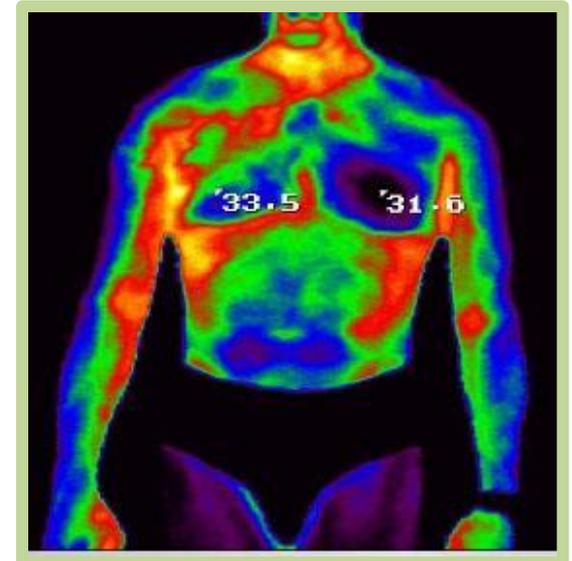
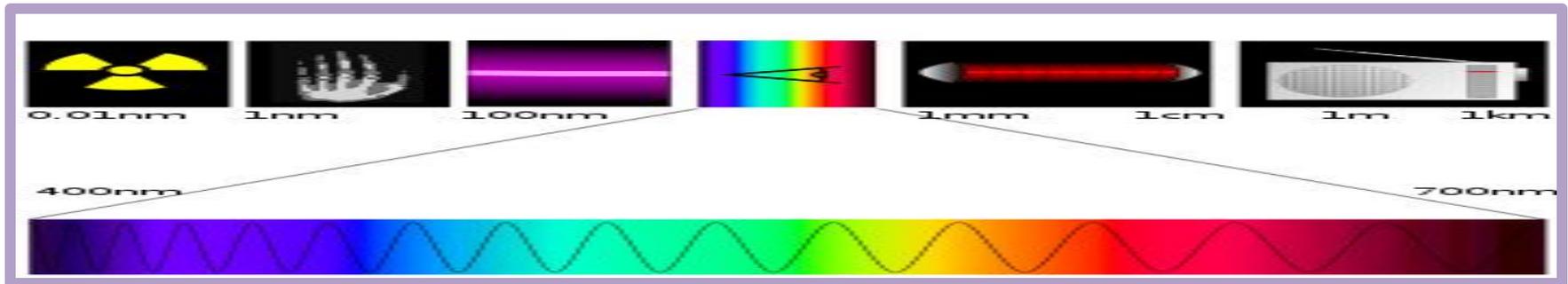


Тепловое излучение тел



Шкала электромагнитных волн



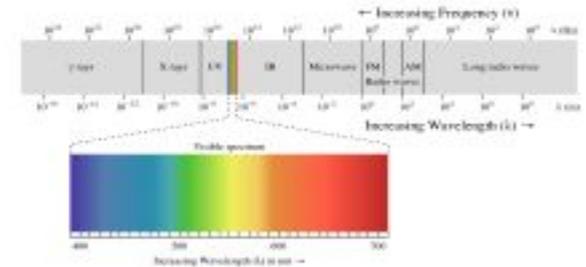
I Радиоволны до 1 мм

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 γ -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°C Б. -35°C В. 10 K Г. 700 K

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 м^2 поверхности тела.

Или: это энергия всех длин волн, излучаемых за 1 с с 1 м^2

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

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

Синоним:

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

Интенсивность
излучения

3. Спектральная плотность энергетической светимости

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

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

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

Для определенной длины волны

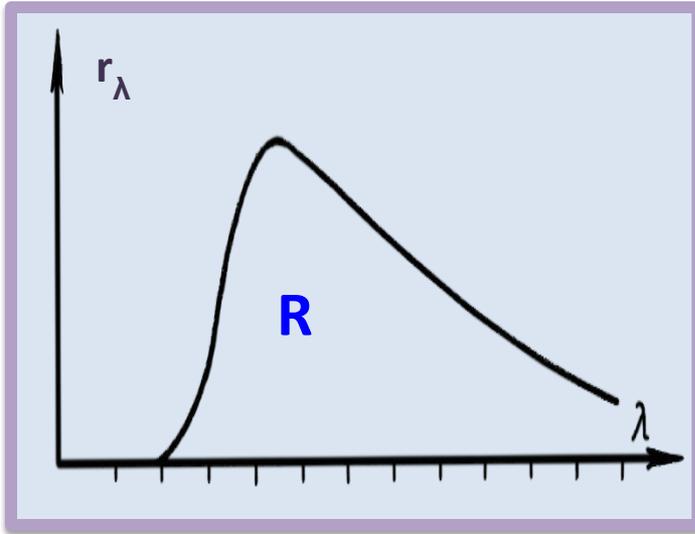
r_λ - это энергия излучения с 1м^2 в 1 с в интервале **от λ до $\lambda + \Delta\lambda$** .

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 сплошной.



Спектр излучения – это зависимость спектральной плотности энергетической светимости от длины волны: $r_\lambda = f(\lambda)$

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

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

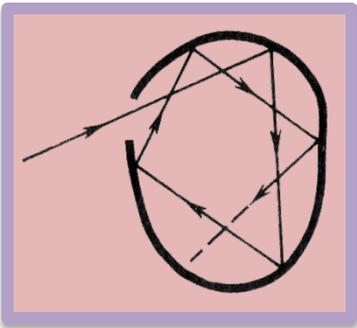
Черное тело



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

Коэффициент поглощения α_λ **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



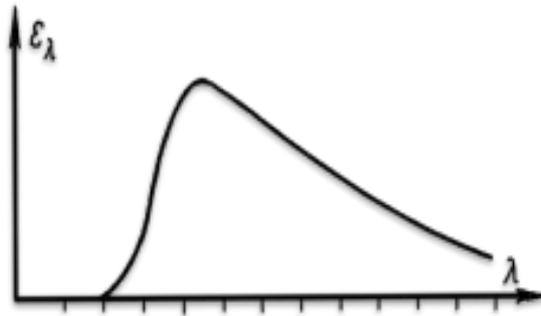
ВОПРОС:

Почему **зрачок** нашего глаза кажется черным ?



Свойства черного тела

1. Коэффициент поглощения черного тела $\alpha_\lambda = 1$.
2. Коэффициент поглощения черного тела *не зависит* от длины волны излучения λ .
3. **Спектр излучения черного тела сплошной.**



Для **черного тела** r_λ - спектральная плотность энергетической светимости
обозначается ϵ_λ

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.

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

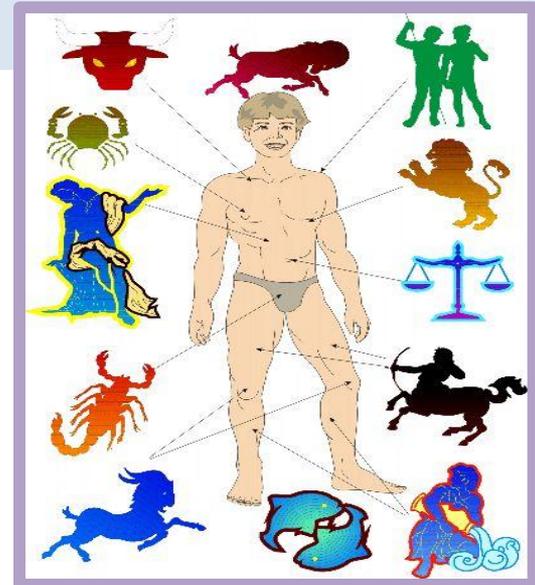
Коэффициент поглощения α всех реальных тел зависит от λ и T (их поглощение селективно), поэтому их можно считать *серыми* лишь в определенных интервалах длин волн и температур, где α приблизительно постоянен.

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

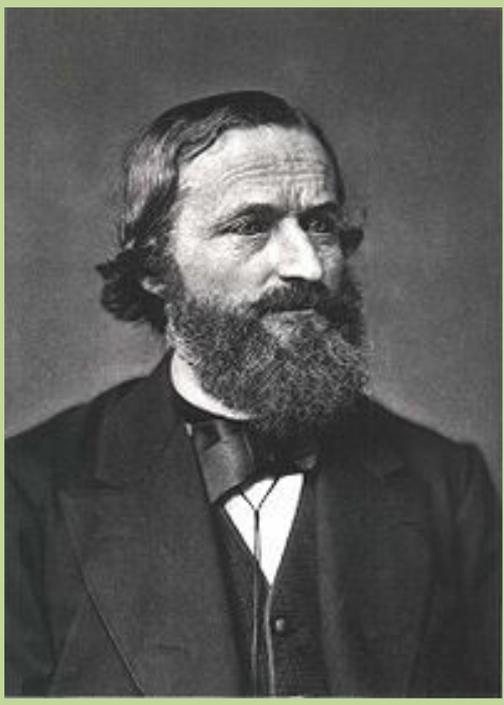
$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp[hc/(kT\lambda)] - 1}$$

Закон
Вина

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

Закон Стефана - Больцмана

$$R = \sigma T^4$$



Густав Кирхгоф

1824 - 1887

Повторение
3. Спектральная плотность энергетической светимости

r_λ

3.1 Спектральная плотность энергетической светимости черного тела

ε_λ

4. Коэффициент поглощения

α_λ

Закон Кирхгофа

1859 г.

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

Закон связывает способности тела *излучать и поглощать* энергию

При одинаковой температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости тел к r_λ монохроматическому коэффициенту поглощения для всех тел одинаково и равно спектральной плотности энергетической светимости черного тела при той же температуре.

ε_λ

ИЛИ

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

Выводы:

1. $r_{\lambda} < \varepsilon_{\lambda}$, так как $\alpha_{\lambda} < 1$
2. Если $\alpha_{\lambda} = 0$ $r_{\lambda} = 0$
3. Тело, которое лучше поглощает, должно интенсивнее и излучать.
4. Самый совершенный излучатель – черное тело $\alpha_{\lambda} = 1$

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

Повторение

3. Спектральная плотность энергетической светимости r_{λ}

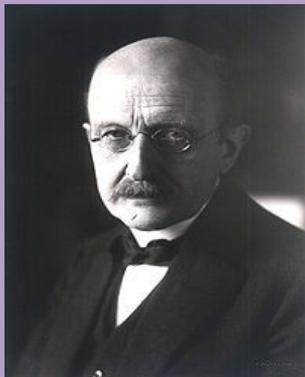
3.1 Спектральная плотность энергетической светимости черного тела ε_{λ}

4. Коэффициент поглощения α_{λ}

Законы излучения черного тела

• Формула Планка

1900 г.



Макс Планк
1858 — 1947

Установила в явном! виде вид функции в зависимости ϵ_{λ} λ и T



^{Повторение}
3.1 Спектральная плотность энергетической светимости черного тела ϵ_{λ}

До Планка считали, что энергия испускается непрерывно и \longrightarrow 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

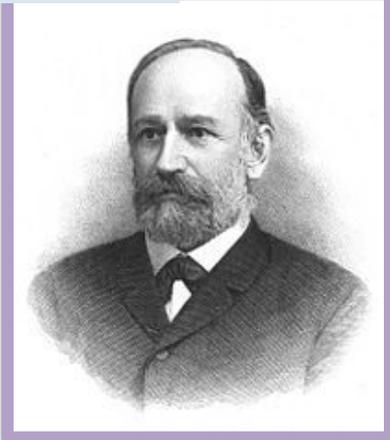
λ - длина волны

T – термодинамическая температура

1879 г

Закон Стефана - Больцмана

1884 г



Йозеф Стефан
1835 – 1893



Бóльцман
1844 — 1906

$$R = \sigma T^4$$

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

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

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

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**.

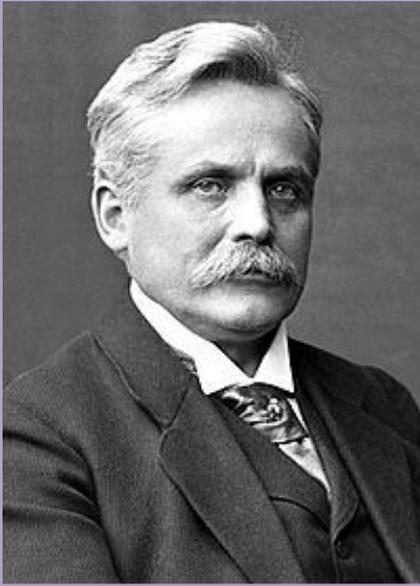
ВОПРОС:

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

4%

T на
0,5%

На 2%



Вильгельм Вин
1864 - 1928

Закон Вина

1893 г.

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

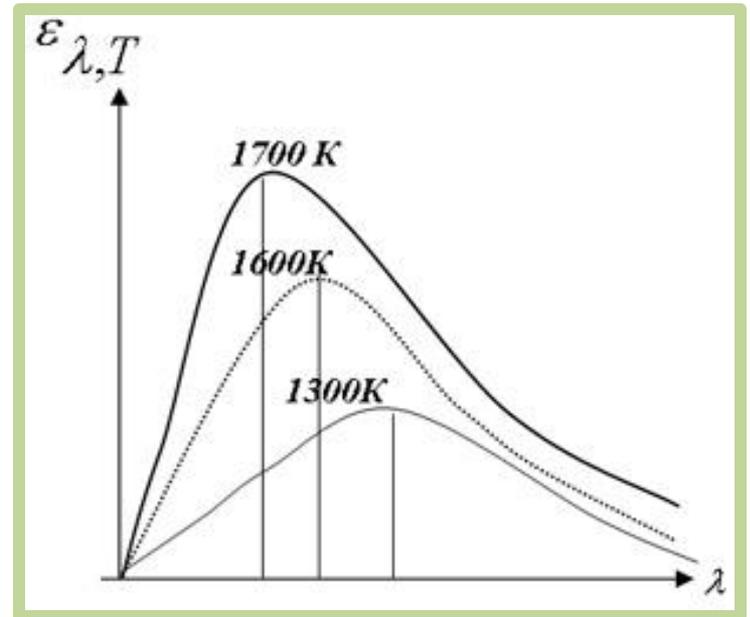
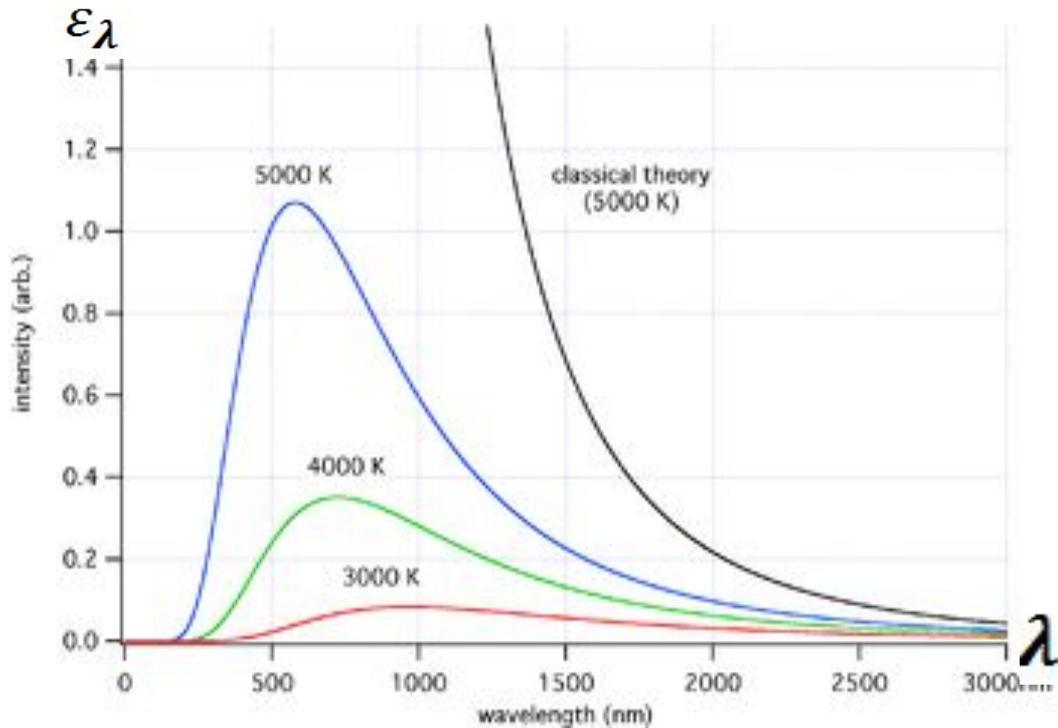


1911 г.

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



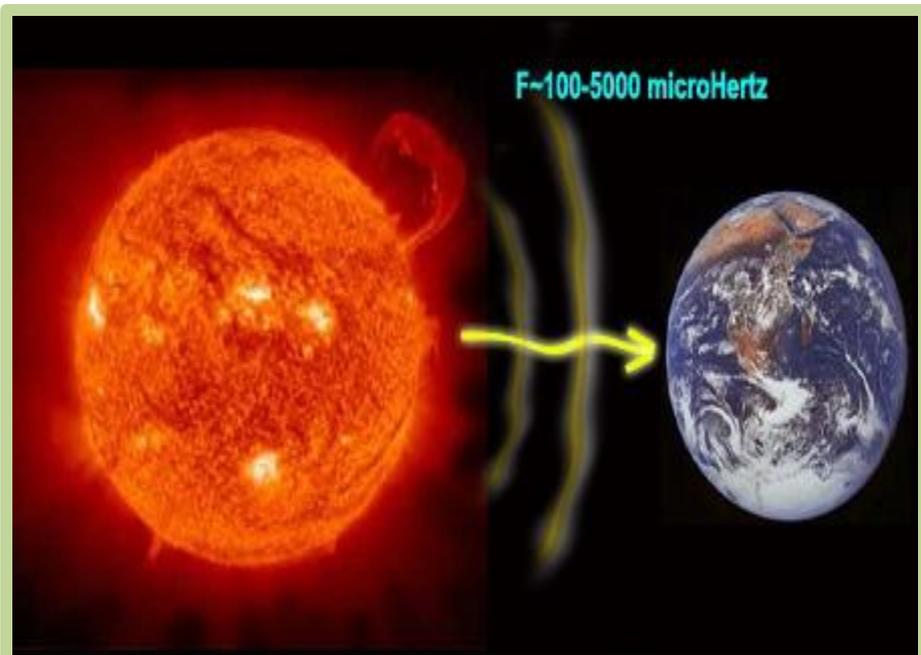
Спектр излучения черного тела

ϵ_λ - спектральная плотность энергетической светимости черного тела

Максимум ϵ_λ лежит влево при $T_2 > T_1$

Поэтому называют закон **смещения** Вина.

Излучение Солнца



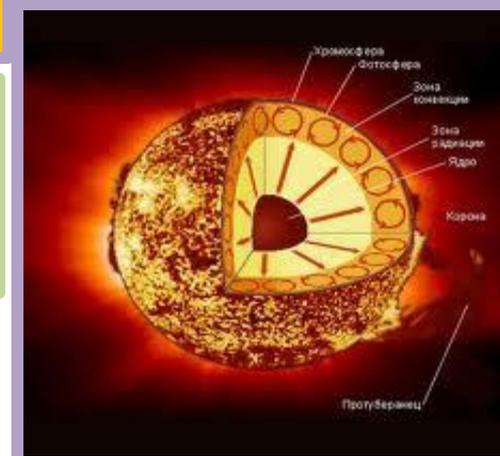
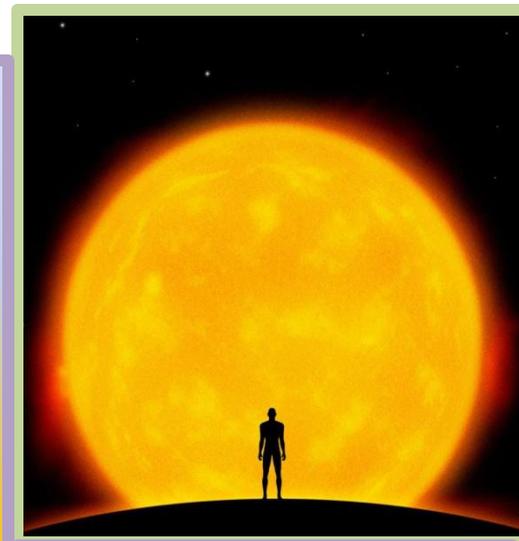
Колебания Земли синфазны с Солнцем

Солнечная постоянная

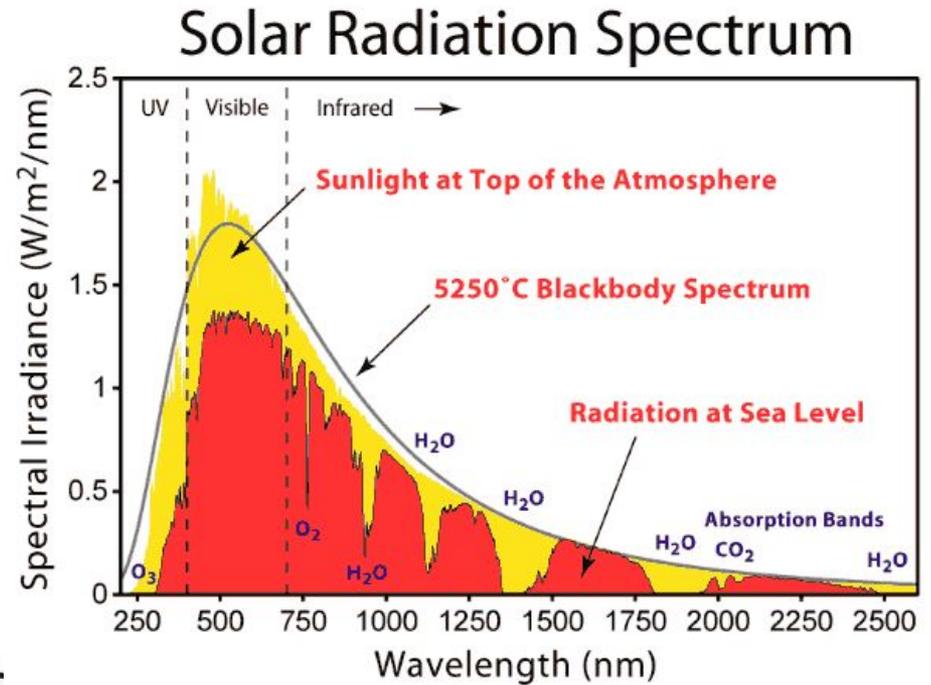
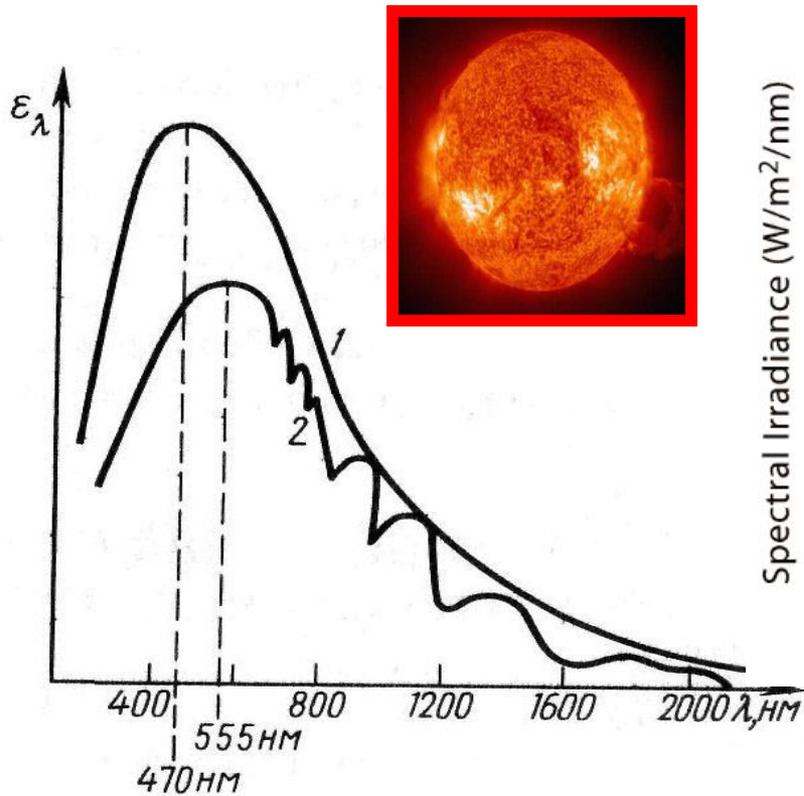
- поток солнечного излучения, приходящийся на 1 м^2 площади границы земной атмосферы.

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

$$1350 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$



Внутреннее строение Солнца

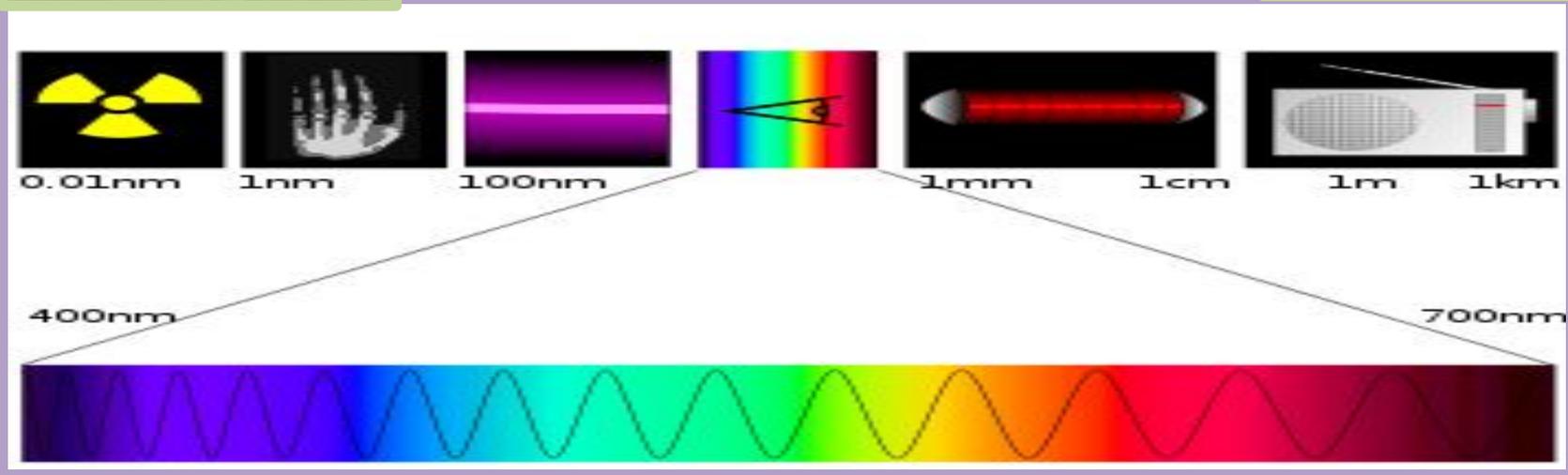


1 – На границе земной атмосферы. Близок к спектру черного тела. $\lambda_{\text{max}} = 470 \text{ nm}$ $T_{\text{солнца}} = 6100 \text{ K}$ →

2 – На поверхности Земли – это спектр поглощения

$$\lambda_{\text{max}} = 555 \text{ nm}$$

Излучение Солнца происходит в ИК, видимом и УФ спектре и обладает *лечебными действиями*.



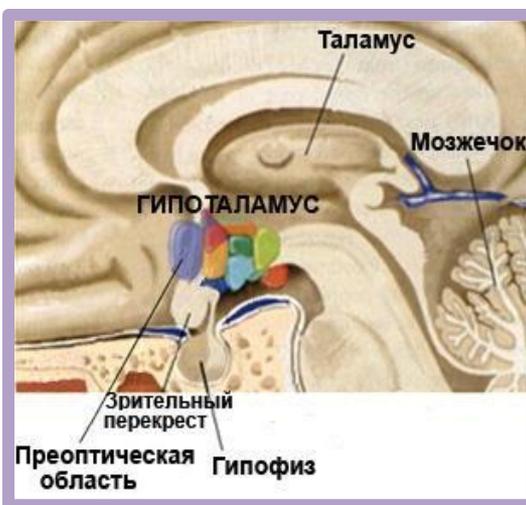
Тепловое излучение тела человека

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

Обладает тепловым действием

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

Теплопродукция = теплоотдача



→ Теплопроводность 0%

→ Конвекция 20%

→ Излучение 50%

→ Испарение 20%

ВОПРОС:

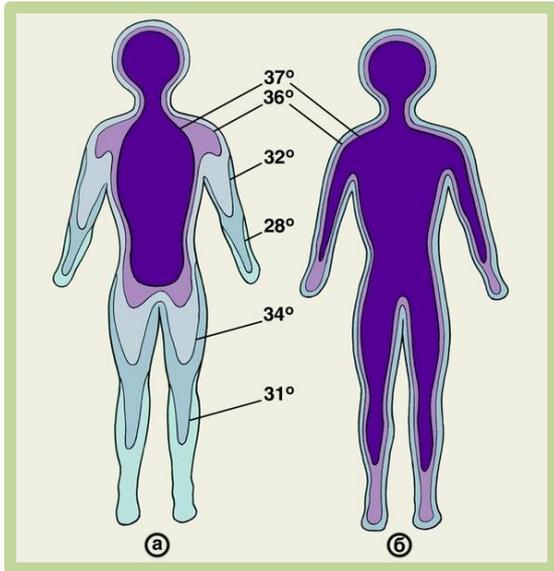
Какой вид теплоотдачи доминирует на рисунке?

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

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

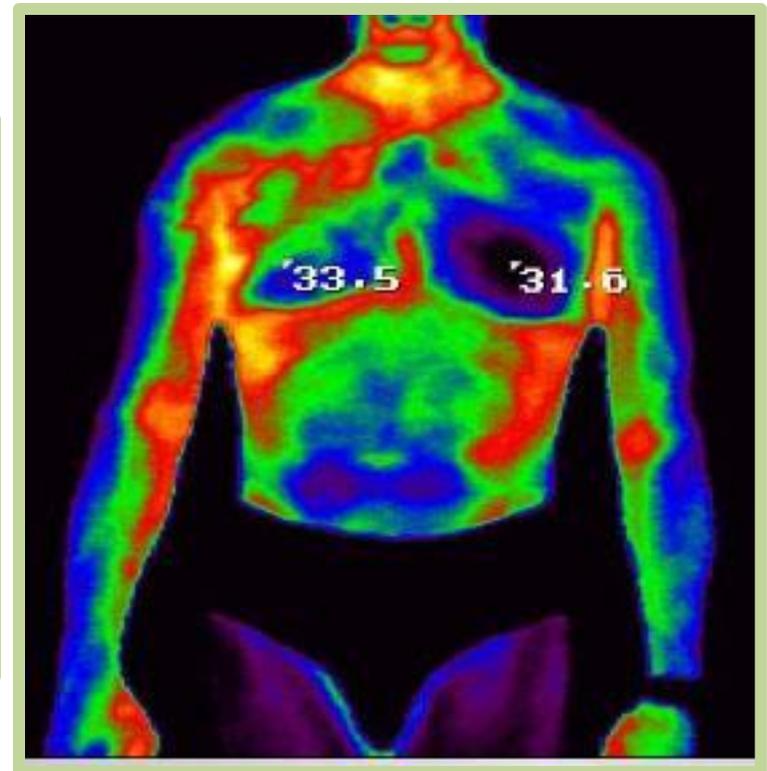
Ответ:

$$P = 37\text{ Вт}$$

Физические основы термографии

Термография – это диагностический метод регистрации и измерения **теплового излучения** различных участков поверхности тела человека.

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



В основе термографии закон Стефана – Больцмана:

$$R = \sigma T^4$$

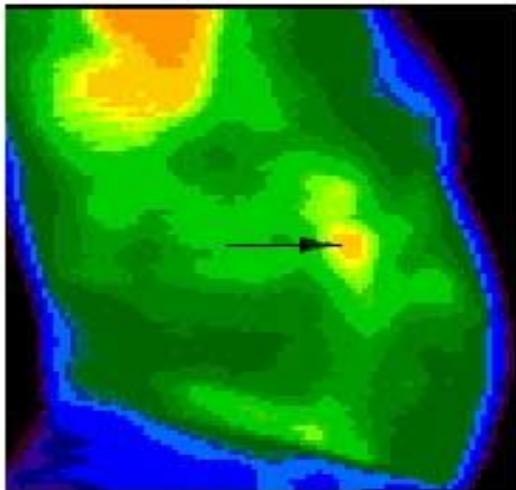
Даже небольшое изменение температуры тела

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 медицинской термографии

Бесконтактные

Термограф



Тепловизор

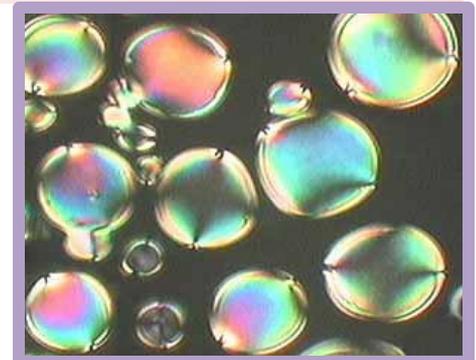


Контактные

На **небольшой** участок поверхности тела помещается специальная жидкокристаллическая пленка. Жидкие кристаллы обладают свойством оптической анизотропии и меняют цвет в зависимости от температуры.



1888 г.



ВОПРОС:

Какая разница?

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.

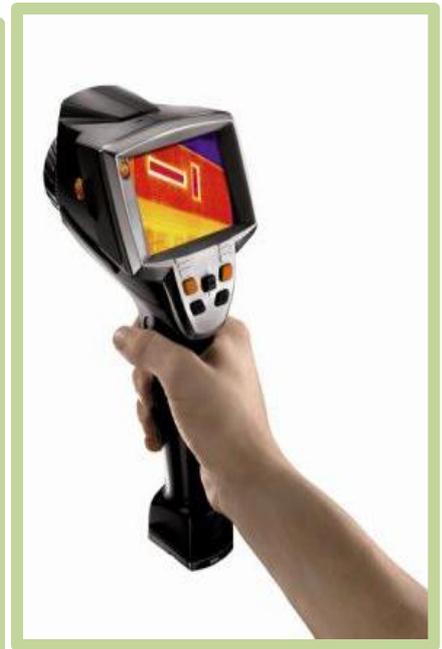
Особенности ИК излучения:

- Длина волны **больше 760 нм**, но меньше 1 мм.
- **ИК меньше, чем видимый свет поглощается и рассеивается мутными средами.**
- Многие предметы, непрозрачные для видимого света, **прозрачны для инфракрасных** лучей.



Объект





Тепловизор T1-160
представляет собой
профессиональный
телевизор с очень **широким**
температурным диапазоном.

В медицине

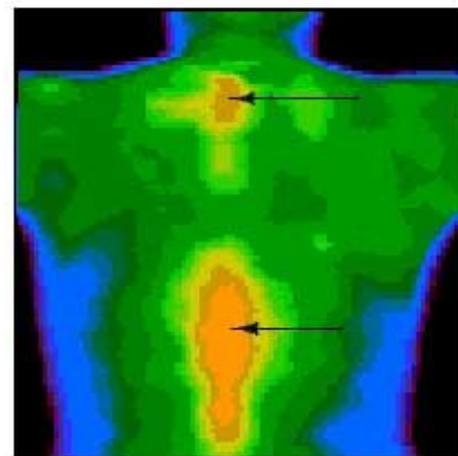
- Диагностика **сосудистых** заболеваний.
- **Функциональная** диагностика



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