

# Тепловое излучение

## ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Характеристики теплового излучения.
2. Закон Кирхгофа
3. Законы излучения черного тела.
4. Излучение Солнца.
5. Физические термографии основы.
6. Теплообмен человека и среды.
7. Светолечение Лечебное применение УФ излучения.

# Тепловое излучение

**Тепловое излучение – электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счёт его внутренней энергии**

- Тепловое излучение обуславливается возбуждением частиц вещества при соударениях в процессе теплового движения или ускоренным движением зарядов.
- Оно возникает при любых температурах выше 0 К, поэтому оно присуще всем телам.
- Интенсивность излучения и спектральный состав зависят от температуры тела, поэтому не всегда тепловое излучение воспринимается глазом как свечение.

# 1. Характеристики теплового излучения

Процессы испускания и поглощения теплового излучения количественно характеризуются следующими величинами.

- Поток излучения (  $\Phi$  ) – энергия, которую излучает всё тело за единицу времени.
- Размерность этой характеристики –
- Дж/с = Вт.

# Энергетическая светимость

- Энергетическая светимость (  $R_e$  ) – энергия теплового излучения испускаемая с единичной поверхности нагретого тела за единицу времени:  
$$R_e = \Phi/S.$$
- Размерность этой характеристики -  $\text{Вт}/\text{м}^2$  .
- И поток излучения, и энергетическая светимость зависят от строения вещества и его температуры:  
 $\Phi = \Phi ( T ), R_e = R_e ( T )$ . Обозначим энергию теплового излучения, испускаемую при данной температуре единичной поверхностью за 1с в узком интервале длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda + d\lambda$ , через  $dR_e$ .

# Спектральная плотность энергетической светимости

- Спектральной плотностью энергетической светимости  $r$
- (испускательной способностью) называется отношение энергетической светимости в узком участке спектра ( $dRe$ )
- к ширине этого участка ( $d\lambda$ ):
- $$r_\lambda = dRe_\lambda / d\lambda .$$
- Физический смысл этой величины. Пусть  $d\lambda = 1\text{м}$ . тогда  $r_\lambda = dRe$ , поэтому
- *спектральная плотность* показывает величину энергии, излучаемой за единицу времени с единичной поверхности в интервале длин волн шириной  $1\text{м}$  (от  $\lambda$  до  $\lambda + 1\text{м}$ ).  
Размерность  $r$ - **Вт/м<sup>3</sup>**.

# Спектральная плотность энергетической светимости тела

Зная спектральную плотность энергетической светимости тела, можно рассчитать энергетическую светимость тела в любом диапазоне длин волн.

$$Re (\lambda_1 , \lambda_2 ) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r d\lambda$$

Как уже указывалось , тела не только испускают, но и поглощают тепловое излучение.

- Способность тела поглощать энергию характеризуется *коэффициентом поглощения  $\alpha$* .

# Коэффициент поглощения

- Коэффициент поглощения  $\alpha$  равен отношению потока излучения, поглощённого данным телом, к потоку излучения, упавшего на него:

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

- Безразмерная величина, показывающая, какая часть излучения данной длины волны поглощается телом, называется **монохроматическим коэффициентом поглощения**:
- $\alpha(\lambda) = \Phi_{\text{погл}}(\lambda) / \Phi_{\text{пад}}(\lambda)$ . Из определения следует, что  $0 \leq \alpha \leq 1$ .
- Коэффициент поглощения зависит не только от длины волны, но и от температуры
- тела  $\alpha = \alpha(\lambda, T)$ .

# Простейшие типы поглощения

## Простейшие типы поглощения.

- *Абсолютно черное тело* – такое тело , коэффициент поглощения которого равен единице для всех длин волн:  $\alpha = 1$ . Оно поглощает всё падающее на него излучение.
- *Абсолютно белое тело* – такое тело , коэффициент поглощения которого равен нулю для всех длин волн:  $\alpha = 0$ . Например, зеркало в оптической части спектра отражает почти весь падающий свет.
- *Серое тело* – такое тело , для которого коэффициент поглощения меньше единицы и не зависит от длины волны:  $\alpha = \text{const} < 1$ . Некоторые реальные тела обладают этим свойством в определённом интервале длин волн. Например, «серой» ( $\alpha = 0,9$ ) можно считать кожу человека в инфракрасной области.

## 2. Закон Кирхгофа

Количественная связь между излучением и поглощением установлена Г.Кирхгофом.

- **Закон Кирхгофа – при одинаковой температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости к монохроматическому коэффициенту поглощения одинаково для всех тел и равно спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела:**

$$r_{\lambda} / \alpha_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} \quad \text{или} \quad r_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \cdot \epsilon_{\lambda}$$

### 3. Законы излучения чёрного тела

Закон Кирхгофа ставит в центр внимания теории теплового излучения функцию

- $\epsilon(\lambda, T)$  – **испускательную способность абсолютно чёрного тела.**
- Позднее учёные Й.Стефан и Л.Больцман определили **энергетическую светимость абсолютно черного тела.**

## Закон Стефана - Больцмана

- Закон Стефана – Больцмана – энергетическая светимость абсолютно чёрного тела пропорциональна четвёртой степени его абсолютной температуры:

$$Re = \sigma \cdot T^4, \quad \sigma = 5,66 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4.$$

- Для серого тела формула имеет вид

$$Re = \delta T^4, \text{ где } \delta = \alpha\sigma -$$

приведённый коэффициент поглощения.

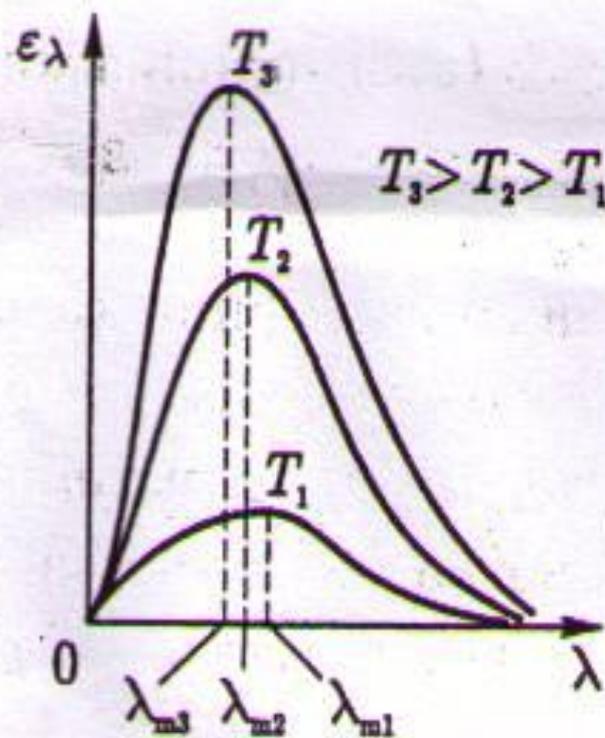
- Для хлопчато-бумажной ткани  $\alpha = 0,73$
- Для шерсти и шёлка  $\alpha = 0,76$
- Для кожи человека  $\alpha = 0,90$

# Закон смещения Вина

Немецкий физик В.Вин определил длину волны , соответствующую максимуму

- **испускательной способности.**
- **Закон смещения Вина – длина волны, на которую приходится максимум спектра излучения чёрного тела ( $\lambda_{\max}$ ), обратно пропорциональна абсолютной температуре:**  
$$\lambda_{\max} = b/T, \quad b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ мК.}$$
- **Закон Вина называют законом смещения, так как он показывает, как смещается длина волны , на которую приходится максимум энергии излучения чёрного тела ,при повышении температуры.**

## Спектр излучения чёрного тела



Спектр излучения черного тела при разных температурах

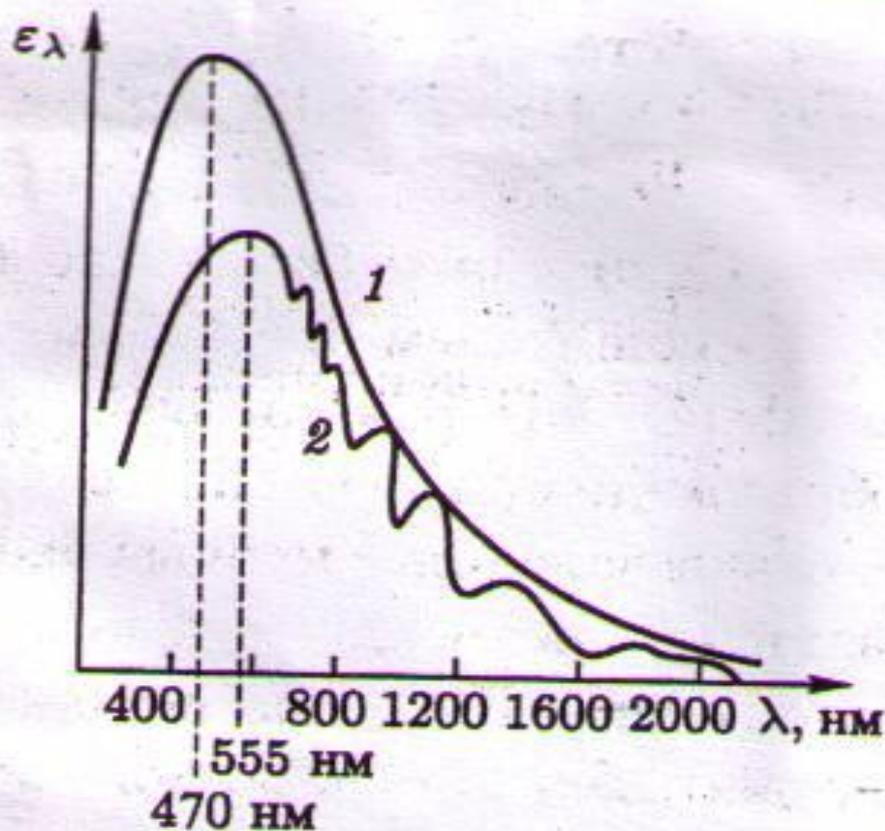
# Пирометрия

- На основании законов Стефана–Больцмана и Вина можно измерить температуру тел посредством измерения излучения этих тел. Например, так определяют температуру поверхности Солнца (  $\sim 6000\text{K}$  ), температуру в эпицентре взрыва (  $\sim 10^6\text{K}$  ) и т.д. Общее название этих методов – **пирометрия.**

## 4. Излучение Солнца

- **Солнце** - наиболее мощный источник теплого излучения, обуславливающий жизнь
- на Земле . Солнечное излучение обладает лечебными свойствами ( гелеотерапия ),
- используется как средство закаливания . Оно же может вызвать негативное воздействие на организм ( ожог, тепловой удар ).
- Спектры солнечного излучения на границе земной атмосферы и на поверхности Земли различны.

# Спектр солнечного излучения



Спектр солнечного излучения: 1) на границе атмосферы, 2) на поверхности Земли

# Спектр солнечного излучения

- На границе атмосферы спектр близок к спектру чёрного тела. Максимум спектра излучения приходится на длину волны  $\lambda_{1\max} = 470\text{нм}$ . Используя закон Вина можно оценить температуру поверхности Солнца примерно  $6100\text{К}$ .
- У поверхности Земли спектр солнечного излучения имеет более сложную форму, что
- связано с поглощением в атмосфере. Максимум спектра соответствует  $\lambda_{2\max} = 555\text{нм}$ , что соответствует наилучшей чувствительности глаза. В спектре излучения Солнца, достигающего земной поверхности, отсутствуют самые короткие ультрафиолетовые лучи, полностью поглощаемые озоновым слоем атмосферы.

# Солнечная постоянная

- Солнечная постоянная  $I$  – характеризует мощность солнечного излучения, приходящегося на  $1 \text{ м}^2$  площади.
- На границе земной атмосферы  $I = 1350 \text{ Вт/м}^2$ , на экваторе вблизи поверхности земли-  $1120 \text{ Вт/м}^2$ , в Москве -  $930 \text{ Вт/м}^2$ .

Для биологических систем на земной поверхности важно распределение энергии в спектре солнечного излучения, которое резко изменяется в зависимости от положения Солнца на небесном своде, так как солнечным лучам приходится проходить разные толщи атмосферы, которая рассеивает и поглощает эти лучи различным образом различных длин волн.

-

## 5. Физические основы термографии

- У человека тепловое излучение составляет наибольшую долю теплопотерь ( около 50% ).
- Максимум излучения приходится на длину волны  $\lambda = 9.5$  мкм.
- Мощность, теряемая телом человека при взаимодействии с окружающей средой посредством излучения , рассчитывается по формуле
- $$P = S \cdot \alpha \cdot \sigma ( T_1^4 - T_0^4 ),$$
- где  $S$  - площадь поверхности,  $\alpha$  - коэффициент поглощения,  $T_1$  - температура поверхности тела или одежды,  $T_0$  - температура окружающей среды.
- Для одетого человека под температурой  $T_1$  следует понимать температуру поверхности одежды.
- **Тепловое излучение человека может быть использовано как диагностический параметр.**

# Термография

- **Термография – диагностический метод, основанный на измерении**
- **и регистрации теплового излучения поверхности тела человека или его отдельных участков.**
- **Определение различия температуры  $T$  поверхности тела осуществляется двумя способами.**
- **1.Использование жидких кристаллов , физические свойства которых чувствительны к небольшому изменению температуры . По изменению цвета жидких кристаллов можно определить местное изменение температуры.**
- **2.Использование приборов ночного видения , тепловизоров .Части тела с разной температурой различаются на экране либо цветом, либо интенсивностью( тепловой портрет ).**
- **Исследование распределения температуры кожи важно для функциональной диагностики. При патологических состояниях внутренних органов могут образовываться стойко существующие кожные зоны с изменённой температурой.**

# Термограф

Термограф состоит из фотоприемной камеры (фоточувствительная матрица из 74 240 пикселей + германиевый объектив + электронный блок преобразования видеосигнала в цифровой сигнал), персонального компьютера, цветного принтера.



Диапазон спектральной чувствительности

2–5,3 мкм

Температурная чувствительность  
0,07 °С

Расстояние до объекта от 5 см до бесконечности

Диапазон измеряемых температур  
22–45 °С

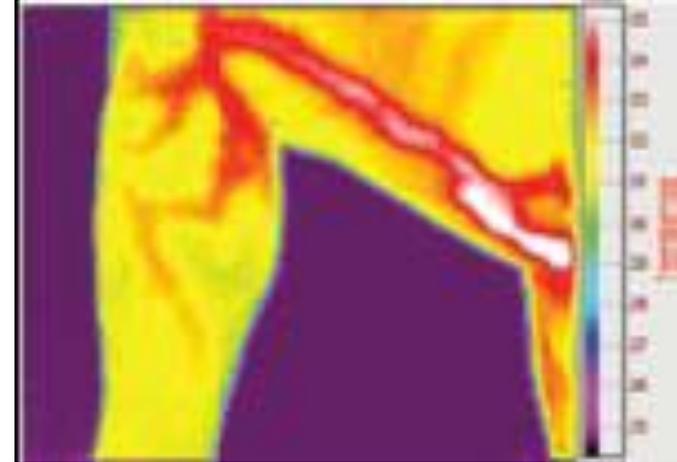
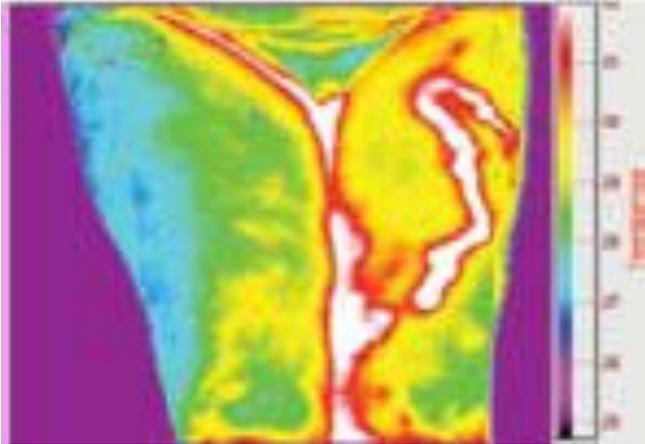
Питание термографа 220 В

## 6. Особенности теплового излучения человека

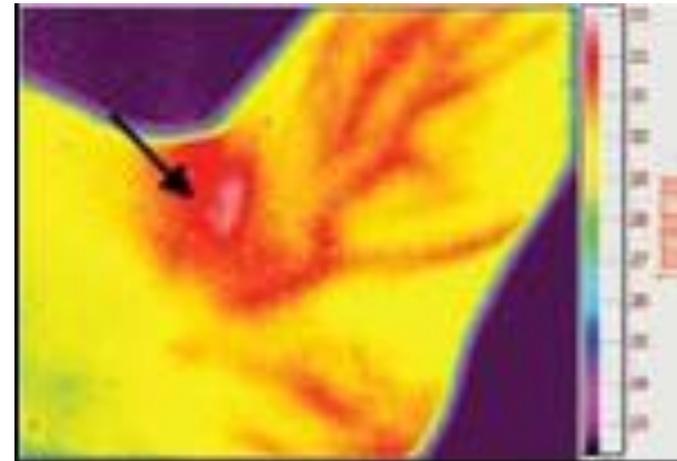
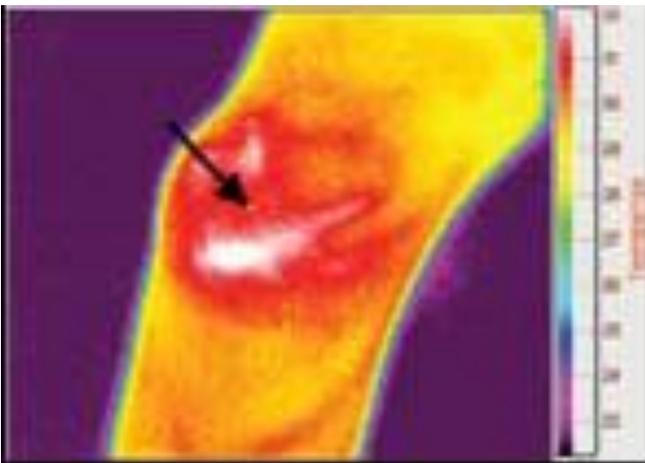
- Доля теплового излучения в теплообмене человека с окружающей средой достигает 45%. Инфракрасное излучение различных участков поверхности тела определяется тремя факторами:
- особенностями васкуляризации (плотности снабжения органов и тканей сосудами) поверхностей тканей;
- уровнем метаболических процессов (обмена веществ) в них;
- различиями в теплопроводности (связанными с развитием жировой клетчатки).
- При соблюдении стандартных условий регистрируемая топография излучения характерна для данного человека. Изменения топографии излучения могут наблюдаться в следующих случаях.

# Метод термографии используется в ряде медицинских дисциплин:

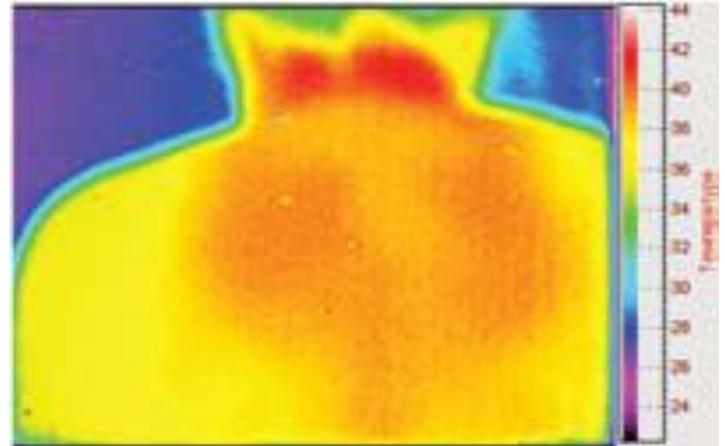
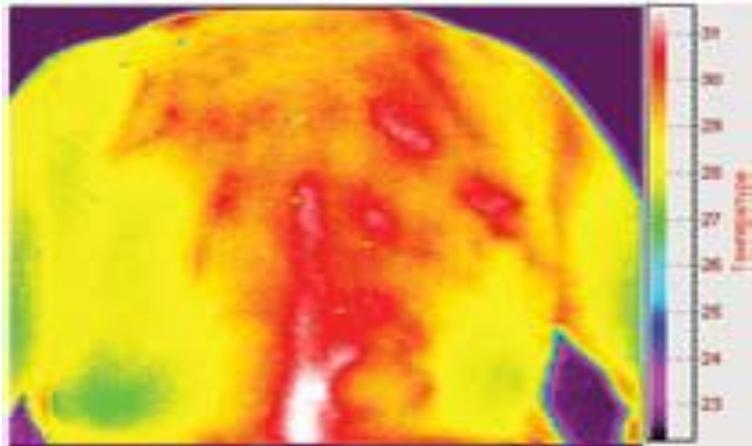
-Ангиоархитектоника.



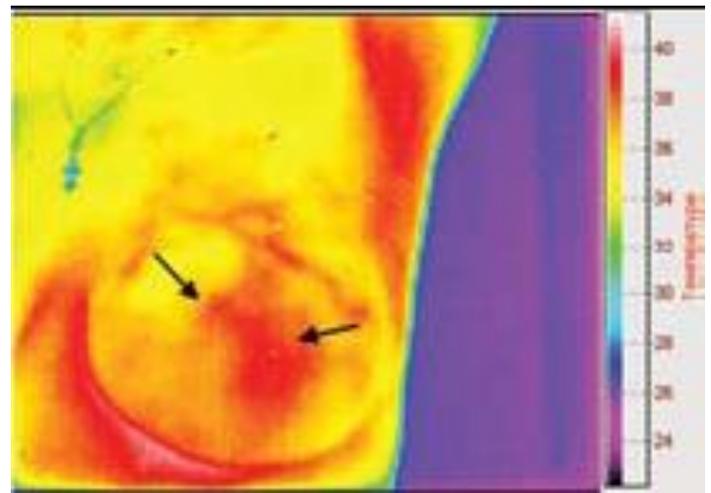
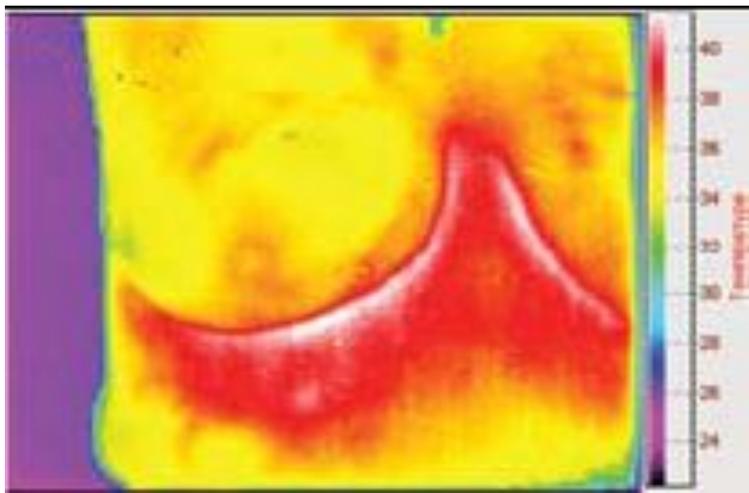
-Воспаление суставной сумки  
левого локтевого сустава.  $+(2,65-3,38) \text{ } ^\circ\text{C}$ ,



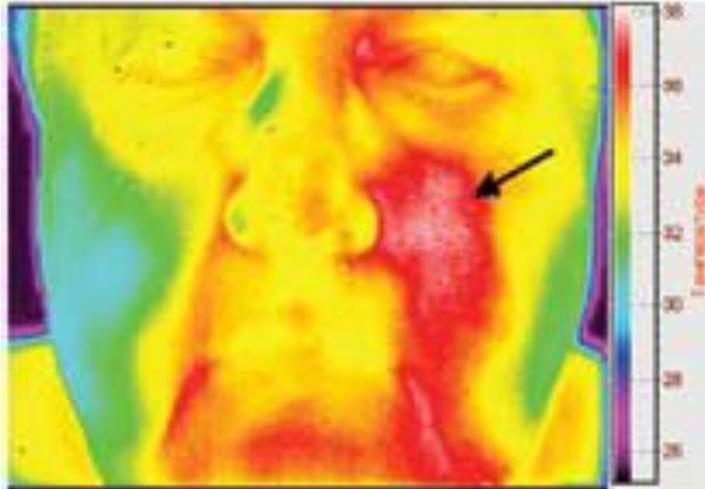
-Пульмонология (больная с пневмонией). +2,31 до +2,76 °С.



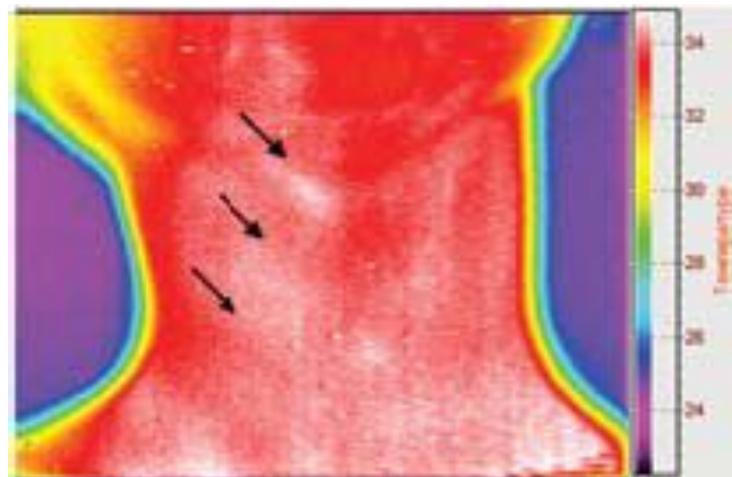
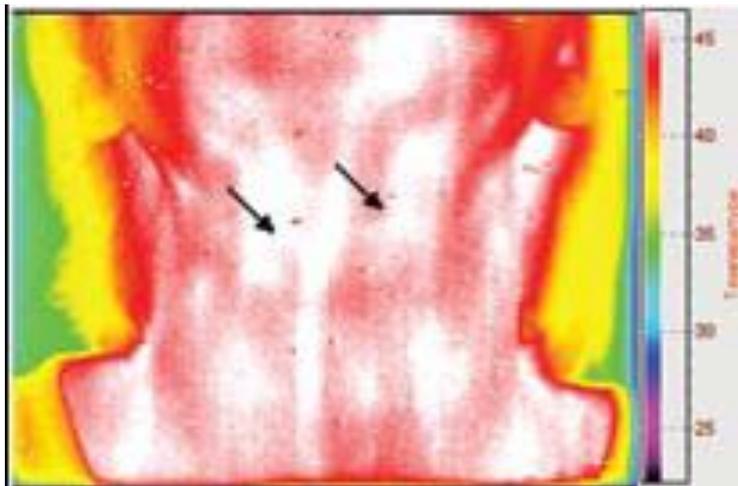
-Маммология (больная раком левой молочной железы). +2,69 до +3,24 °С



-Отоларингология (больной с левосторонним гайморитом).  $+(1,17-2,86) \text{ } ^\circ\text{C}$ .



При наличии патологии в щитовидной железе наблюдается усиление обмена и кровотока, а также увеличение объема органа, что можно выявить при термографическом обследовании пациентов.  $+(0,45-0,79) \text{ } ^\circ\text{C}$ .



## Изменения топографии излучения

Нарушения	Механизм нарушения
Нарушение структурных соотношений сосудистой сети	Врожденные аномалии, сосудистые опухоли (например, различные гемангиомы)
Изменения тонуса сосудов	Нарушение вегетативной иннервации, рефлекторное изменение тонуса
Местные расстройства кровообращения	Травмы, тромбоз, склероз сосудов
Нарушение венозного кровотока	Застой, обратный ток крови при недостаточности клапанов вен
Локальные изменения теплопродукции	Воспалительные очаги, опухоли, ревматические артриты
Изменения теплопроводности тканей	Отек, уплотнение тканей, изменение содержания жира

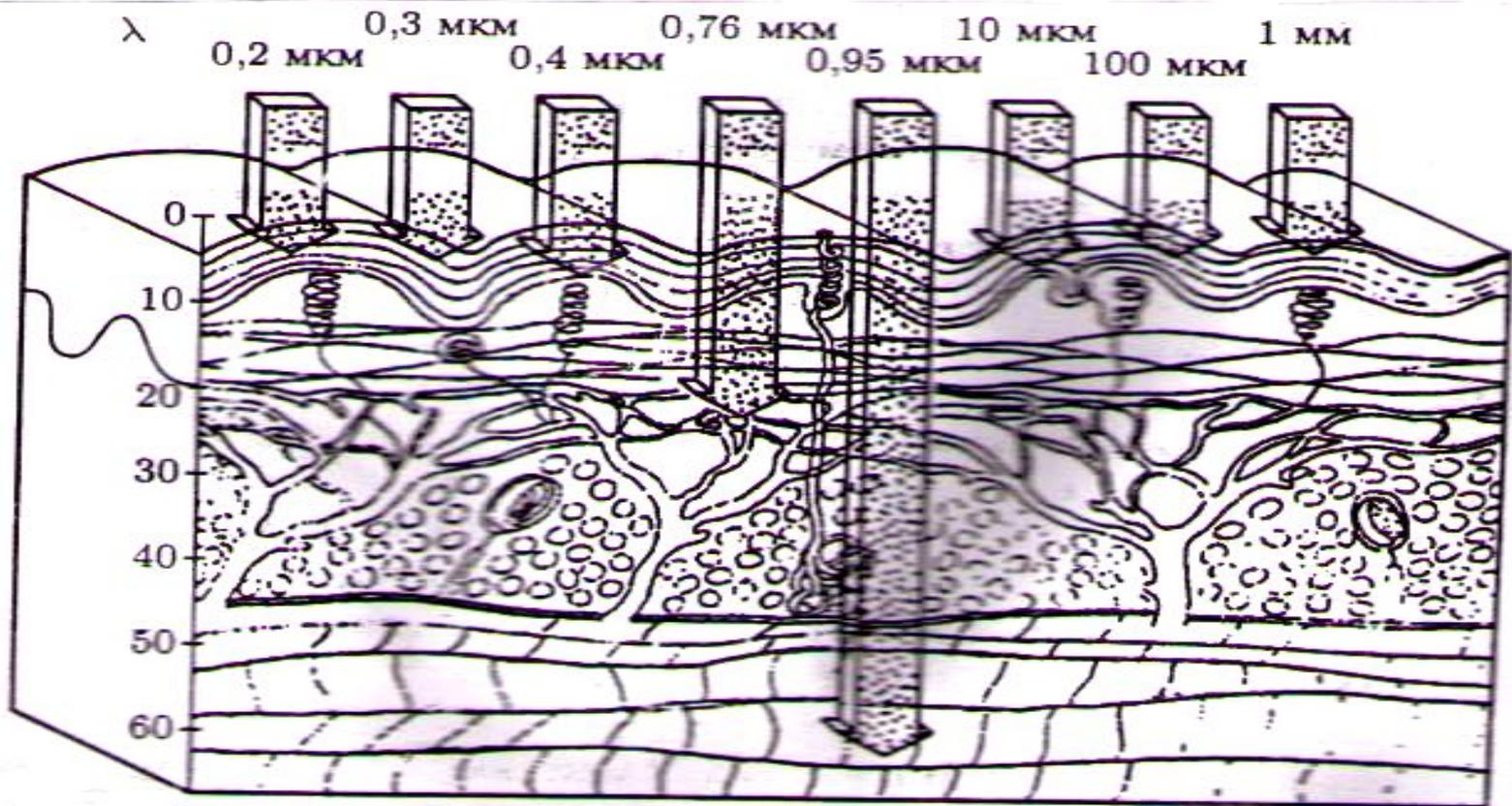
# Температурная зависимость

- Вследствие сильной температурной зависимости мощности излучения(  $T^4$  ) даже небольшое повышение температуры поверхности может вызвать сильное изменение
- излучаемой мощности, что надёжно фиксируется тепловизорами, датчикам на жидких кристаллах и т.п. У здоровых людей распределение температуры по различным точкам поверхности тела достаточно характерно. Различные процессы ( воспаление, изменение кровообращения в венах, например, при охлаждении или нагревании; опухоль) могут изменить местную температуру. Таким образом , **регистрация излучения разных участков тела человека и определение их температуры является надёжным неинвазивным диагностическим методом.**

# 7. Светолечение. Лечебное применение УФ излучения

- **7.1 Светолечение.** Широкое лечебно-реабилитационное применение имеет **светолечение** – использование инфракрасного и видимого излучения в лечебных целях.
- Источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело. Интенсивность и спектральный состав такого излучения определяется температурой нагретого тела.
- Проникая в ткани, инфракрасные лучи (как и видимые) на месте своего поглощения вызывают образование тепла. Различные слои кожи неодинаково поглощают оптическое излучение разной длины волны.

# Различные слои кожи неодинаково поглощают оптическое излучение разной длины волны

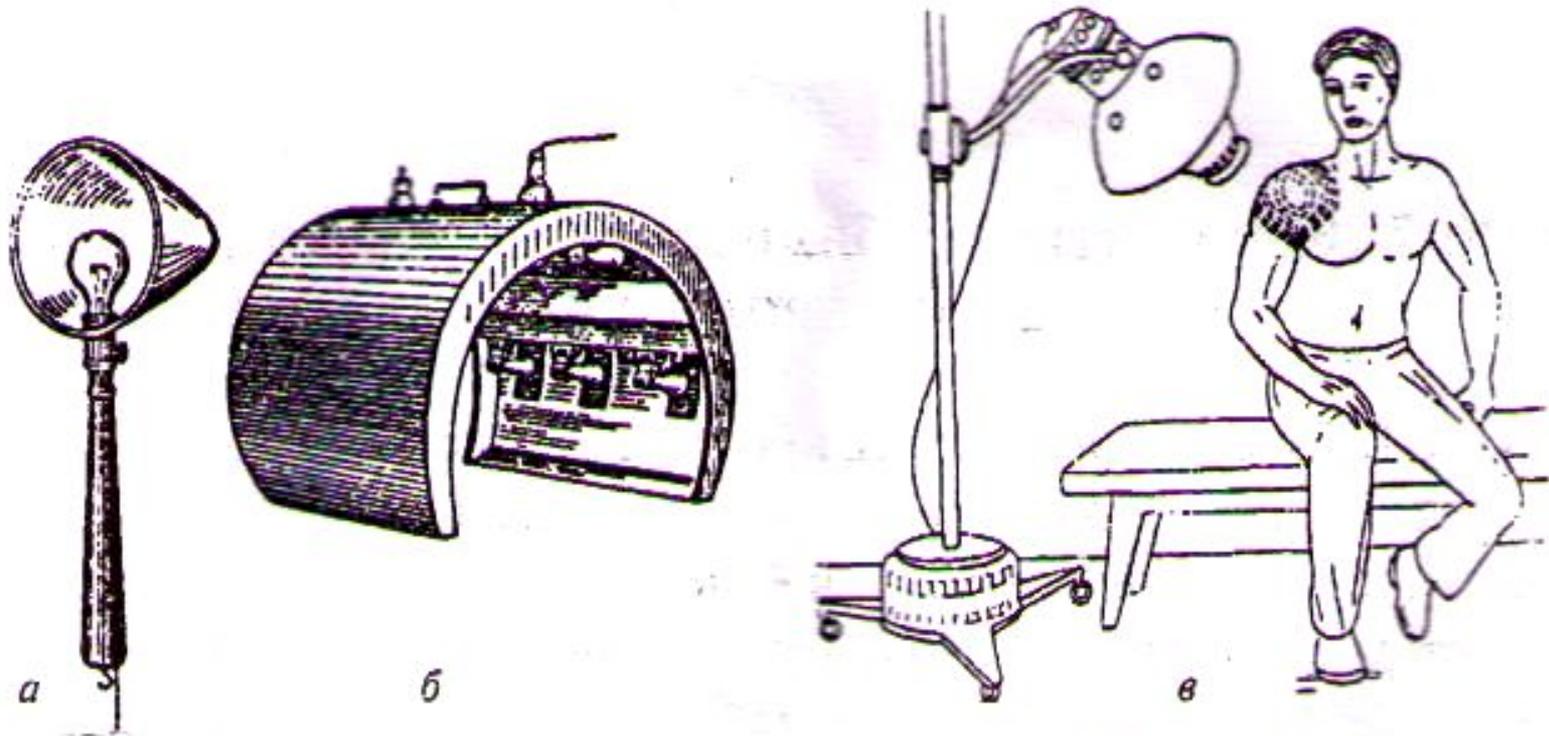


Зависимость проникающей способности кожи от длины волны оптического излучения

## Источники инфракрасного излучения

- В реабилитационно – лечебной практике в качестве искусственных источников инфракрасного излучения используются различные облучатели.

# Источники для светолечения



Источники для светолечения: лампа Минина (а), светотепловая ванна (б), лампа Соллюкс (в)

## 7.2 Лечебное применение УФ излучения

**Лечебное применение УФ излучения.** В реабилитационных физиотерапевтических методах широко применяется ультрафиолетовое излучение длинно волнового, средневолнового, коротковолнового диапазонов. При поглощении квантов ультрафиолетового излучения в тканях происходят различные фотохимические и фотобиологические реакции.

- **Длинноволновое облучение** ( преимущественно загарное ). Оно используется при лечении многих дерматологических заболеваниях.
- **Средневолновое облучение** ( преимущественно витаминобразующее, антирахитное действие).
- **Коротковолновое облучение** ( преимущественно бактерицидное действие ). Под его воздействием происходит разрушение структуры микроорганизмов и грибов. Оно создается с помощью ртутно - кварцевых ламп. При некоторых методиках коротковолновое излучение используется для облучения крови.
-

# УФ голодание

**Ультрафиолетовое голодание.** Многие люди находятся в условиях недостаточного облучения. В первую очередь страдают дети ( возрастает вероятность заболеть рахитом ). Поэтому для организации освещения всегда необходимо проводить санитарно – реабилитологические мероприятия.

- **7.3 Вредность ультрафиолетового облучения.** Наряду с положительными биологическими воздействиями на организм следует отметить и отрицательные стороны УФ облучения. Последствия неконтролируемого загорания: ожоги, пигментные пятна, повреждение глаз – развитие фотоофтальмии. УФ радиация приводит к развитию рака кожи.

# ОУФД-01 СОЛНЫШКО ОБЛУЧАТЕЛЬ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ



