

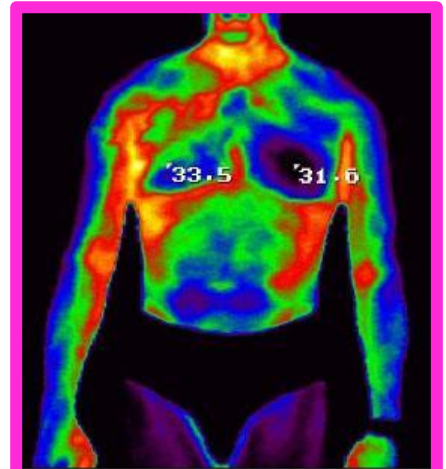


## Лекция 8

# Тепловое излучение Квантовая биофизика



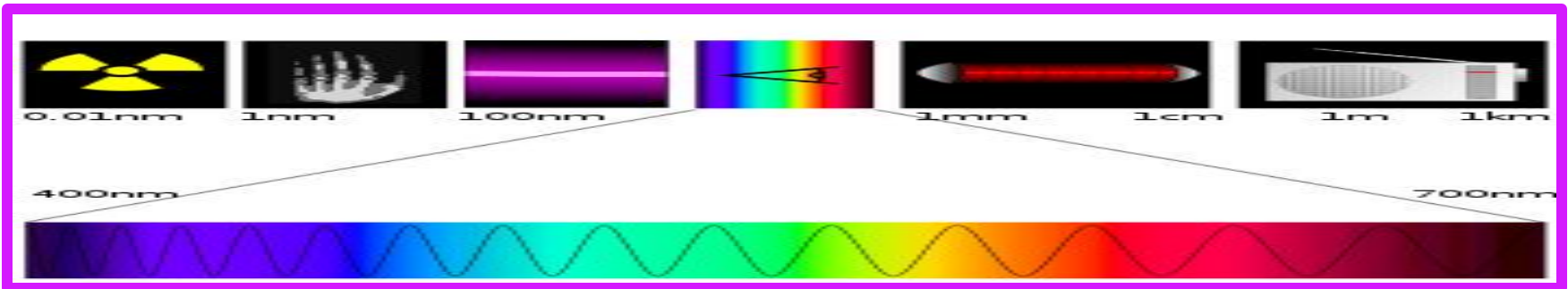
Ростов-на-Дону  
**2012**



## **Содержание лекции №8**

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

# Шкала электромагнитных волн



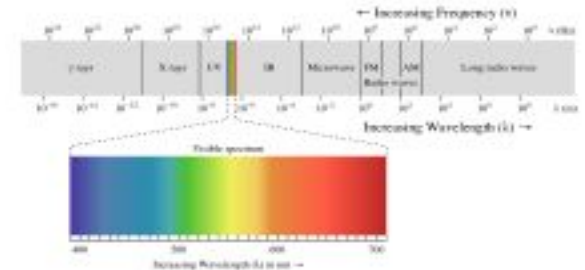
**I** Радиоволны до 1 мм

**II** ИК излучение (инфракрасное излучение)

1мм – 760 нм

**III** Видимое 760 нм – 400 нм

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



**IV** УФ излучение (ультрафиолетовое излучение):

400 нм – 20 нм

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

**VI**  $\gamma$ -излучение  $\lambda < 0,1$  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. **25<sup>0</sup> С**      Б. **- 35<sup>0</sup> С**      В. **10 К**      Г. **700 К**

# Характеристики теплового излучения

1. Поток излучения  $\Phi$  – это средняя **мощность** излучения.

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

$$\Phi = \frac{E}{t} \quad [\text{Вт}]$$

2. Энергетическая светимость  $R$  – поток излучения, **испускаемый**  $1\text{ м}^2$  поверхности тела.

Или: это энергия **всех** длин волн, излучаемых за 1 с с  $1\text{ м}^2$

$$R = \frac{\Phi}{S} \quad \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

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

### 3. Спектральная плотность энергетической светимости

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

$$r_\lambda = \frac{dR_\lambda}{d\lambda}$$

$$\left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right]$$

Для определенной длины волны

$r_\lambda$  - это энергия излучения с  $1\text{м}^2$  в  $1\text{с}$  в интервале **от  $\lambda$  до  $\lambda + \Delta\lambda$** .

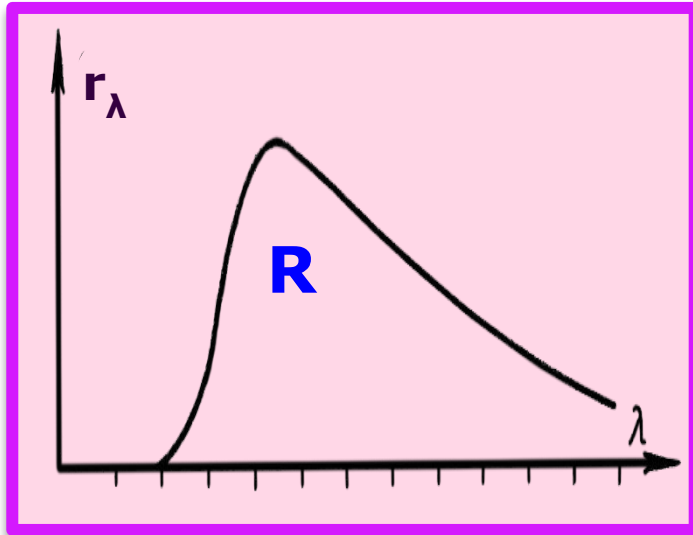
$r_\lambda$  показывает, **какую долю** тепловое излучение данной  $\lambda$  составляет от общего теплового излучения источника.

3.1 Спектральная плотность энергетической светимости черного тела

$\epsilon_\lambda$

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

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



Спектр излучения **сплошной**.

$r_{\lambda}$  зависит от  $\lambda$ ,  $T$ , химического состава тел.

**ВОПРОС:**

Что характеризует площадь под графиком?

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



## 4. Коэффициент поглощения $\alpha$ :

$\alpha$  равен отношению потока излучения поглощенного телом к падающему потоку. Он зависит от  $\lambda$

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

## Монохроматический коэффициент поглощения $\alpha_\lambda$

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

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

$\alpha_\lambda$  зависит от  $\lambda$ ,  $T$ , химического состава тел.

### Обзор

1. Поток излучения  $\Phi$

2. Энергетическая светимость  $R$

3. Спектральная плотность энергетической светимости  $r_\lambda$

3.1 Спектральная плотность энергетической светимости черного тела  $\epsilon_\lambda$

4. Монохроматический коэффициент поглощения  $\alpha_\lambda$

**ВОПРОСЫ:**

**Монохроматический коэффициент поглощения**  $\alpha_\lambda$

**Сажа, черный бархат, черный мех.** Чему равен  $\alpha_\lambda$  ?



$$\alpha_\lambda = 1$$

**Зеркало, белый материал.** Чему равен  $\alpha_\lambda$  ?



$$\alpha_\lambda = 0$$

**Чайник закопченный и не закопченный.** Где больше  $\alpha$  ?  
А в каком закипит быстрее?



Закопченный

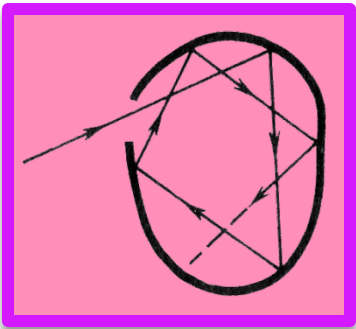
# Спектр излучения черного тела



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:**

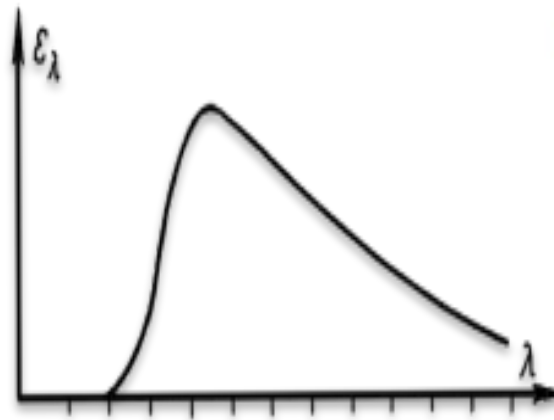
Почему **зрачок** нашего глаза кажется черным ?



Для **черного** тела  $r_\lambda$

-спектральная плотность  
энергетической светимости

обозначается  $\epsilon_\lambda$



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

Спектр излучения черного тела **сплошной**.

### **Свойства черного тела**

1. Коэффициент поглощения черного тела  $\alpha_\lambda$  равен 1.

$$\alpha_\lambda = 1$$

2. Коэффициент поглощения черного тела **не зависит** от длины волны излучения  $\lambda$ .

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  $\lambda$  излучения.

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

Коэффициент поглощения  $\alpha$  всех реальных тел зависит от  $\lambda$  и  $T$  (их поглощение селективно), поэтому их можно считать *серыми* лишь в определенных интервалах длин волн и температур, где  $\alpha$  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

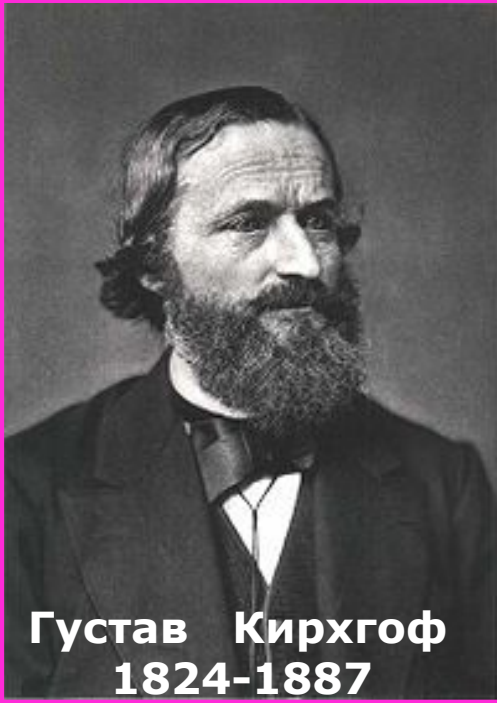
$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp[hc/(kT\lambda)] - 1}$$

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  $r_\lambda$  к монохроматическому коэффициенту поглощения  $\alpha_\lambda$  для всех тел одинаково и равно спектральной плотности энергетической светимости черного тела  $\varepsilon_\lambda$  при той же температуре.

или

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

**Повторение**

3. Спектральная  
плотность  
энергетической  
светимости

$r_\lambda$

3.1 Спектральная  
плотность  
энергетической  
светимости черного  
тела

$\varepsilon_\lambda$

4. Коэффициент  
поглощения

$\alpha_\lambda$

### **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**.

$$\uparrow r_\lambda = \alpha_\lambda \uparrow \cdot \varepsilon_\lambda$$

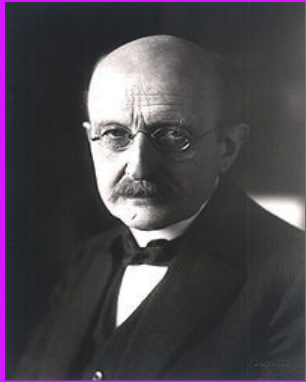
4. Самый совершенный излучатель  
– **черное тело**  $\alpha_\lambda = 1$



# Законы излучения черного тела

## Формула Планка

1900 г.



Макс Планк  
1858 — 1947

Установила в **ЯВНОМ** ! виде **ВИД**  
**функции**  $\epsilon_\lambda$  в зависимости от  $\lambda$  и  $T$



**3.1 Спектральная** **Повторение**  
**плотность**  
**энергетической**  
**светимости черного**  
**тела**  $\epsilon_\lambda$

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

**УФ катастрофа** – парадокс классической физики.

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

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

$\varepsilon_{\lambda}$  - **спектральная плотность энергетической светимости черного тела**

k – постоянная Больцмана

c - скорость света в вакууме

h – постоянная Планка

$\lambda$  - 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

$r_\lambda$

## ВОПРОС:

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

Постоянная Стефана - Больцмана  
$$\sigma \approx 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$$
  
**16 раз**

Для серых тел

$$R = \delta T^4$$

$\delta$  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.**

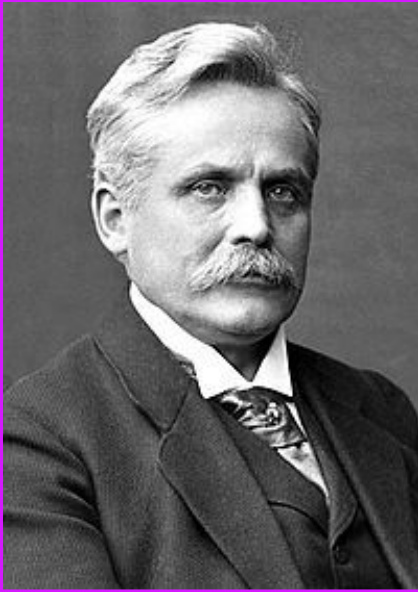
ВОПРОС:

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

**4%**

**T на  
0,5%**

**На 2%**



Вильгельм Вин  
1864 - 1928

## Закон Вина

1893 г.

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

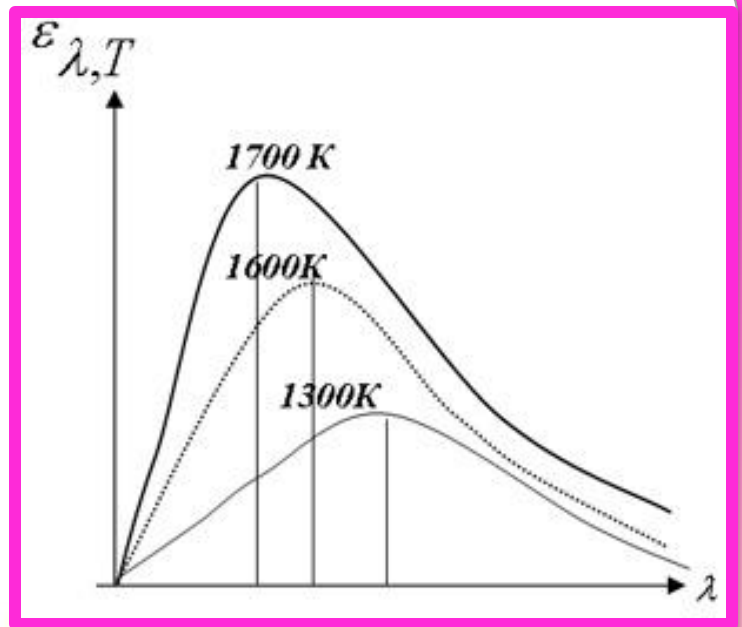
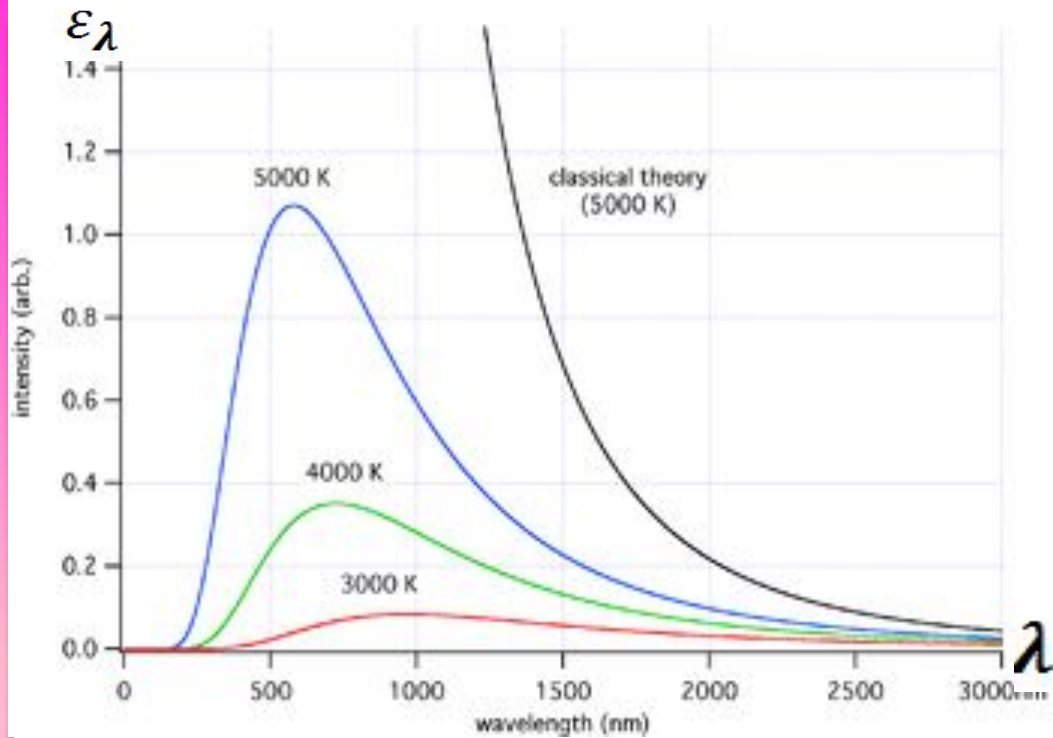


1911 г.

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**

$\epsilon_{\lambda}$  -спектральная плотность энергетической  
светимости **черного тела**

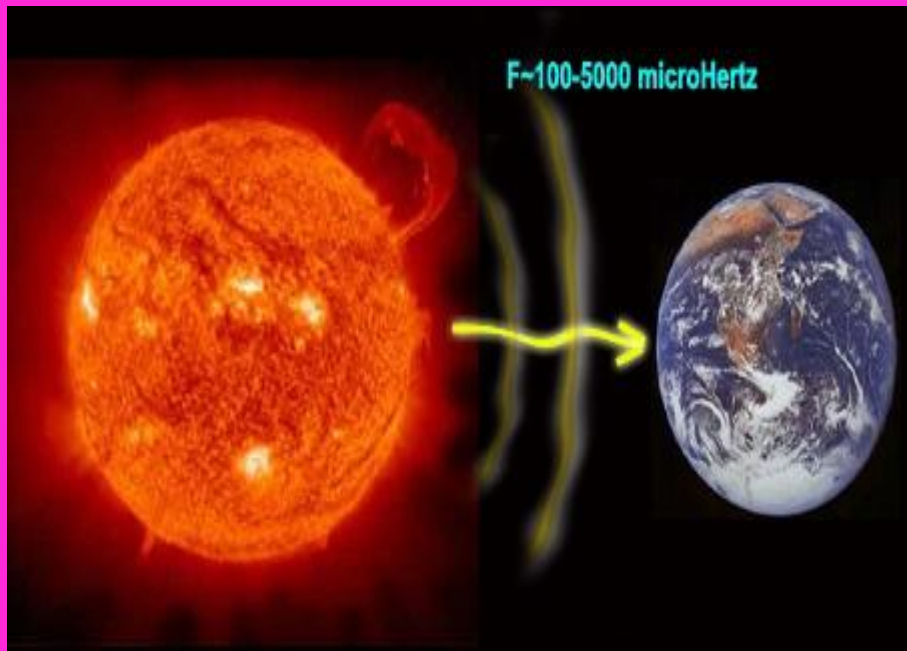
Максимум  $\epsilon_{\lambda}$  **смещается влево** при  $T_2 > T_1$

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.



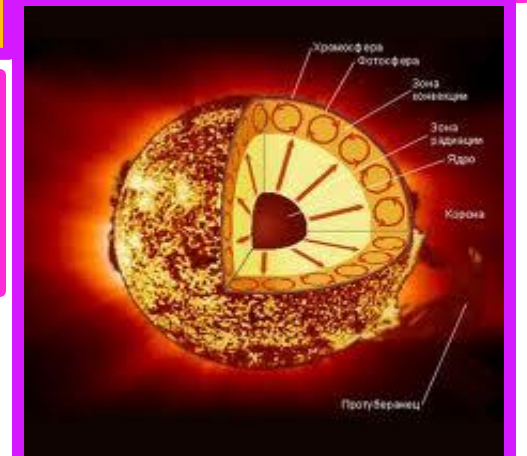
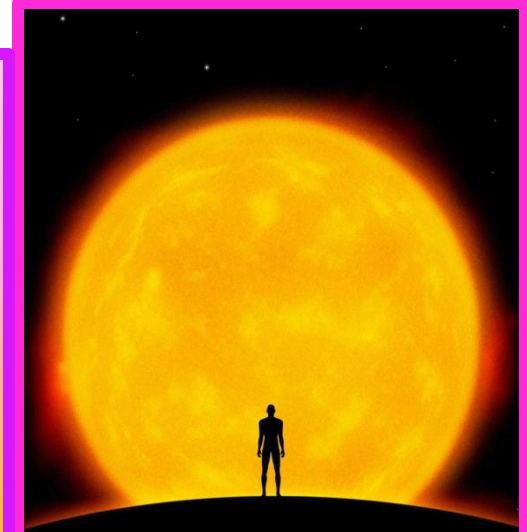
Колебания Земли синфазны с Солнцем

## Солнечная постоянная

- поток солнечного излучения, приходящийся на 1 м<sup>2</sup> площади границы земной атмосферы.

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

$$1350 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$



Внутреннее строение Солнца

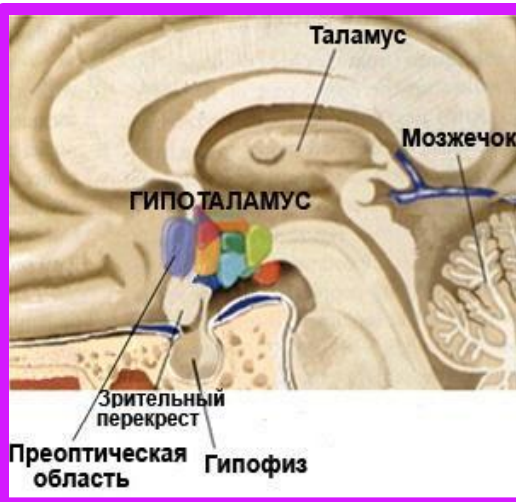
# Тепловое излучение тела человека

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%**

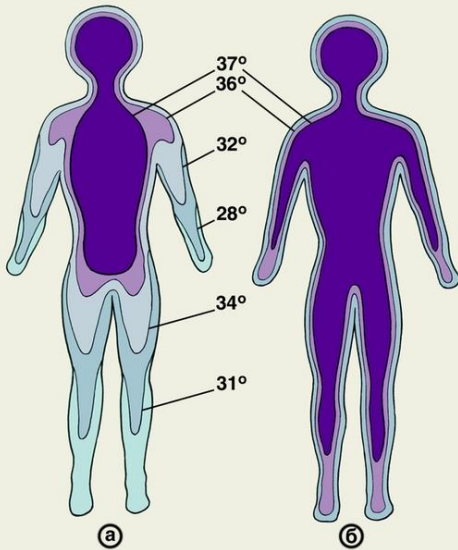
Гипоталамус обеспечивает постоянство внутренней среды организма. Там находится и центр терморегуляции.



## 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  $24^\circ\text{C}$

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

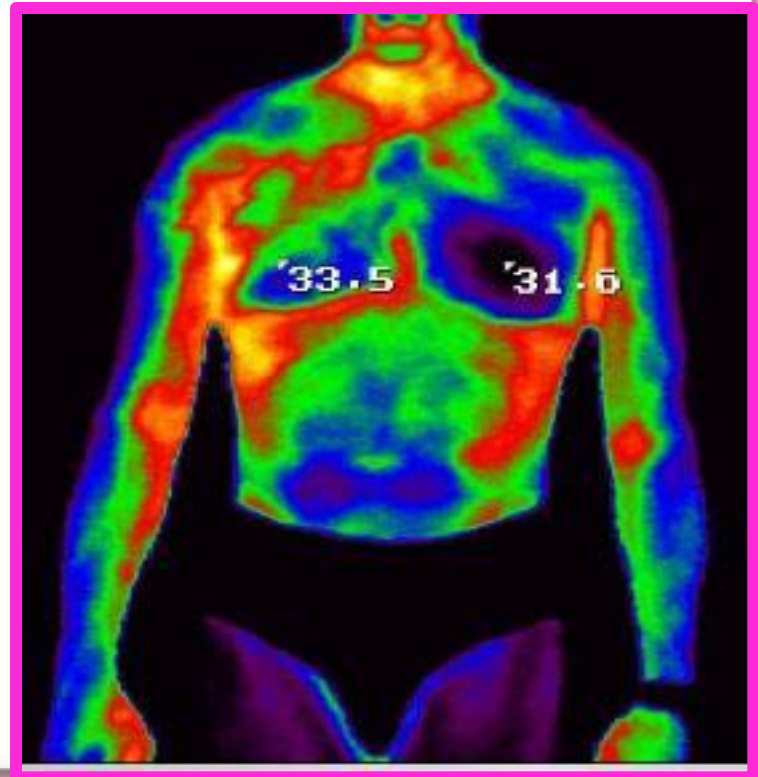
**Ответ:**

$$P = 37\text{ Вт}$$

## 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.

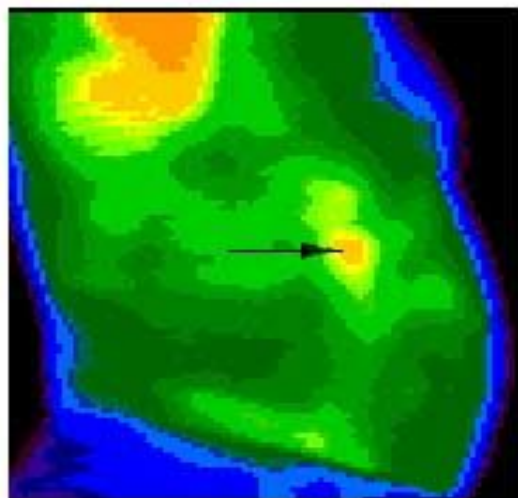


В основе термографии **закон Стефана –  
Больцмана:**

$$R = \sigma T^4$$

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?

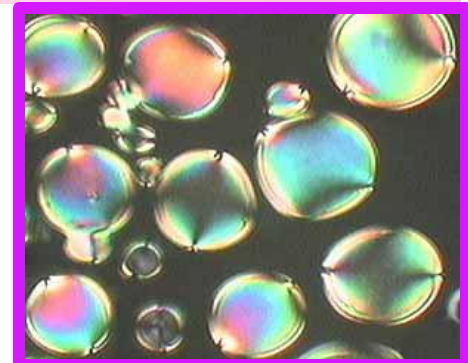
## Контактные

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**  
 $\lambda$  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.**

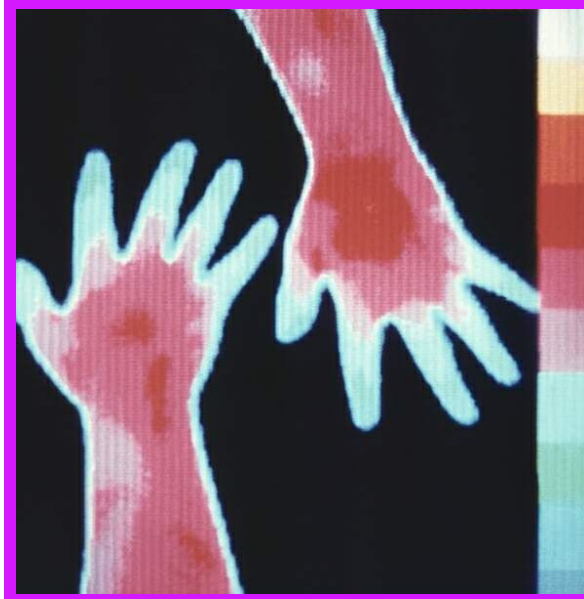


## В медицине

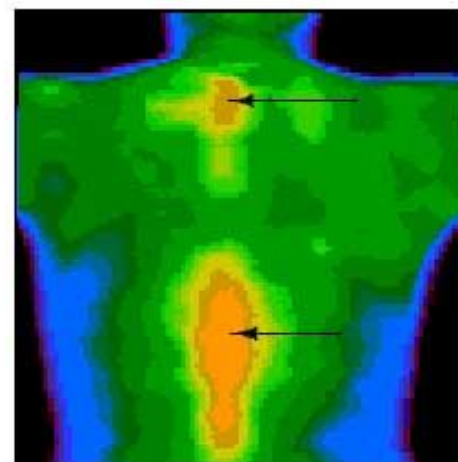
- Диагностика **сосудистых** заболеваний.
- **Функциональная** диагностика



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



ТЕРМОГРАФИЯ  
при остеохондрозе позвоночника

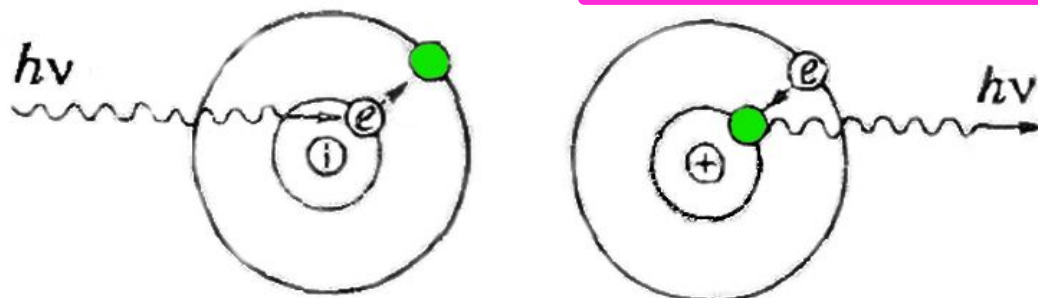
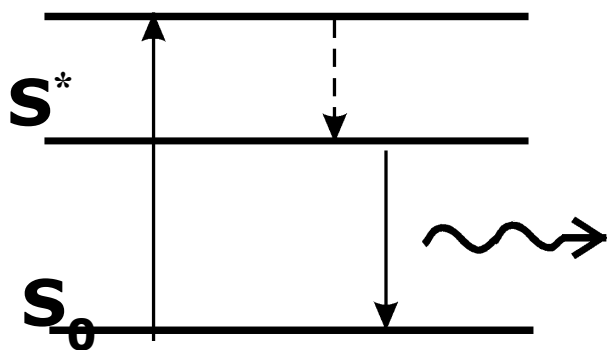
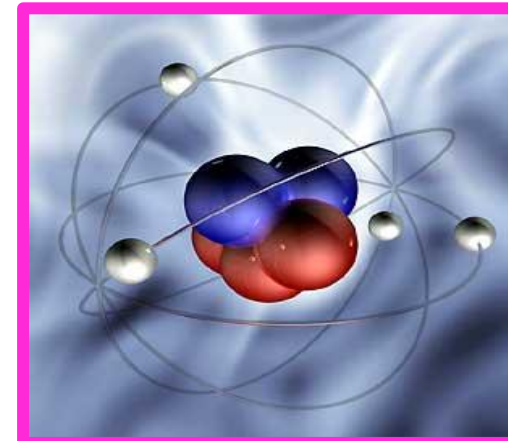


стрелками указаны места  
напряжения мышц и воспаления

# 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.**

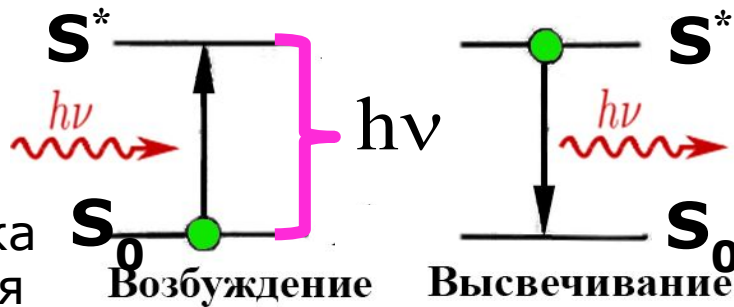


Состояние атома меняется, если есть переход электронов

Самый нижний **основной**  $S_0$

**Энергия фотона**  $E = h\nu$

$h$  – постоянная Планка  
 $\nu$  – частота излучения

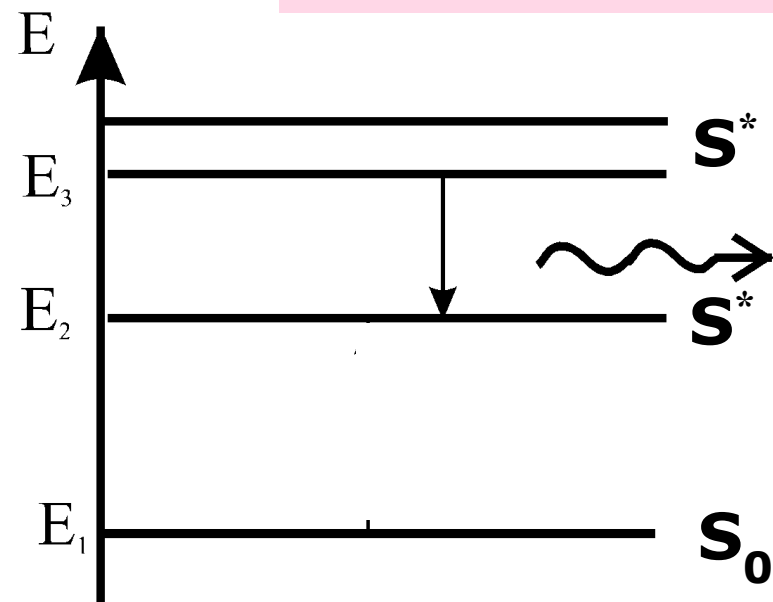
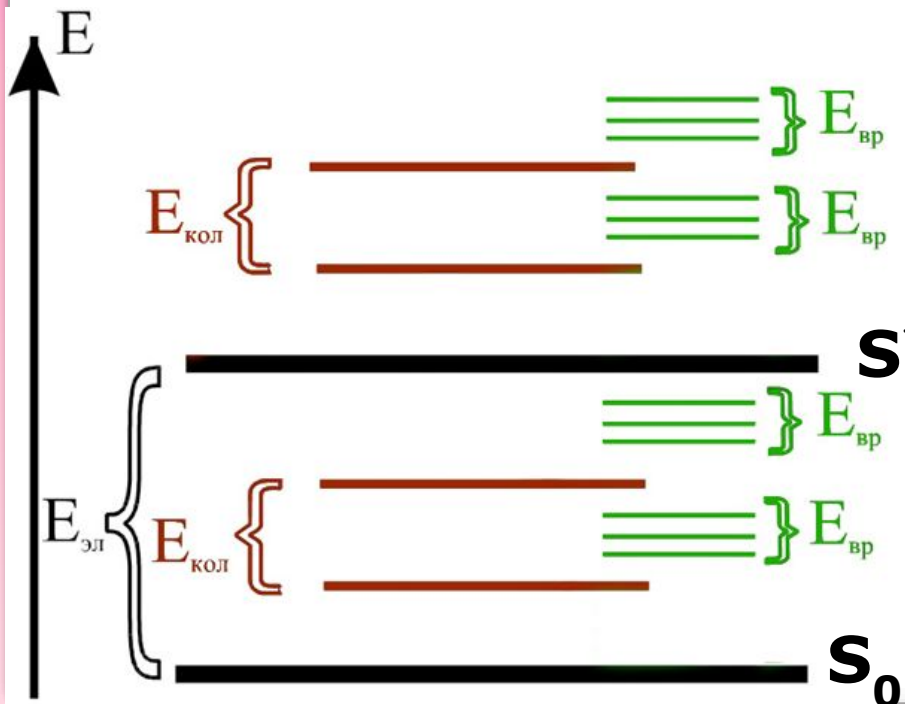




# Схема энергетических уровней молекулы

Система уровней энергии молекулы характеризуется совокупностями далеко отстоящих друг от друга электронных уровней и ,  $S_0$  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.



ВАВИЛОВ С.И. 1891 - 1951

Существенно дополнил, сказав о длительности



**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  $\gamma$  - излучением

ПРИМЕР:

На экране  
рентгеновского  
аппарата



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

**ПРИМЕР:**

1605 г.  
Френсис  
Бекон –  
кристаллы  
сахара

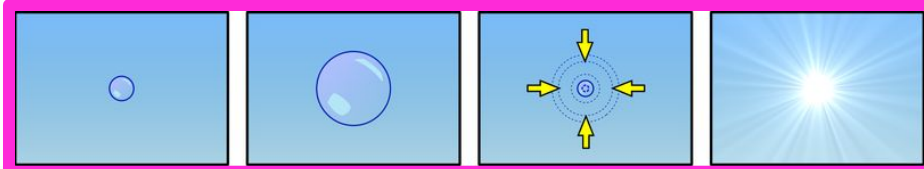


- **ЭлектроL-я** – вызывается электрическим полем;

- **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)

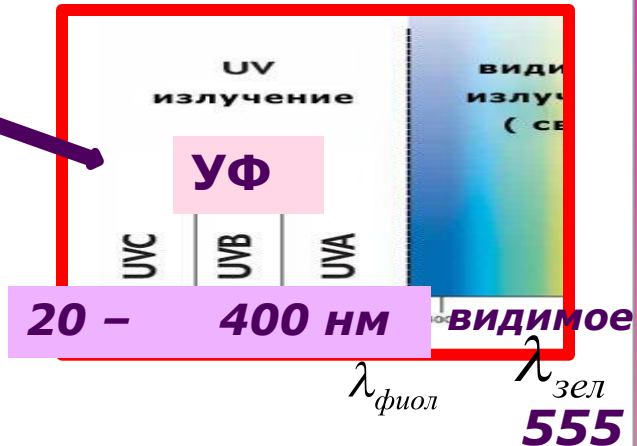
Флуоресценция – ее характеризует кратковременное "послесвечение"  
 $10^{-7}$ - $10^{-8}$ с после снятия возбуждения

**ПРАКТИЧЕСКИ ЕГО НЕТ!**

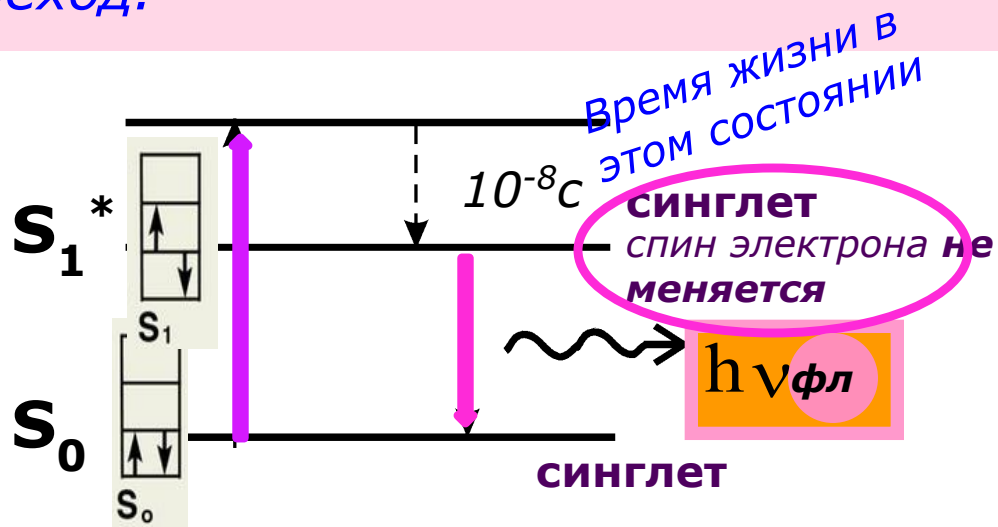
Свечение прекращается после снятия возбуждения

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**

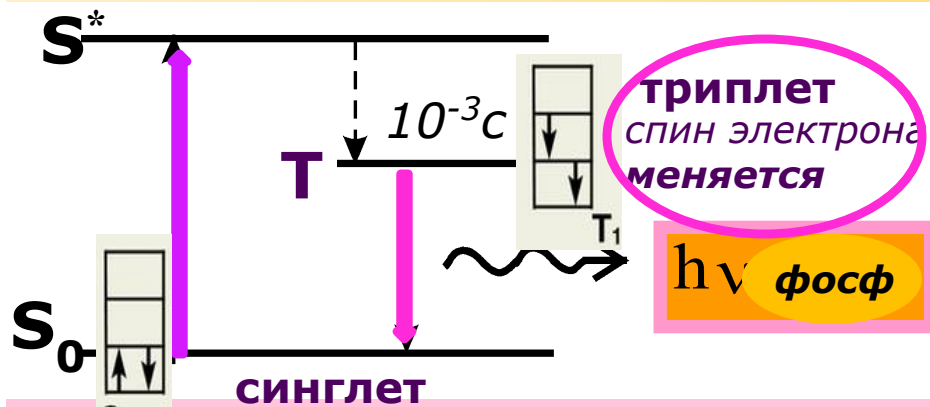


Ярко флуоресцирующее лекарственное соединение **хинин**. В кислых р-рах синяя область **475 нм**.

## 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**



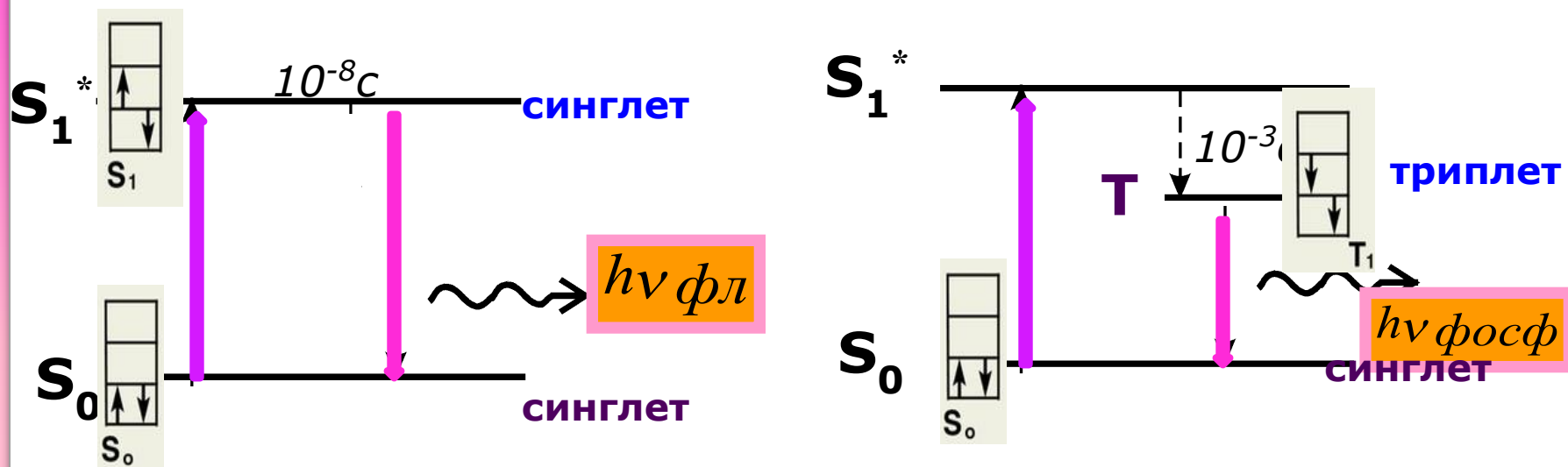
**Банка в темноте**



Облучили **ВИДИМЫМ** светом и **УФ**

## ВОПРОС:

Назовите три **отличия** синглета от триплета



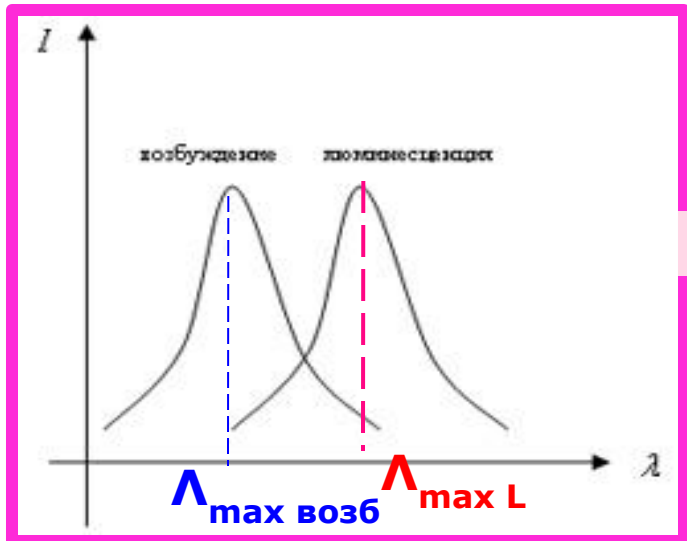
## ОТВЕТ:

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**

$\lambda_{кр}$

$\lambda_{фиол}$

$\lambda_{возб}$

$\lambda_{фиол}$

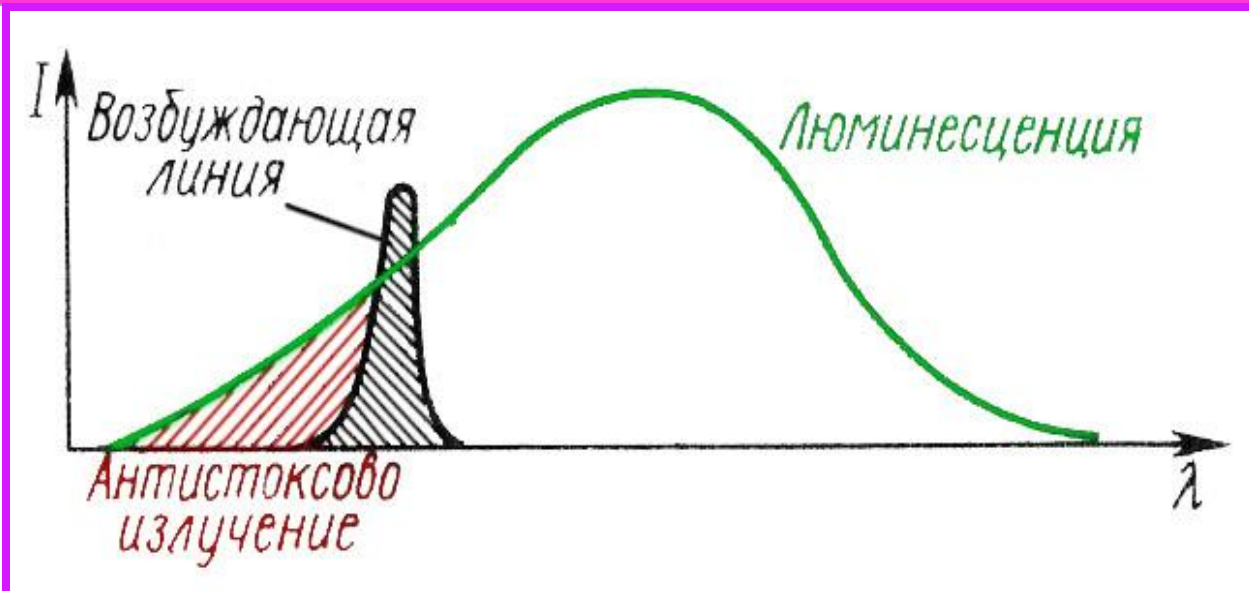
$\lambda_L$

$\lambda_{зел}$



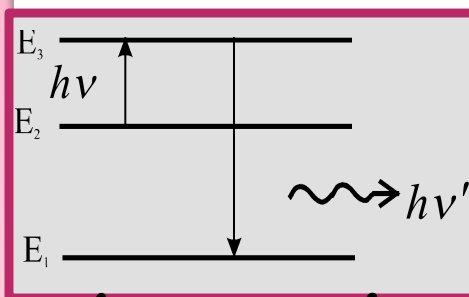
Колба с раствором **флуоресцеина**.

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



### АНТИСТОКСОВАЯ

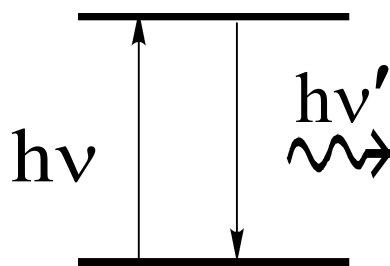
L-я (атом уже находится в возбужденном состоянии)



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

$$\lambda' < \lambda$$

### Резонансная L-я

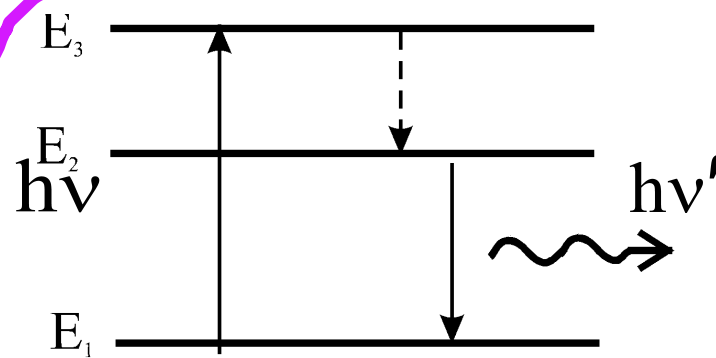


$$h\nu' = h\nu$$

$$\nu' = \nu$$

$$\lambda' = \lambda$$

### Стоксовая L-я

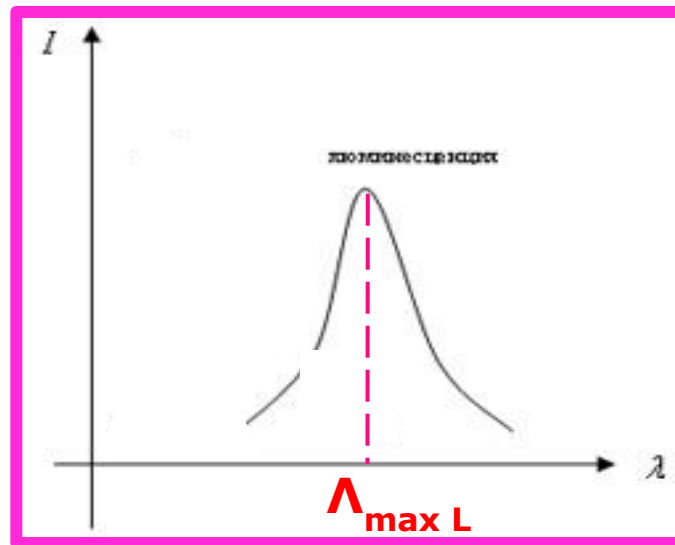


$$h\nu' < h\nu \quad \nu' < \nu$$

$$\lambda' > \lambda$$

## ▪ 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 ( $\phi$ )

## 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/см<sup>3</sup>**

**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** )



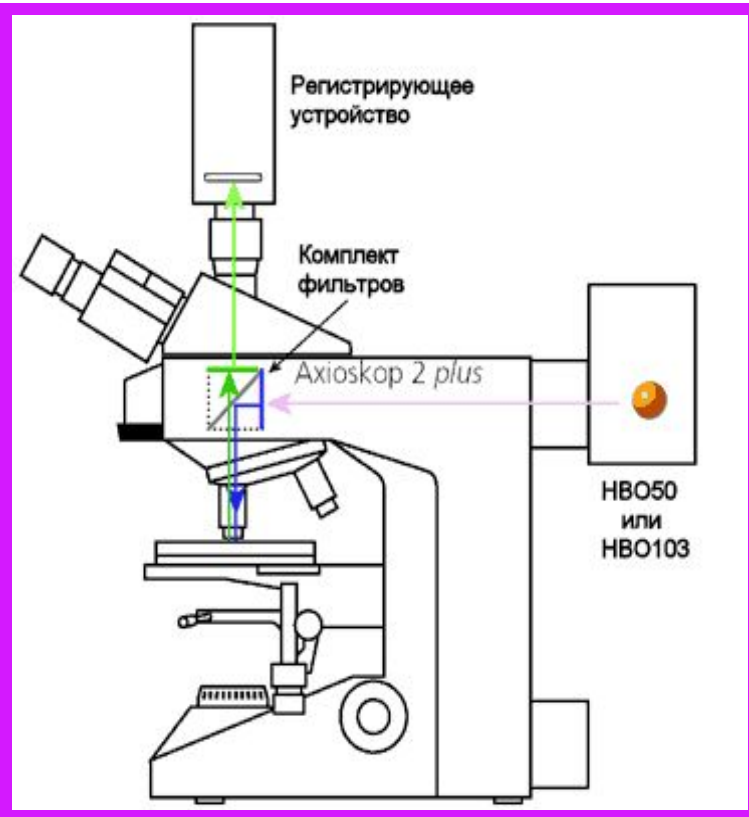


## Люминесцентная микроскопия

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  $\Lambda_L$  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**

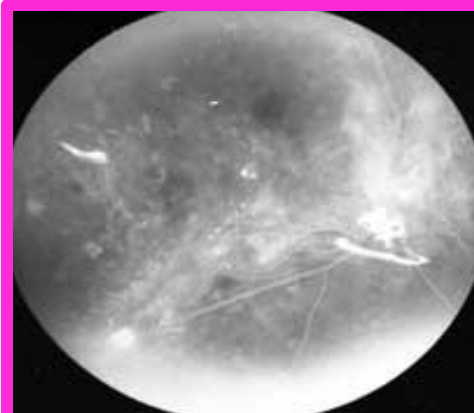
Внутривенно вводят флуоресцеин секунд ярко зеленая флуоресценция в тканях глаз, слизистой оболочке рта, на губах.



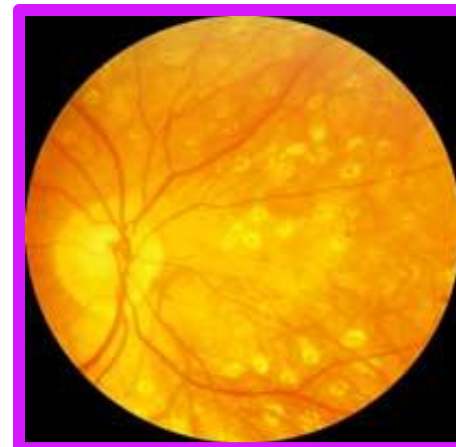
**Определение проницаемости капилляров кожи**



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



**Фл-я ангиография сетчатки. Выход флуоресцеина из поврежденных сосудов**

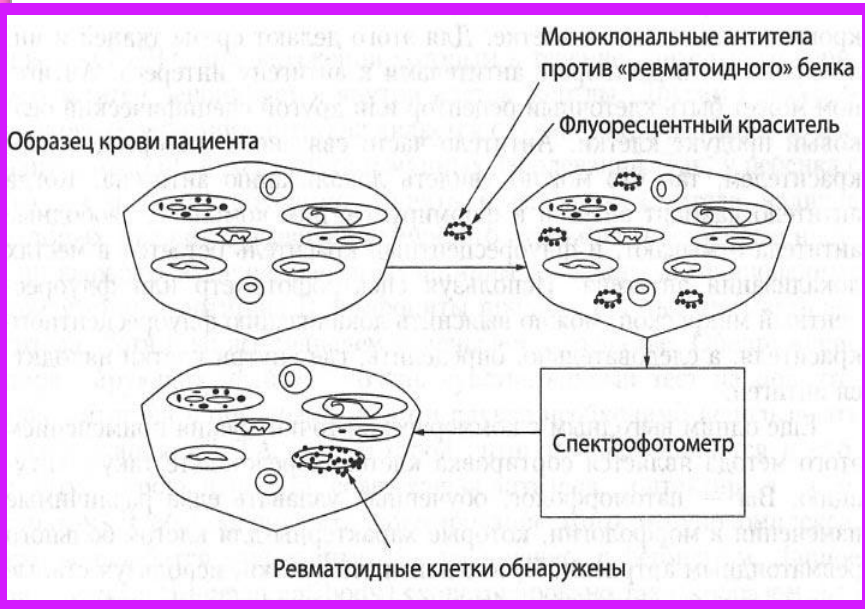


Глазное дно после **лазерокоагуляции** сетчатки.

## ПРИМЕР: Флуоресцентные метки

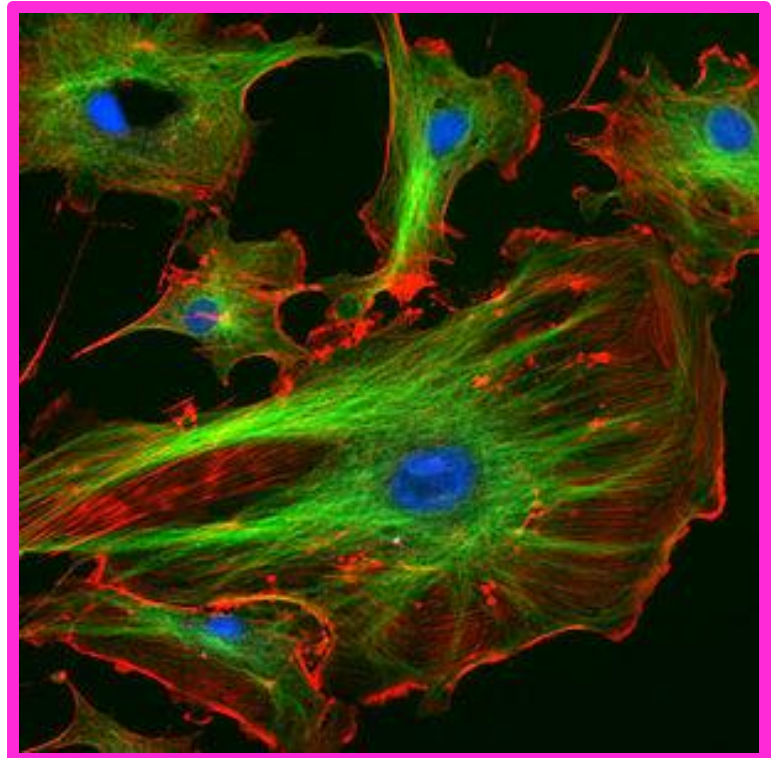
Использование **флуоресцентно меченных** антител в **иммунологических исследованиях крови.**

### •Иммуоцитохимия



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

### •Применение в клеточной биологии

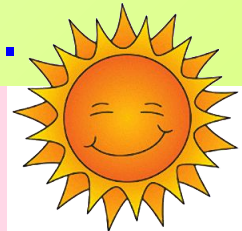


**Эндотелиальные клетки. Ядра клеток – голубой цвет; микротрубочки – зеленые – фл-но меченые антитела; Актиновые микрофиламенты – красные-меченые флуоресцеином**

# Фотобиологические процессы, их основные стадии

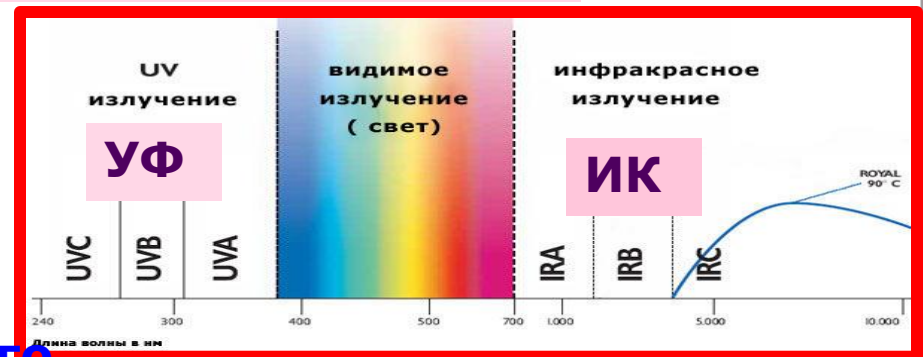
Фотобиологические процессы – это процессы, которые начинаются с поглощения квантов света молекулами ! и заканчиваются соответствующей физиологической реакцией в организме.

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° С**

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

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

Фотобиологические процессы



Синтез

биологически важных соединений за счет энергии солнечного света

↑ свободная энергия

ПРИМЕР:

Синтез белка

Информационные процессы

• Обеспечивают получение информации (источником служит свет, его яркость) и регуляцию тех или иных процессов.

ПРИМЕР:

- Зрение;
- Фотопериодизм;
- Фототропизм

Фотодеструктивные процессы

ПРИМЕР:

- Помутнение хрусталика
- Ожог кожи
- Рак кожи
- Мутация



свободная энергия

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**

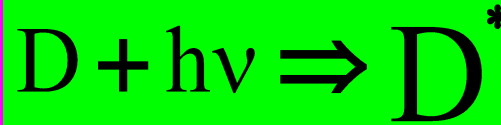
**Темновые**



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.

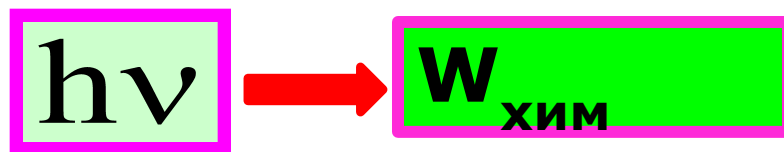


II Фотохимическая стадия = это химические превращения молекулы, вызванные фотофизической стадией.

Этапы: (Их два)

#### 1. Образование нестабильных фотопродуктов

Присоединение или отдача электрона или протона – это фотохимические реакции



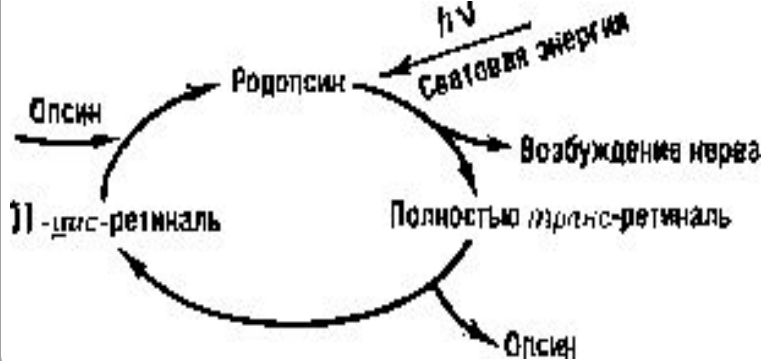
## ПРИМЕР:

### •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

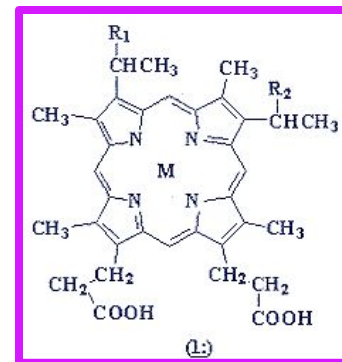
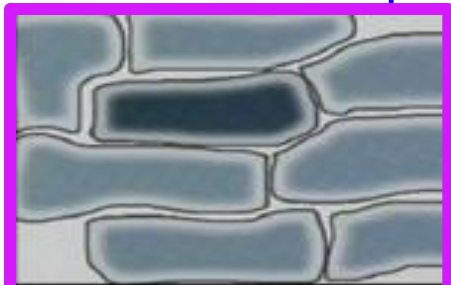
# Понятие о фотомедицине

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

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

ПРИМЕР:      **Гематопорфирин**

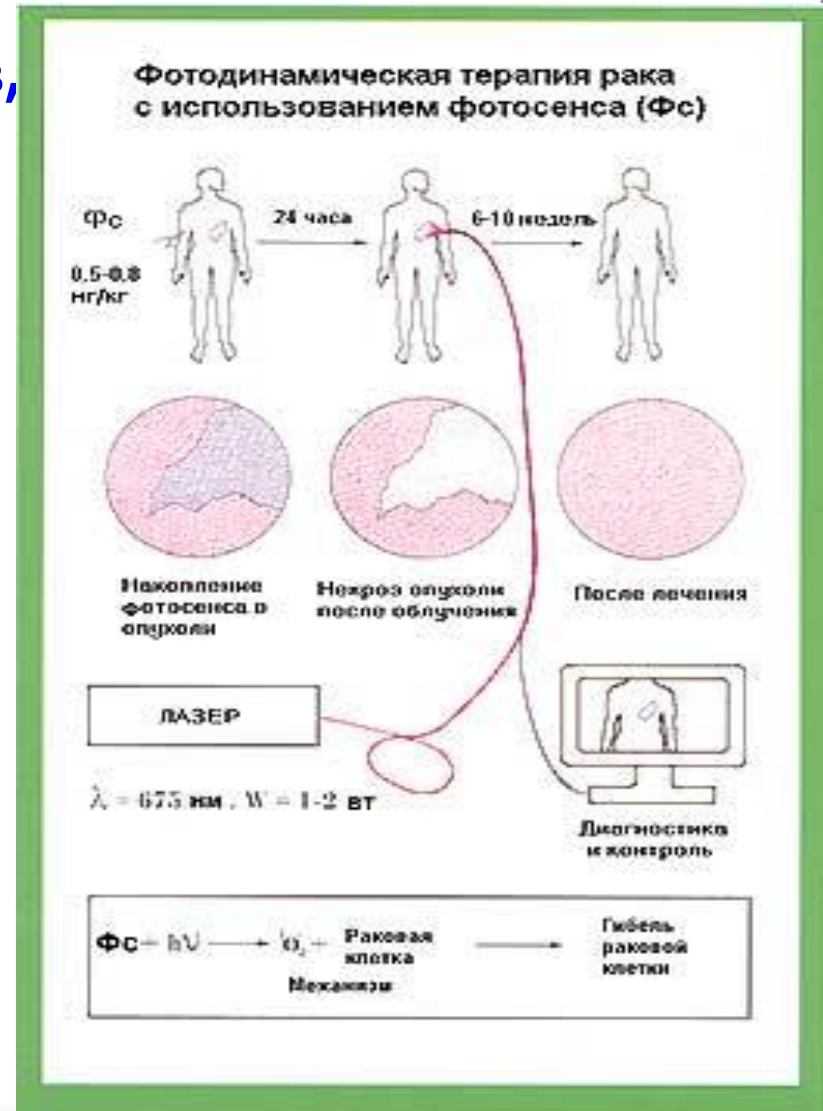
Обладает свойством **накапливаться в онкологически поврежденных** клетках организма, как наиболее энергодефицитных зонах.



**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**.



