

**ФГБОУ ВО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра нормальной физиологии**

**Учебно-методическое пособие для студентов  
к практическим занятиям**

**по теме**  
**ЗАКОНЫ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.**  
**ИФ И УФ В МЕДИЦИНЕ**

## Тепловое излучение

**Тепловое излучение** — электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет его внутренней энергии.

Тепловое излучение обуславливается возбуждением частиц вещества при соударениях в процессе теплового движения или ускоренным движением зарядов (колебания ионов кристаллической решетки, тепловое движение свободных электронов и т.д.).

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. Например, тела, нагретые до высокой температуры, значительную часть энергии испускают в видимом диапазоне, а при комнатной температуре почти вся энергия испускается в инфракрасной части спектра.

Процессы испускания и поглощения теплового излучения количественно характеризуются следующими величинами.

**Поток излучения** ( $\Phi$ ) — энергия, которую излучает все тело за единицу времени.

Размерность этой характеристики — [Дж/с = Вт].

**Энергетическая светимость** ( $R_e$ ) — энергия теплового излучения, испускаемая с единичной поверхности нагретого тела за единицу времени:

$$R_e = \Phi/S.$$

Размерность этой характеристики — [Вт/м<sup>2</sup>].

**Спектральная плотность энергетической светимости**  $r_\lambda$  (Вт/м<sup>3</sup>) — это количество энергии, излучаемое с 1 м<sup>2</sup> поверхности тела за 1 с по всем направлениям и во всем спектральном диапазоне на длинах волн от  $\lambda$  до  $\lambda+d\lambda$ :

$$r_\lambda = \frac{dR}{d\lambda}.$$

Зависимость спектральной плотности  $r_\lambda$  от длины волны представляет собой **спектр теплового излучения**.

Как уже указывалось, тела не только испускают, но и поглощают тепловое излучение. Способность тела поглощать энергию характеризуется коэффициентом поглощения  $\alpha$ .

Коэффициент поглощения  $\alpha$  равен отношению потока излучения, поглощенного данным телом на длине волны  $\lambda$ , к потоку излучения, упавшего на него:

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

Если на тело падает поток монохроматического излучения  $\Phi_{\text{пад}}$  с длиной волны  $\lambda$ , то в общем случае тело поглощает только часть этого потока —  $\Phi_{\text{погл}}$ . Безразмерная величина, показывающая, какая часть излучения данной длины волны поглощается телом, называется монохроматическим коэффициентом поглощения  $\alpha_\lambda$ :  $\alpha_\lambda = \Phi_{\text{погл}}(\lambda)/\Phi_{\text{пад}}(\lambda)$ .  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Коэффициент поглощения зависит не только от длины волны, но и от температуры тела.

**Абсолютно черное тело** — такое тело, коэффициент поглощения которого равен единице для всех длин волн:  $\alpha = 1$ . Оно поглощает все падающее на него излучение.

**Абсолютно белое тело** — такое тело, коэффициент поглощения которого равен нулю для всех длин волн:  $\alpha = 0$ .

**Серое тело** — такое тело, для которого коэффициент поглощения меньше единицы и не зависит от длины волны:  $\alpha = \text{const} < 1$ .

Например, «серой» ( $\alpha = 0,9$ ) можно считать кожу человека в инфракрасной области.

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 черного тела:

$$(r_\lambda / \alpha_\lambda)_1 = (r_\lambda / \alpha_\lambda)_2 = \dots (\epsilon_\lambda/1),$$

$$r_\lambda / \alpha_\lambda = \epsilon_\lambda.$$

$\epsilon_\lambda$  — спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела

**Следствия этого закона:**

1. Если тело не поглощает какое-либо излучение, то оно его и не испускает. Действительно, если для некоторой длины волны коэффициент поглощения  $\alpha = 0$ , то и  $r = \alpha \epsilon(\lambda, T) = 0$ .

2. При одинаковой температуре черное тело излучает больше, чем любое другое. Действительно, для всех тел, кроме абсолютно черного,  $\alpha < 1$ , поэтому для них  $r = \alpha \epsilon(\lambda, T) < \epsilon$ .

3. Если экспериментально определить спектр черного тела  $\varepsilon = \varepsilon(\lambda)$  и зависимость монохроматического коэффициента поглощения от длины волны  $\alpha = \alpha(\lambda)$  для другого тела, то можно рассчитать и спектр излучения этого тела:  $r=f(\lambda) = \alpha \varepsilon$ .

На основании этого спектр излучения серого тела может быть определен как  $r = \alpha \varepsilon$ , где  $\alpha$  — коэффициент поглощения серого тела.

**Закон Стефана—Больцмана** — энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры:

$$R_e = \sigma \cdot T^4, \quad \sigma = 5,6696 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4).$$

Для серого тела формула принимает вид:

$$R_e = \alpha \cdot \sigma \cdot T^4.$$

**Закон смещения Вина** — длина волны, на которую приходится максимум спектра излучения черного тела ( $\lambda_{\text{max}}$ ), обратно пропорциональна абсолютной температуре:

$$\lambda_{\text{max}} = b/T, \quad b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ мК}.$$

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:

$$P = S \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_0^4),$$

где  $S$  — площадь поверхности,  $\alpha$  — коэффициент поглощения,  $T_1$  — температура поверхности тела или одежды,  $T_0$  — температура окружающей среды. Для одетого человека под  $T_1$  следует понимать температуру поверхности одежды.

Тепловое излучение человека может быть использовано как диагностический параметр.

**Термография** — диагностический метод, основанный на измерении и регистрации теплового излучения поверхности тела человека или его отдельных участков.

Вследствие сильной температурной зависимости мощности излучения (четвертая степень термодинамической температуры) даже небольшое повышение температуры поверхности может вызвать сильное изменение излучаемой мощности. Так, если температура поверхности тела человека изменится на 3 К, то есть приблизительно на 1%, то мощность изменится на 4%. Такое изменение надежно фиксируется соответствующими приборами:

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. В технической системе тепловизора используются электронно-оптические преобразователи, предназначенные для преобразования изображения из одной области спектра в другую. На входной элемент системы подается сигнал в области ИК излучения, а воспроизводится на экране телевизора в области видимого света. Части тела с разной температурой различаются на экране либо цветом, либо интенсивностью (тепловой портрет). Современные методы измерения позволяют отличать участки тела, разность температур которых составляет  $0,2^\circ$ .

Доля теплового излучения в теплообмене человека с окружающей средой достигает 45%. Инфракрасное излучение различных участков поверхности тела определяется тремя факторами:

1) особенностями васкуляризации (плотности снабжения органов и тканей сосудами) поверхностей тканей; 2) уровнем метаболических процессов (обмена веществ) в них; 3) различиями в теплопроводности (связанными с развитием жировой клетчатки).

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 изменять местную температуру. Таким образом, регистрация излучения разных участков поверхности тела человека и определение их температуры является надежным неинвазивным диагностическим методом.

Исследование распределения температуры кожи важно для функциональной диагностики. При патологических состояниях внутренних органов могут образовываться стойко существующие кожные зоны с измененной температурой. Различные патологические состояния характеризуются термоасимметрией и наличием температурного градиента между зоной повышенного или пониженного излучения и симметричным участком тела, что отражается на термографической картине и имеет диагностическое и прогностическое значение. Например, при распространении волны возбуждения в

головном мозге последовательно меняется температура его отделов. Метод получения карты распределения температуры коры головного мозга называется термоэнцелоскопией. Применение этого метода ограничено в связи с сильным поглощением теплового излучения мозга черепной коробкой и волосами, поэтому метод применяется только в нейрохирургических операциях на открытом мозге. Тепловидение позволяет определить участки тела, в которых нарушено кровоснабжение, или очаги воспаления, так как в первом случае температура снижается, а во втором, наоборот, повышается. Термографический метод облегчает дифференциальный диагноз между доброкачественными и злокачественными опухолями. Этот метод является объективным средством контроля за эффективностью терапевтических методов лечения.

Инфракрасное излучение сильно поглощается телом и затухает на расстоянии 100 мкм, поэтому тепловизионные методы позволяют измерить температуру только верхних слоев кожи. Для определения температуры глубинных слоев измеряется интенсивность излучения тела в СВЧ - диапазоне, для которого глубина проникновения волны гораздо выше (порядка нескольких сантиметров). Измерения проводят с помощью так называемых СВЧ - радиометров. Однако здесь возникают другие трудности: изменение интенсивности излучения с перепадом температуры на 1 К составляет всего лишь  $2 \cdot 10^{-13}$  Вт/м<sup>2</sup>, не всегда удается определить источник изменения температуры, так как неизвестно на какой глубине он находится.

Метод СВЧ - радиометрии нашел применение в диагностике злокачественных опухолей. Опухоли для продолжения своего роста нуждаются в больших количествах энергии, в то же время эффективность превращения энергии, содержащейся в углеводах в энергию АТФ в опухолевых клетках гораздо ниже, чем в здоровых клетках, что приводит к большему разогреву опухолей с окружающими тканями. Перед исследованием больному дают немного раствора глюкозы, тогда при измерении СВЧ – излучения исследуемого органа в местах локализации опухолей или метастаз фиксируется увеличение температуры.

### **Инфракрасное излучение и его применение в медицине**

Электромагнитное излучение в диапазоне от красной границы видимого света ( $\lambda=0,76$ мкм) и до коротковолнового радиоизлучения ( $\lambda=1$ мм) называют **инфракрасным (ИК)**.

Мощным источником ИК-излучения является Солнце, поскольку около 50% его излучения лежит в этом диапазоне.

Инфракрасную область спектра условно подразделяют на ближнюю к видимой (0,76 -2,5 мкм), среднюю (2,5 -50 мкм) и дальнюю (50-1000мкм).

В обычных условиях практически все тела не только являются источниками ИК – излучения, но и имеют максимальное излучение в этой части электромагнитного спектра. 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. Наибольший лечебный эффект достигается коротковолновым ИК – излучением, близким к видимому свету. Инфракрасное излучение проникает в тело на глубину около 20 мм, поэтому в большей степени прогреваются поверхностные слои. Терапевтический эффект как раз и обусловлен возникающим температурным градиентом, что активизирует кровоснабжение облученного места и приводит к благоприятным лечебным последствиям.

### **Воздействие ультрафиолетового излучения на биологические объекты**

В зависимости от оказываемого действия на биологические объекты, в ультрафиолетовом диапазоне выделяют три зоны: А-зона ( $\lambda=400...315$  нм), В-зона ( $\lambda=315...280$  нм), С-зона ( $\lambda=280...200$  нм). Ультрафиолетовое излучение с  $\lambda < 200$  нм очень сильно поглощается, в том числе и воздухом, поэтому его действие на биологические объекты практически не рассматривается.

Основным естественным источником УФ – излучения является Солнце. Поверхности Земли достигают в основном лучи зоны А и длинноволновой области В. УФ – излучение интенсивно поглощается живыми клетками и практически не проникает на глубину более чем 1 мм. У человека УФ лучи поглощаются в кожных покровах. Поэтому непосредственный эффект УФ облучения сказывается именно на клетках кожи.

В реабилитационных физиотерапевтических методах широко применяется ультрафиолетовое излучение длинноволнового (А), средневолнового (В), коротковолнового (С) диапазонов. При поглощении квантов ультрафиолетового излучения в тканях (в коже) происходят различные фотохимические и фотобиологические реакции.

Облучение создается искусственными источниками: лампы высокого давления (дуговые ртутные трубчатые), люминесцентные лампы, газоразрядные лампы низкого давления, одной из

разновидностей которых являются бактерицидные лампы. Источники подразделяются на интегральные, которые излучают все области спектра, и селективные, которые создают излучение преимущественно одной области.

**Длинноволновое облучение** (преимущественное эритемное и загарное действие). Оно используется при лечении многих дерматологических заболеваний. Некоторые химические соединения фурукумаринового ряда (например, псорален) способны sensibilizировать кожу этих больных к длинноволновому ультрафиолетовому излучению и стимулировать образование в меланоцитах пигмента меланина. Совместное применение данных препаратов и последующего облучения длинноволновым ультрафиолетовым излучением является основой метода лечения, называемого фотохимиотерапией или ПУВА-терапией (PUVA: P — псорален, UVA — ультрафиолетовое излучение зоны А). При этом подвергают облучению часть или все тело.

При применении фотосенсибилизаторов необходимо соблюдать правила безопасности, чтобы избежать побочных негативных последствий. Так, например, часть сенсибилизаторов проникает в структуру глаза. Поэтому УФ-А облучение sensibilizированных пациентов может привести к повреждениям роговицы, вещества внутренней камеры глаза, хрусталика (фотоповреждения хрусталика необратимы, так как поврежденные молекулы из него никогда не выводятся). Во избежание этого больные, получающие ПУФА-терапию, во время УФ-А облучения обязательно надевают светозащитные очки.

Больным, принимающим таблетки фурукумаринов, используемые при лечении кожи, запрещено в течение нескольких часов после приема находиться на прямом солнечном свете, поскольку он содержит значительное количество УФ-А-излучения.

**Средневолновое облучение** (преимущественно витаминообразующее, антирахитное действие).

**Коротковолновое облучение** (преимущественно бактерицидное действие). Под его воздействием происходит разрушение структуры микроорганизмов и грибов. Оно создается с использованием ртутно-кварцевых бактерицидных ламп. Используются облучатели при местном облучении слизистой оболочки носа, миндалин.

При некоторых методиках коротковолновое излучение используется для облучения крови.

УФ-излучением инициируется подавление клеточноопосредованного иммунитета — иммуносупрессия. В медицине УФ используется в методе фотогемотерапии, применяемом при заболеваниях, связанных с повышением вязкости крови.

Ультрафиолетовое голодание. Многие люди находятся в условиях недостаточного облучения. Это жители крайнего Севера, Заполярья, рабочие горнорудной промышленности, метрополитена, незаконных производств, жители крупных городов. В городах недостаток солнечного света связан с загрязнением атмосферного воздуха пылью, дымом, газами, задерживающими в основном УФ часть солнечного спектра. В помещении оконное стекло не пропускает УФ лучи с длиной волны  $\lambda < 310$  нм. Резко снижают УФ поток загрязненные стекла, занавеси (тюлевые занавески снижают УФ излучение на 20%). Поэтому на многих производствах и в быту наблюдается так называемая «биологическая полутьма». В первую очередь страдают дети (возрастает вероятность заболевания рахитом). Поэтому для организации освещения всегда необходимо проводить санитарно-реабилитологические мероприятия.

**Вредность ультрафиолетового облучения.**

Наряду с положительными биологическими воздействиями на организм этого излучения следует отметить и отрицательные стороны облучения. В первую очередь это относится к последствиям бесконтрольного загорания: ожоги, пигментные пятна, повреждение глаз — развитие фотоофтальмии. Действие ультрафиолета на глаз подобно эритеме, так как оно связано с разложением протеинов в клетках роговой и слизистой оболочек глаза. Живые клетки кожи человека защищены от деструктивного действия УФ лучей «мертвыми» клетками рогового слоя кожи. Глаза лишены этой защиты, поэтому при значительной дозе облучения глаз после скрытого периода развивается воспаление роговой оболочки (кератит) и слизистой оболочки глаза (конъюнктивит), а также катаракта (помутнение хрусталика).

Этот эффект обусловлен излучением с длиной волны короче 310 нм. Особенно рассматривается заслуживает бластомогенное действие УФ радиации, приводящее к развитию рака кожи. Рак кожи распространен у всех народов земного шара, живущих в разных климатических условиях.

Для полярников, альпинистов УФ-излучение опасно тем, что из-за большой интенсивности этого излучения появляются солнечные ожоги кожи и глаз.