Применение в клеточной биологии

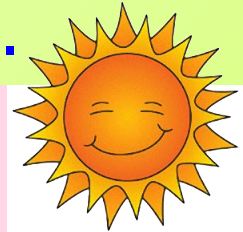


Эндотелиальные клетки. Ядра клеток – голубой цвет; микротрубочки – зеленые – фл-но меченые антитела; Актиновые микрофиламенты – красные-меченые флуоресцеином

Фотобиологические процессы, их основные стадии

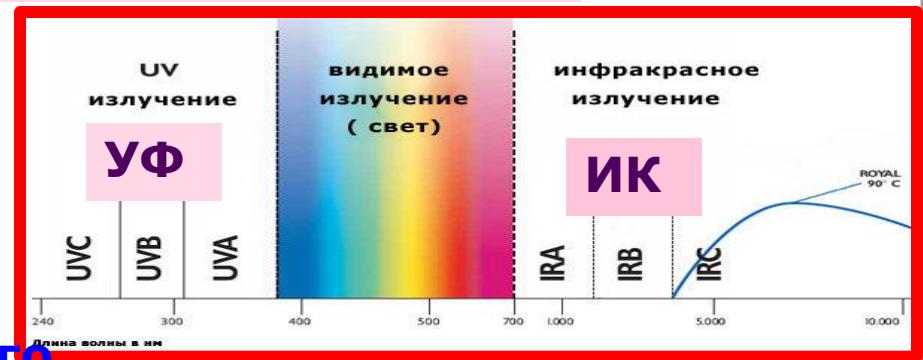
Фотобиологические процессы – это процессы, которые начинаются с поглощения квантов света молекулами ! и заканчиваются соответствующей физиологической реакцией в организме.

Поглощается очень узкий участок спектра: УФ, видимое, ИК. **Источник - Солнце**



$$h\nu \approx E$$

связи электронов в
молекуле, **несколько эВ**



Для сравнения: энергия **теплового** движения **сотые доли эВ**.

Следовательно, освещение молекул видимым светом соответствует их **нагреванию** до **20.000° C**

Фотобиологические процессы можно разделить на **позитивные** и **негативные**.

А по **функциональной** роли можно разделить на **3 группы**.



Все **разнообразие** фотобиологических процессов можно свести к реализации нескольких **последовательных стадий**.

Многообразие, но стадии общие:

I Фотофизическая

II Фотохимическая

III Биохимическая

**IV Биологическая или
физиологическая
реакция**

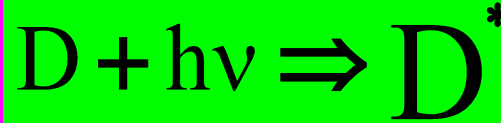
Световые

Темновые

I Фотофизическая стадия = это возбуждение молекулы при поглощении кванта света.

Этапы:

1. Поглощение кванта $h\nu$ света молекулой



Это приводит к возбуждению молекулы = запасанию энергии внутри молекулы. Молекула становится донором электрона.

ПРИМЕР:

Типичные доноры – это возбужденные молекулы триптофана и тирозина (Ароматические АК).

2. Миграция энергии по молекуле

Миграция энергии – это безызлучательный обмен энергией.

3. Миграция энергии от молекулы к молекуле.



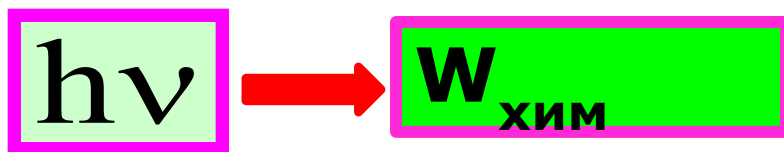
II Фотохимическая стадия = это химические превращения молекулы, вызванные фотофизической стадией.

Этапы:

(Их два)

1. Образование нестабильных фотопродуктов

Присоединение или отдача электрона или протона – это фотохимические реакции



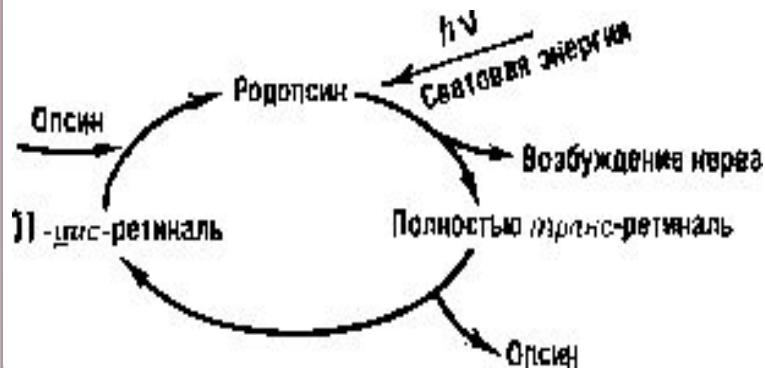
ПРИМЕР:

•Фотоизомеризация молекулы

Изомеры – молекулы с **одинаковым** составом и **разной пространственной** структурой

Фотоизомеризация – изменение пространственной структуры молекулы, возникающее после ее фотовозбуждения.

Одна единственная реакция в зрительном акте:
11-цис ретиналь переходит в полностью транс-ретиналь



- Фотоокисление = фотоперенос электронов
- Фотовосстановление
- Фотоперенос протона
- Фотодиссоциация – распад молекул на ионы и радикалы.

2. Образование стабильных фотопродуктов

III Биохимические реакции с участием фотопродуктов

IV Биологическая реакция клеток или организма = физиологический ответ

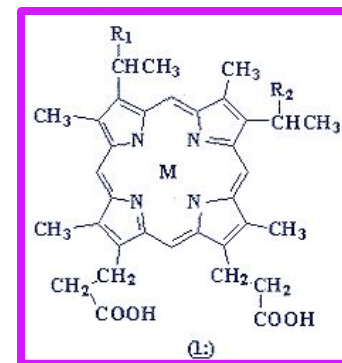
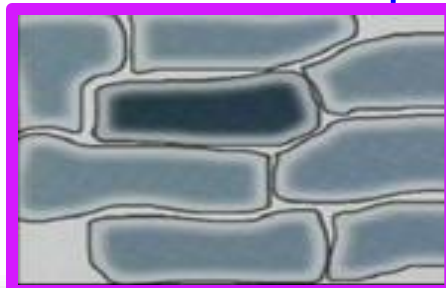
Понятие о фотомедицине

Фотомедицина – это область медицины, использующая **оптическое излучение** в **лечебно-профилактических целях**.

Фотосенсибилизатор – это вещество, **повышающее чувствительность биообъектов к свету**.

ПРИМЕР: **Гематопорфирин**

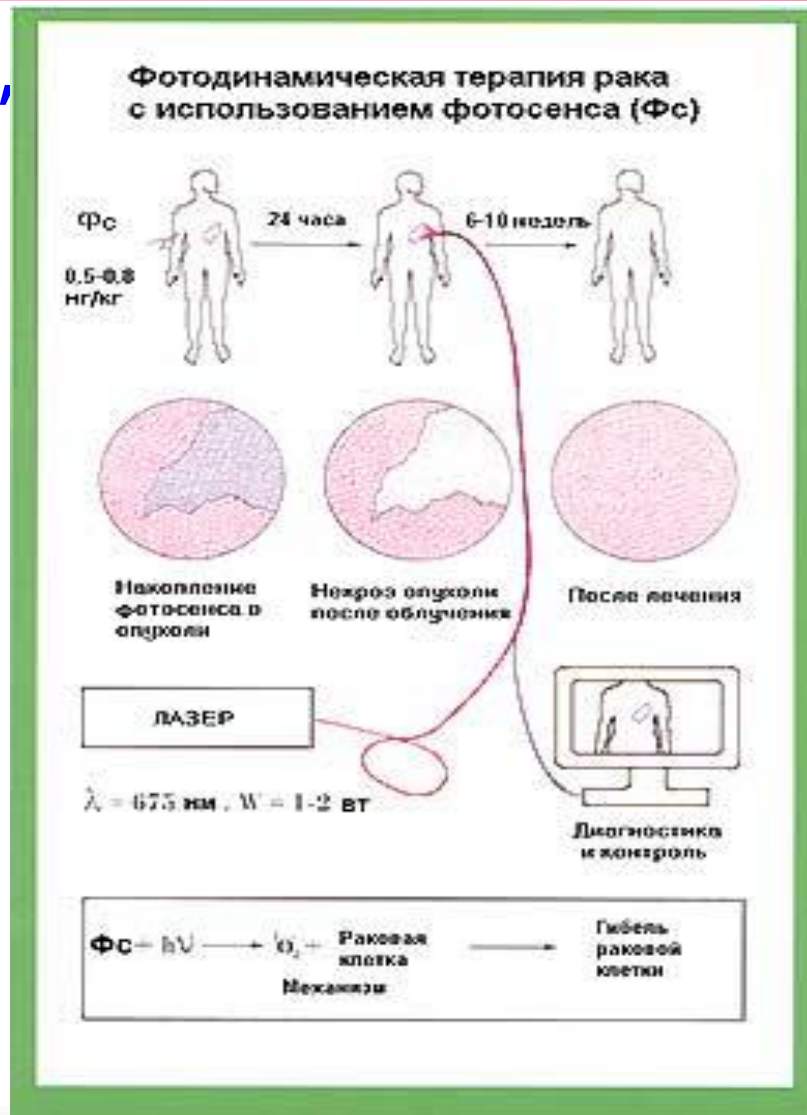
Обладает свойством **накапливаться в онкологически поврежденных** клетках организма, как наиболее энергодефицитных зонах.



1950 г

ФДТ – фотодинамическая терапия – метод подавления доступных для света опухолей.

Гематопорфирин вводится в/в, избирательно накапливается в метаболически активной **опухолевой** ткани. Поглощает в **красной** области спектра. Ткань облучают **лазером**.



ПРИМЕР:

Синий свет 400 нм используется в родильных домах для лечения **желтухи новорожденных**.

В крови накапливается в первые дни жизни аномально высокая концентрация **билирубина**- продукта распада гемоглобина из-за недостатка соответствующего фермента (**глюкуронилтрансферазы**).

Гидрофобный билирубин плохо растворим в воде и хорошо в жире. Он склонен накапливаться в клетках мозга, что может привести к необратимым изменениям в ЦНС. **Билирубин хорошо поглощает синий цвет**. Под действием синего света **билирубин легко фотоизомеризуется** непосредственно в кровеносных сосудах, **образуя водорастворимые** продукты, **легко выводящиеся из организма**.



