

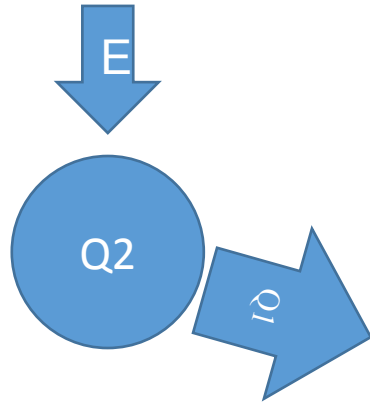
**Биофизика и ее место в  
естествознании.**

**Физическая сущность методов  
диагностики, применяемых в  
медицине и ветеринарии:  
рентгенология, ультразвуковое  
исследование.**

## Определение живого

- Живой организм – открытая, саморегулируемая, самовоспроизводящаяся и развивающаяся гетерогенная система, важнейшими функциональными веществами которой являются белки и нуклеиновые кислоты.

# Термодинамические особенности живой материи

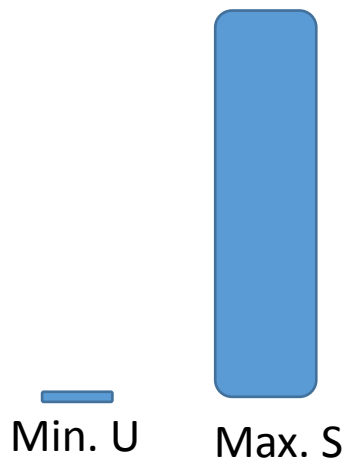


- Первый закон термодинамики:  $\Delta Q = \Delta U + W$ .
- Рубнер в начале XX века показал, что энергия (E), поступающая в бактерии с пищей (определяемая в калориметрической бомбе) разделяется после потребления пищи на две части:
  - 1) выделяющуюся в окружающую среду в виде тепла и энергии, содержащейся в продуктах жизнедеятельности (Q1);
  - 2) запасаемую в клеточном материале (Q2).
- Сумма этих двух частей равна энергии поступающей пищи ( $E = Q1 + Q2$ ).
- Аналогичные данные были получены для человека и животных.

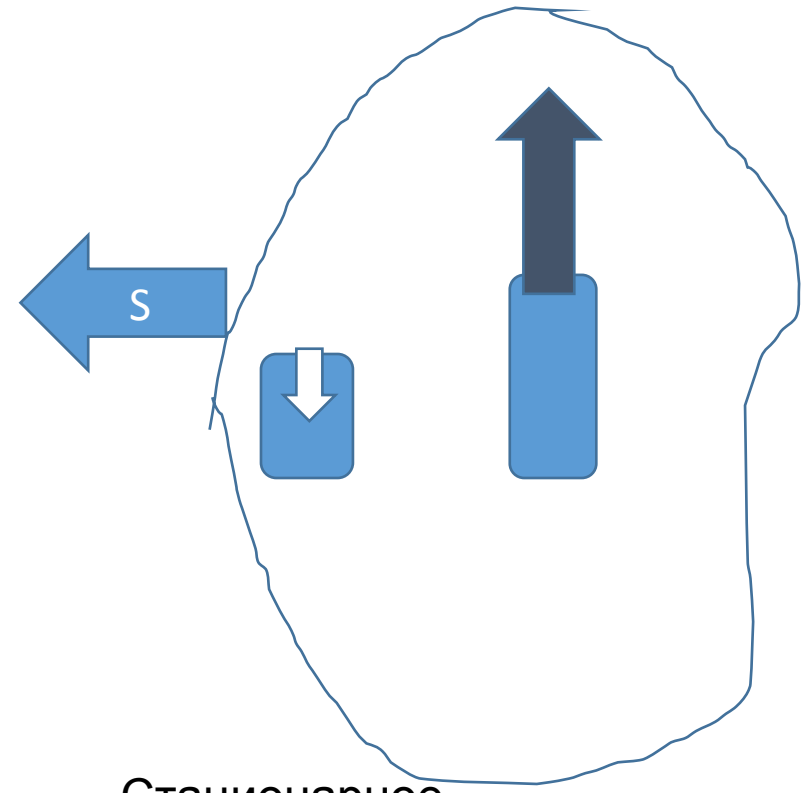
Согласно II закону термодинамики:  
**В изолированной системе не может уменьшаться энтропия, а все самопроизвольно идущие процессы идут в сторону уменьшения внутренней энергии и увеличения энтропии (неупорядоченности)**

- **В живых системах идет множество самопроизвольных процессов, но энтропия системы не увеличивается.**

- **Дело в том, что живая система – открытая система, обменивающаяся с окружающей средой веществом и энергией. Такая система стремится не к термодинамически равновесному состоянию, а к так называемому стационарному состоянию – динамическому равновесию, характеризующемуся минимальной диссипацией энтропии в окружающую среду.**



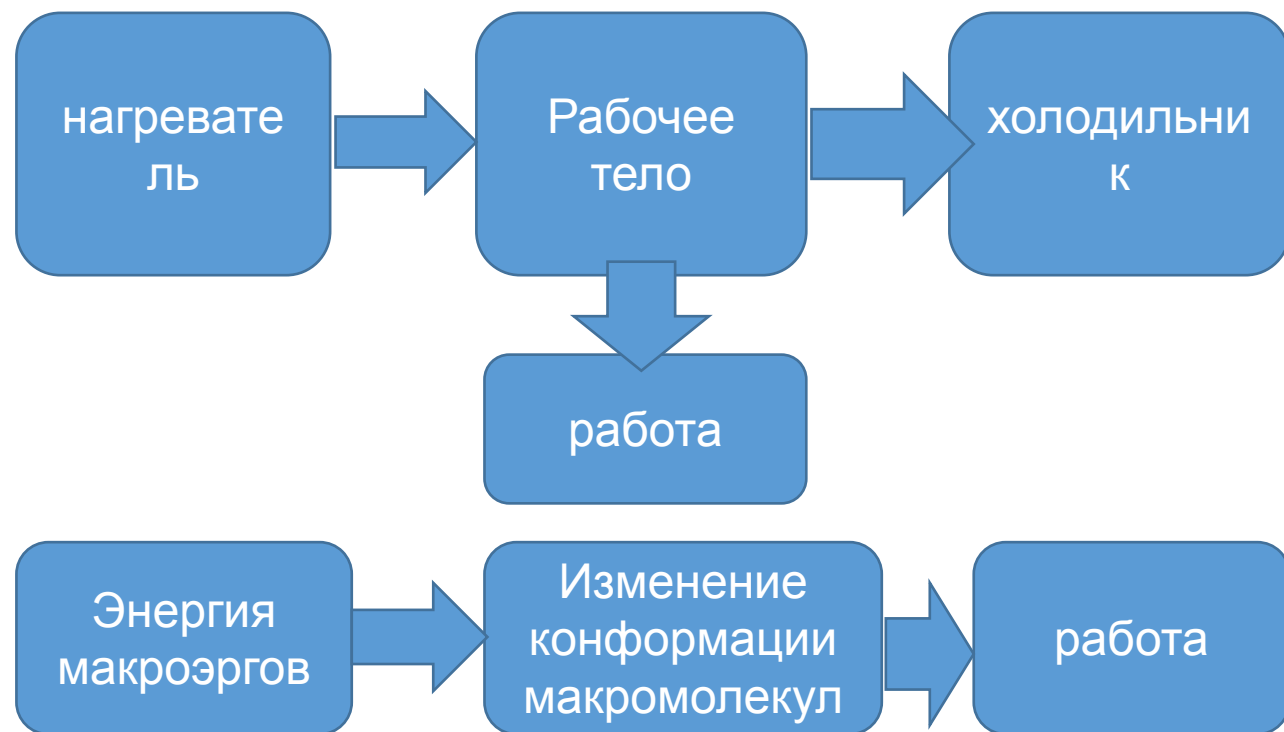
Равновесное состояние (изолированная система)



Стационарное состояние (открытая система)

Согласно второму закону термодинамики, невозможно при одной и той же температуре превратить тепловую энергию в механическую.

- То есть тепловая машина не может работать без холодильника. А где у живых систем холодильник? Где у них рабочее тело, совершающее работу при тепловом расширении? То есть живые системы не являются тепловыми машинами. Они не тепловую, а химическую энергию преобразуют в механическую.

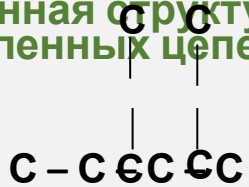


# Химические особенности живой материи

- В основе вещества, образованные легкими элементами: C, N, O, P, H, S. И основа большинства молекул – углеродный скелет.



- Электронная структура молекулы углерода  $2s^2 2p^2$  способствует возможности образования длинных и разветвленных цепей



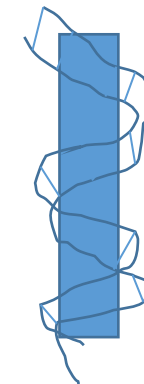
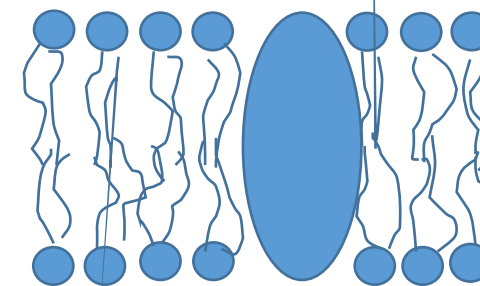
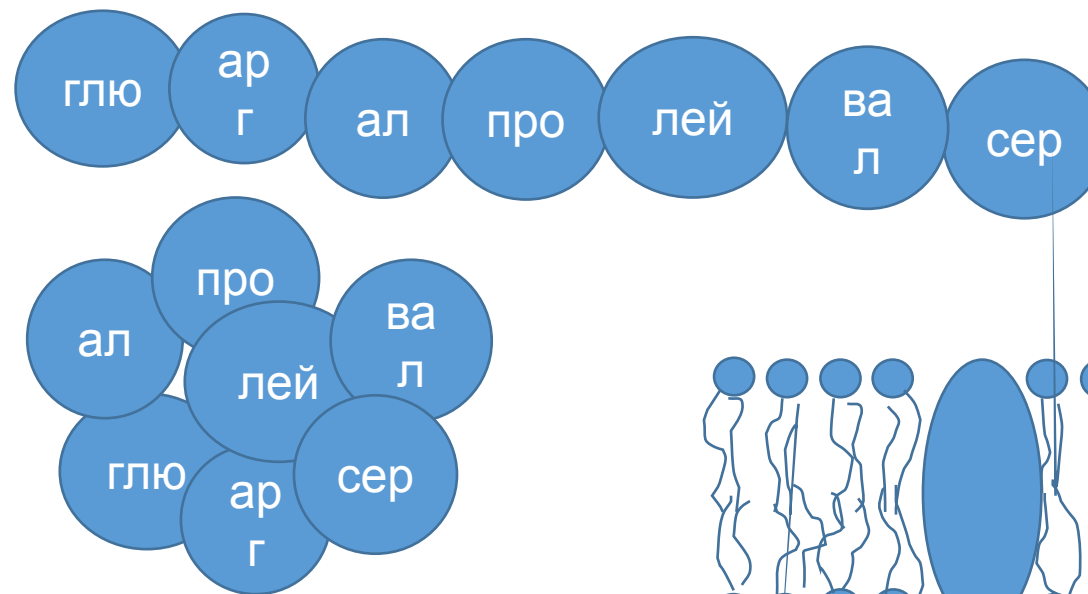
- В подавляющем большинстве случаев атомы в органических молекулах связаны ковалентной связью. Поэтому эти вещества - неэлектролиты, не диссоциируют на ионы и сравнительно медленно взаимодействуют друг с другом. Поэтому в органической химии очень важны катализаторы.

- C:C                      C:H

- Биологические катализаторы называются ферментами.

# Структурные особенности живой материи

- В нуклеиновых кислотах закодирована информация о первичной структуре белка – последовательности аминокислот, связанных в цепь пептидными связями. Но белки образуют вторичные и третичные структуры за счет, главным образом, водородных связей. Глобулярные белки образуют четвертичную структуру. Белки могут выполнять свою функцию только, имея необходимую конформацию.
- Липиды в биологических мембранах образуют жидкокристаллическую структуру. Только благодаря ней биологическая мембрана может выполнять барьерную, матричную и другие функции.



# **Физические методы исследования и диагностики в биологии, медицине и ветеринарии.**

**Физические методы диагностики призваны выявить структурные и функциональные нарушения в живой системе.**

**Основные требования к физическим методам диагностики:**

- 1. высокая чувствительность и специфичность;**
- 2. неинвазивность, нетоксичность;**
- 3. простота, дешевизна, доступность.**

**Мы можем подразделить физические методы на структурные – выявляющие патологию структуры на макроуровне, и функциональные – обнаруживающие расстройство функции при отсутствии патологии структуры.**



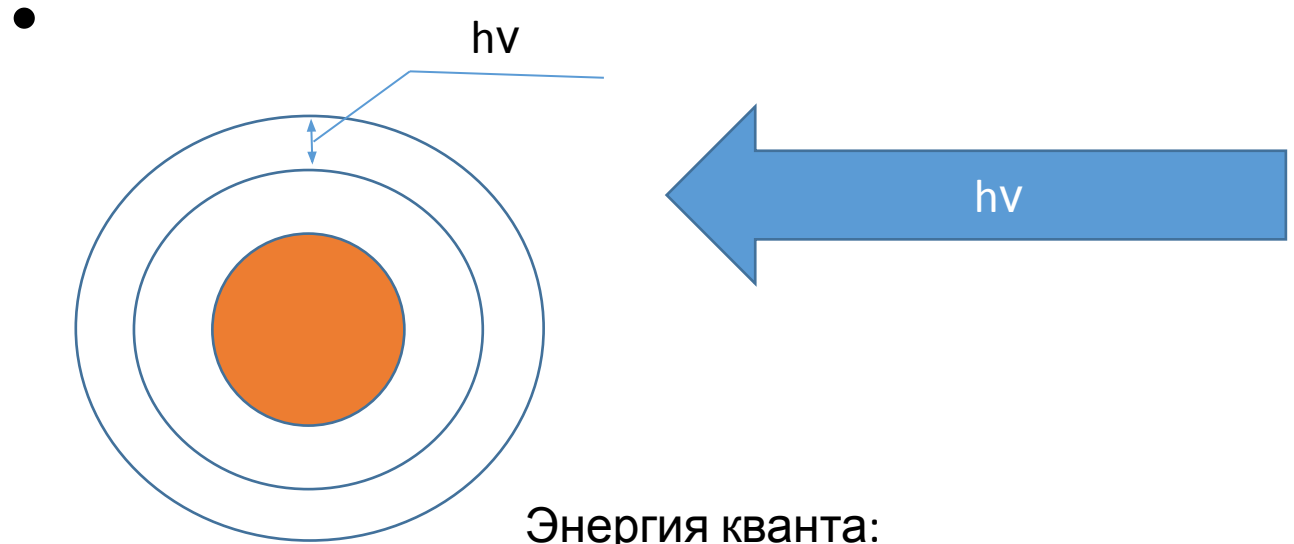
# Электро-магнитные волны

Очевидно, что для того, чтобы увидеть “увидеть” организм изнутри, необходимо использовать какие-то средства, проникающие внутрь и дающие нам информацию, либо регистрировать какие-то излучения изнутри.

Электромагнитные волны могут быть:

1. поглощены (абсорбированы) веществом;
2. рассеяны;
3. пройти через вещество не поглощенными и не рассеянными.

Чтобы вещество абсорбировало электромагнитное излучение необходимо, чтобы энергия кванта была равна разнице между соседними энергетическими состояниями электронов.



Энергия кванта:

Радиодиапазона:  $< hv$  – не поглощается.

Видимого и ультрафиолетового Диапазона.....поглощается полностью.

Рентгеновского:  $> hv$

**Энергия кванта рентгеновского излучения выше разности энергий соседних уровней электронов валентных слоев атомов. Следовательно, такие кванты не поглощаются валентными электронами с переходом последних в более высокоэнергетическое состояние. При их взаимодействии с электронными оболочками атомов происходит:**

**Фотопоглощение (фотоэффект);**

**Рассеяние**

Фотопоглощение: выбивание квантом ЭМИ электрона из вещества (вспомним формулу Эйнштейна:  $h\nu = A\nu + mv_{\max}^2/2$ .)

## • Рассеяние фотонов на электронах:

- Когерентное – без изменения длины волны.
- Комptonовское – с изменением длины волны.
- Следовательно, сильнее будут поглощать и рассеивать рентгеновское излучение те ткани, в состав которых входят элементы, наиболее эффективно рассеивающие рентгеновские кванты, а также имеющие низкий потенциал ионизации. Более плотные ткани также будут более эффективно поглощать и рассеивать.

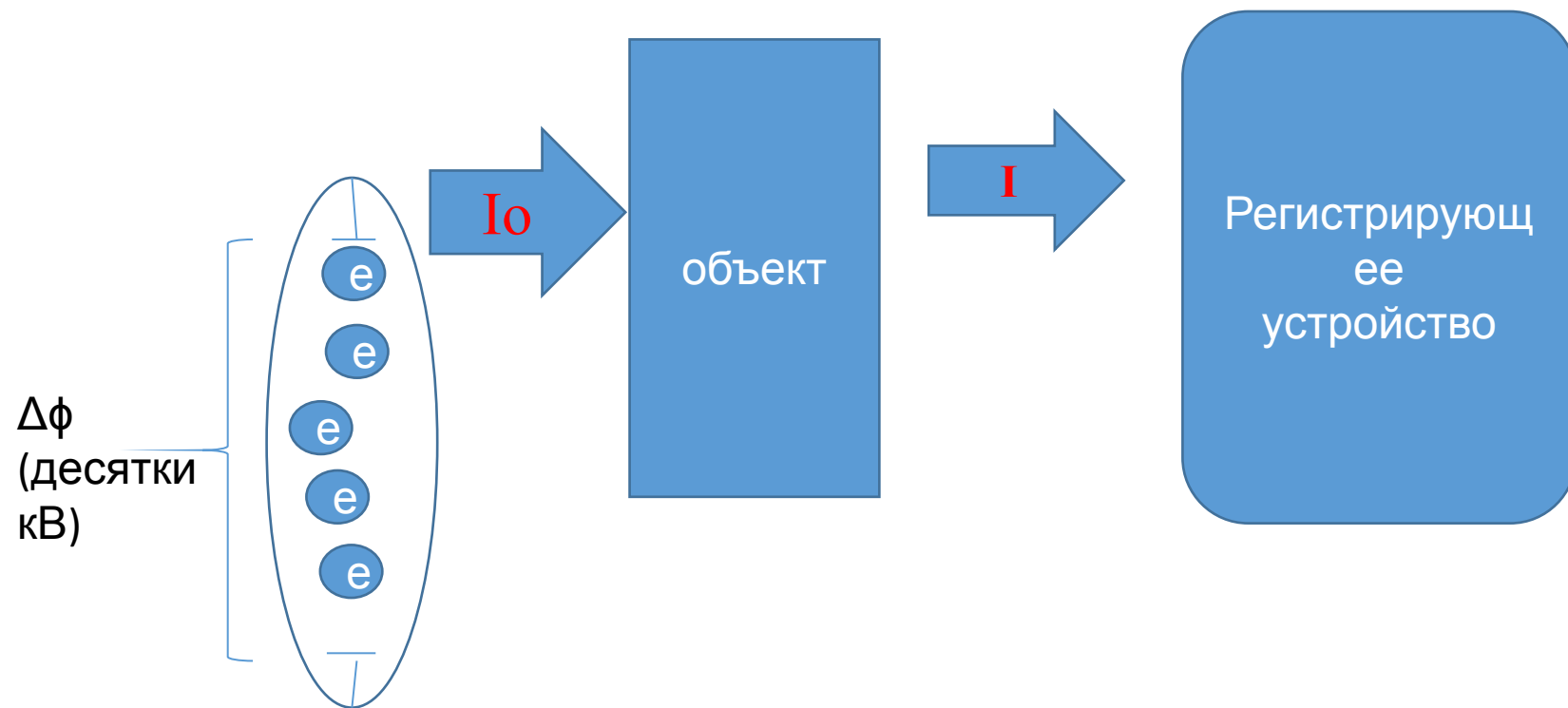
- При равной толщине слоя излучение сильнее всего поглощается (рассеивается) в костной ткани. Почти вдвое слабее оно задерживается в паренхиматозных органах, мышцах, жидких средах организма. Еще меньше поглощается оно в жировой клетчатке. И, наконец, весьма мало рентгеновское излучение задерживается газами (воздух в легких и желудке, газ в кишечнике).
- Чем сильнее поглощает (рассеивает) исследуемый орган излучение, тем интенсивнее тень, которую оно отбрасывает на рентгеновский флуоресцентный экран и наоборот: чем больше лучей пройдет через орган, тем слабее его тень на экране.



**По закону Рэля**, интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна его длине.  $I=1/\lambda^4$ . То есть коротковолновый свет рассеивается эффективнее длинноволнового.

В медицине применяется рентгеновское излучение с длиной волны  $5,0 \bullet 10^{-12} - 2,5 \bullet 10^{-10}$  м, то есть  $5,0 \bullet 10^{-3} - 2,5 \bullet 10^{-1}$  нм. Размеры атомов, слагающих живые ткани: С- $7,7 \bullet 10^{-2}$ ; О- $6,6 \bullet 10^{-2}$ ; Р- $1,3 \bullet 10^{-1}$  нм. То есть длины волн сопоставимы с размерами атомов.

# Принципиальная схема рентгеновского исследования.



$$I = I_0 e^{-(\chi + \chi')l}$$

**Достоинство рентгена:  
высокая проникающая  
способность.**

**Недостатки:**

**Слабая поглощающая способность мягких тканей,  
сложенных из легких элементов;**

**Токсичность.**

# Токсичность рентгеновского воздействия, механизм токсичности.

- В основе токсичности рентгеновского излучения лежит тот факт, что рентгеновский квант высокоэнергетичен, способен выбивать электроны из вещества, образуя свободные радикалы. Но особенно значительно то, что рентгеновское излучение вызывает так называемый фотолиз воды.
- $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$
- Отрицательно заряженный электрон присоединяется к другой нейтральной молекуле воды, придавая ей отрицательный заряд:
  - $\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^-$
- Заряженные молекулы воды крайне нестойки и претерпевают дальнейшие изменения:
  - $\text{H}_2\text{O}^+ \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}\bullet$ , а  $\text{H}_2\text{O}^- \rightarrow \text{H}\bullet + \text{OH}^-$ .
- $\text{OH}\bullet$  - гидроксил-радикал обладает крайне высокой окислительной активностью.

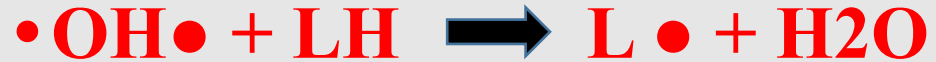


# Токсичность рентгеновского воздействия, механизм токсичности.

- **ОН● окисляет аминокислоты белков:**

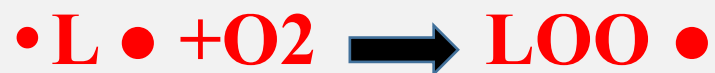


- **ОН● окисляет липиды:**



# Токсичность рентгеновского воздействия, механизм токсичности.

• В присутствии кислорода токсичность увеличивается:



разветвление цепи

обрыв цепи

# Токсичность рентгеновского воздействия, механизм токсичности.

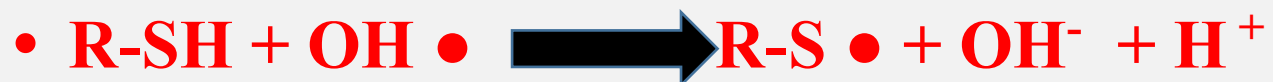


- Продукты взаимодействия липидных радикалов альдегидной и кетонной природы также являются токсичными:
- нарушают проницаемость клеточных мембран.

# Токсичность рентгеновского воздействия, механизм токсичности.

- $L \bullet$ ,  $LO \bullet$ ,  $LOO \bullet$ ,  $OH \bullet$

- Эти радикалы обладают высоким окислительным потенциалом. Очевидно, что прежде всего будут окислены те соединения, которые обладают минимальным окислительным и максимальным восстановительным потенциалом. В живых тканях такими являются соединения, содержащие SH – группы.



- По такому механизму инактивируются ферменты, структурные белки.

-

# **Токсичность рентгеновского воздействия, механизм токсичности.**

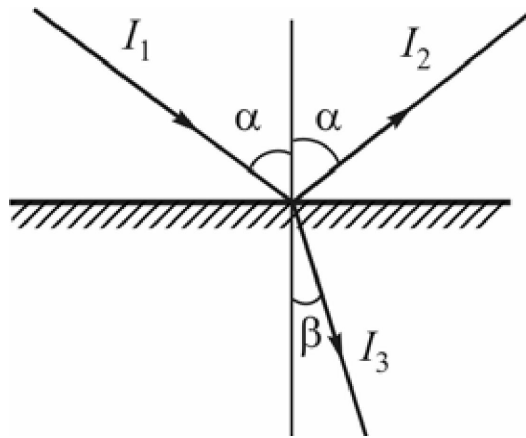
- Пути защиты от радиационного поражения:
- 1) снизить содержание кислорода;
- 2) предохранить SH – группы.

# Если заменить ЭМИ на звуковые волны.

## Ультразвук

- Звук распространяется в средах в виде чередующихся зон сжатия и расширения вещества. Звуковые волны, в том числе и ультразвуковые, характеризуются периодом колебания — временем, за которое молекула (частица) совершает одно полное колебание; частотой — числом колебаний в единицу времени; длиной — расстоянием между точками одной фазы и скоростью распространения, которая зависит главным образом от упругости и плотности среды.

При падении звуковой волны, распространяющейся в воздухе, на границу раздела двух сред часть ее энергии переходит в энергию отраженной волны, а часть проникает в другую среду. В этой среде начинают распространяться звуковые волны. Энергия отраженной волны зависит от того, насколько ли отличаются акустические сопротивления ( $R=\rho v$ ) рассматриваемых сред, на границу которых падают звуковые волны.



Рассмотрим случай, когда на границу раздела двух сред падает звуковая волна, интенсивность которой  $I_1$  под углом  $\alpha$  к нормали (рис. 11.9). Волна интенсивностью  $I_2$  отразится от границы раздела под тем же углом  $\alpha$ . Одновременно в другой среде будет распространяться волна интенсивностью  $I_3$ . Проникая в другую среду, где скорость звука не такая, как в первой среде, волна отклоняется от своего первоначального направления. Смена направления распространения звуковых волн при переходе из одной среды в другую легко объяснить, пользуясь принципом Гюйгенса. Отношение  $I_3/I_1 = \beta$  называется *коэффициентом проникновения*, который зависит от отношения акустических сопротивлений сред. Зависимость  $\beta$  от акустических сопротивлений сред при нормальном падении волны выражается формулой:

$\beta = 2R_2 / (R_2 + R_1)$ , где  $R_1$  и  $R_2$  – акустические сопротивления первой и второй среды.

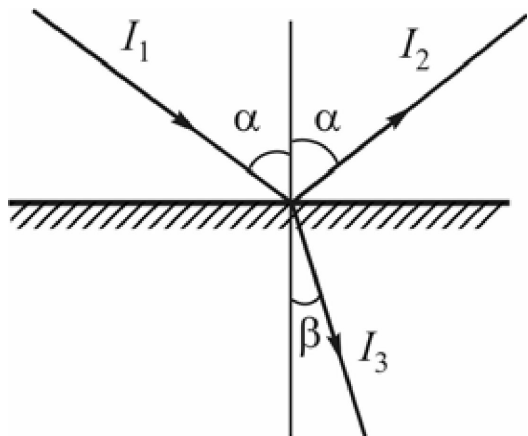
Интенсивность волны, отраженной от границы раздела двух сред, определяется соотношением:  $I_2 = I_1 - I_3$ . Отношение  $\rho = I_2/I_1$  называют *коэффициентом отражения*. Очевидна следующая связь между коэффициентами  $\rho$  и  $\beta$ :  $\rho = 1 - \beta$ .

В случае нормального падения звука на границу раздела двух сред коэффициент отражения определяется формулой:

$$\rho = (R_1 - R_2) / (R_1 + R_2)$$

Итак, коэффициент отражения также определяется отношением акустических сопротивлений сред. Пусть звук падает из воздуха на водную поверхность. Акустическое сопротивление воздуха —  $331 \cdot 1,29 = 427 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , воды —  $1,45 \cdot 10^6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . После расчетов получим коэффициент отражения  $\rho \approx -0,9994$ .

Таким образом, звук практически полностью отражается от водной поверхности. В воздухе при этом возникает стоячая волна. На границе раздела сред воздух—вода будет пучность звукового давления.





**Поглощение звука** — уменьшение интенсивности распространяющейся звуковой волны с расстоянием, обусловленное внутренним трением и теплопроводностью. В результате происходит необратимый переход части звуковой энергии в тепловую. У плоской звуковой волны такое ослабление звука на расстоянии  $x$  происходит по экспоненциальному закону:  $I/I_0 = e^{-\alpha x}$

, где  $I/I_0$  — отношение интенсивностей до прохождения расстояния  $x$  и после этого.

Величина  $\alpha$  носит название *коэффициента поглощения*. При  $x = 1/\alpha$  получим  $e^{-1} = 1/e$  и уменьшение интенсивности в  $e$  раз. Таким образом, коэффициент поглощения — величина, обратная расстоянию  $x$ , на котором амплитуда волны при ее распространении уменьшается в  $e$  раз.

Поглощение звука зависит от свойств среды, в которой распространяется звук, и от его частоты.

**Коэффициент поглощения  $\alpha$  обратно пропорционален квадрату длины волны или прямо пропорционален квадрату частоты звука.**

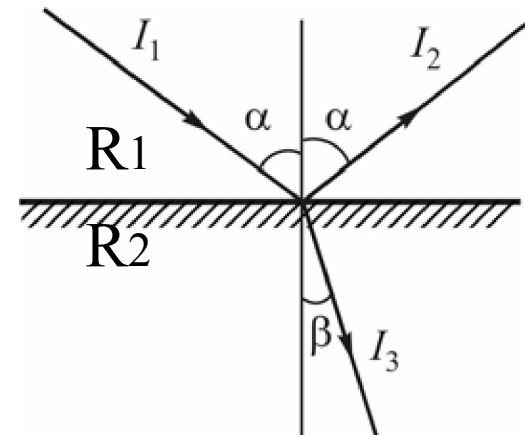
# Ультразвук

В системах медицинской ультразвуковой диагностики обычно используют частоты от 2 до 29 МГц. Учитывая скорость распространения звука в воде – 1500 м/с, длина волны будет порядка 1,0 – 0,1 мм (1000-100 мкм). То есть разрешающая способность при использовании ультразвука может достигать долей мм. Это многократно меньше, чем при рентгеновском исследовании (доли нм), но эффективность ультразвукового исследования не зависит от природы элементов, слагающих исследуемый объект.

Разрешающая способность ультразвука зависит от соотношения акустических сопротивлений сред. Она достаточна для выявления интересующих диагностических структурных особенностей.

**Но ультразвук можно использовать тогда, когда имеет место граница сред с различными акустическими**

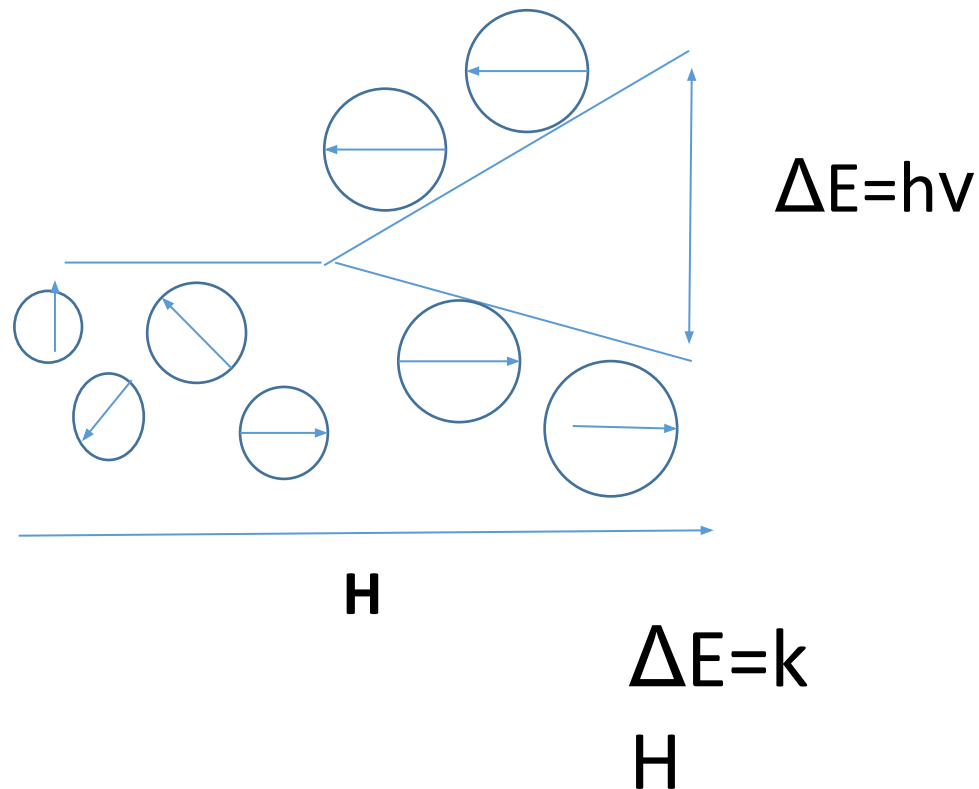
**$\lambda$  – от 0,1 до 1,0  
мм**



# Воздействие ультразвука на ткани и организм

1. Разогрев объекта;
2. На расстояниях, равных половине длины волны, могут возникать разности давлений от единиц до десятков атмосфер. Размер клеток человека в среднем: 20-40 мкм. Длина волны применяемого в диагностике УЗ: 100-1000 мкм. Более коротковолновый ультразвук может повреждать клетки.

# Магнитная резонансная томография



Если поместить протон во внешнее магнитное поле, то его магнитный момент будет либо сонаправлен, либо противоположно направлен магнитному полю, причём во втором случае его энергия будет выше. При воздействии на исследуемую область электромагнитным излучением определённой частоты часть протонов поменяют свой магнитный момент на противоположный, а потом вернуться в исходное положение. При этом системой сбора данных томографа регистрируется выделение энергии во время релаксации предварительно возбужденных протонов.

**Таким образом, МРТ позволяет контролировать состояние протонов в данной точке. Она обещает быть высокочувствительным и специфичным методом.**

Первые томографы имели индукцию магнитного поля 0,005 [Тл](#), однако качество изображений, полученных на них, было низким. (**1Тл – магнитная индукция такого однородного магнитного поля, которое действует с силой 1н на прямолинейный проводник длиной 1м с током в 1А, расположенный перпендикулярно полю.**) Современные томографы имеют мощные источники сильного магнитного поля. В качестве таких источников применяются как [электромагниты](#) (обычно до 1-3 Тл, в некоторых случаях до 9,4 Тл), так и [постоянные магниты](#) (до 0,7 Тл).