**Министерство здравоохранения Украины**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Запорожский государственный медицинский университет**

**Кафедра медицинской физики, биофизики**

**и высшей математики**

ОСНОВЫ БИОФИЗИКИ

**Оптические методы исследования биологических систем.**

**Лучевая диагностика и лучевая терапия.**

**Радиоактивность. Ионизирующие излучения.**

**Учебное пособие для студентов медицинского факультета**

**специальность «Лабораторная диагностика»**

**ЗАПОРОЖЬЕ**

**2016**

ОСНОВЫ БИОФИЗИКИ

**Оптические методы исследования биологических систем.**

**Лучевая диагностика и лучевая терапия.**

**Радиоактивность. Ионизирующие излучения.**

**Учебное пособие для студентов медицинского факультета**

**специальность «Лабораторная диагностика»**

**Запорожье, ЗГМУ, 2016**

**Кафедра медицинской физики, биофизики и высшей математики**

Авторы:

Сливко Э.И. – проф., доктор мед. наук, зав. кафедрой

Биляк Н.С.- преподаватель

Мельникова О.З. – доц., канд. биол. наук

Иванченко Е.З. – канд. биол. наук

Утверждено на заседании кафедры

медицинской физики, биофизики и высшей математики

« » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2016 г.

Протокол № \_\_\_\_\_\_\_\_от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2016 г.

Утверждено на цикловой методической комиссии

по физико-химическим дисциплинам

« » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2016 г.

Протокол № \_\_\_\_\_\_\_\_от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2016 г.

**Содержание**

Волновая оптика -------------------------------------------------------------------------------5

Оптическая микроскопия -------------------------------------------------------------------- 18

Биофизика зрения ----------------------------------------------------------------------------- 26

Тепловое излучение ----------------------------------------------------------------------------- 37

Люминесценция, ее применение в медицине --------------------------------------------- 47

Индуцированное излучение. Лазеры и их применение в медицине ------------------ 51

Ядерный магнитный резонанс. Магниторезонансная томография (МРТ) --------- 58

Рентгеновское излучение -------------------------------------------------------------------- 65

Радиоактивность. Ионизирующие излучения ------------------------------------------ 84

Дозиметрия ионизирующих излучений. Их биологическое действие.

Применение в медицине. -------------------------------------------------------------------- 96

Литература ------------------------------------------------------------------------------------107

**Вступление**

Биофизика – это наука, изучающая физические и физико-химические процессы, которые лежат в основе жизнедеятельности организма. Биофизика изучает данные процессы на разных уровнях организации – молекулярном, мембранном, клеточном, органном, организменном, популяционном.

Биофизика, исследуя физические и физико-химические процессы в организмах, начиная с молекулярного уровня, позволяет вскрыть механизмы физиологических процессов и объяснить их причины. Поэтому изучение биофизики студентами медицинских вузов создает базис для последующего усвоения ими физиологии и интегрирующихся с нею дисциплин. При этом биофизика способствует формированию мышления будущего врача относительно процессов жизнедеятельности организма в норме и при паталогии.

Биофизические методы исследования и физические явления, на которых основана их реализация, в настоящее время используют в медицинской практике для диагностики заболеваний человека. Примерами могут служить методы электрографии органов и тканей ЯМР-томография, ультразвуковая эхография и т.д.

С другой стороны, многие физические факторы применяют с терапевтическими целями, например, в физиотерапии (диатермия, индуктотермия, УВЧ-терапия и др.) Применение воздействия физическими факторами должно быть основано на знании их характеристик, механизмов и проявлений их действия. Это необходимо для эффективного лечения заболеваний, а так же предупреждения осложнений. В частности, изучение биофизических закономерностей действия ионизирующих излучений на организм позволило оптимизировать лечение раковых заболеваний.

Пособие изложено на русском языке что позволяет использовать учебный материал в группах отечественных и иностранных студентов с русскоязычной формой обучения

**ВОЛНОВАЯ ОПТИКА**

**Волновая природа света**

Свет обладает волновыми свойствами, поскольку он представляет собой электромагнитную волну, то есть электромагнитное поле, которое распространяющееся волнообразно в пространстве.

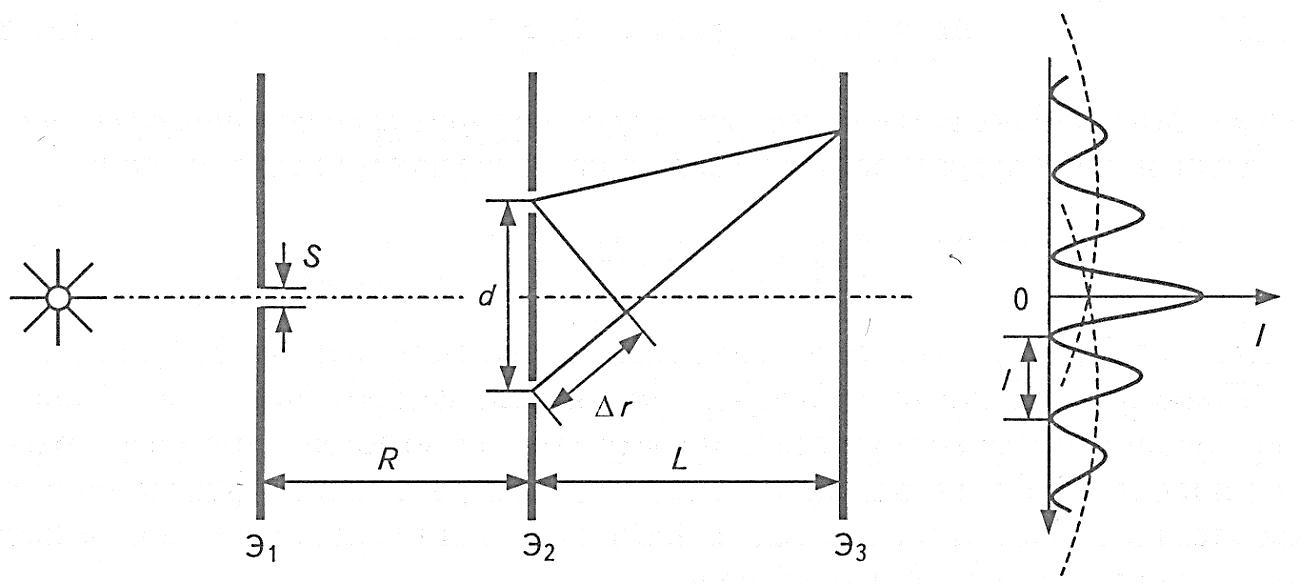
Волновую природу света подтверждают явления интерференции, дифракции, поляризации света.

**Интерференция света**

***Интерференция*** – это результат сложения когерентных волн в пространстве, в результате которого образуется устойчивая, не меняющаяся во времени картина их усиления и ослабления. ***Когерентными***называют волны, которые имеют одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз. В природе не существует когерентных источников света. Обычные источники света представляют собой совокупность огромного числа излучающих атомов. Электромагнитные волны, излучаемые ими, не согласуются друг с другом ни по частоте, ни по фазе, а значение этих параметров непрерывно меняется. Для получения когерентных волн с помощью технических средств «раздваивают» свет, исходящий от одного источника(рис. 29). Источником когерентных волн служит также лазер.

Результат интерференции световых волн в какой-либо точке зависит от того, в каких фазах они здесь встречаются и взаимодействуют. Чтобы определить, в каких фазах встретятся в данной точке интерферирующие волны, нужно учесть разность их хода *Δr*. На рис. 1 два источника когерентных волн, которые взаимодействуют в произвольно взятой точкена экране Э3. Результат наложения волн в этой точке, которая находится на расстоянии *d1* от первого источника *О1* и на расстоянии *d2* от второго источника *О2* зависит от значения ***геометрической разности хода*** волн

*Δr=d1- d2*.

**

**Рис.1** Интерференция световых волн.

Если геометрическая разность хода равна целому числу длин волн, или четному числу полуволн, волны поступают в эту точку в одной фазе колебаний и усиливают друг друга. В этой точке наблюдается ***максимум колебаний***. Условие макс*имума:*

*Δr = kλ,* где *k= 0, 1, 2*…

Если волны поступают в данную точку в противоположных фазах, они ослабляют друг друга. В этом случае здесь наблюдается***минимум колебаний****.* Это происходит тогда, когда геометрическая разность хода равна нечетному числу полуволн. Таким образом, условие минимума колебаний:

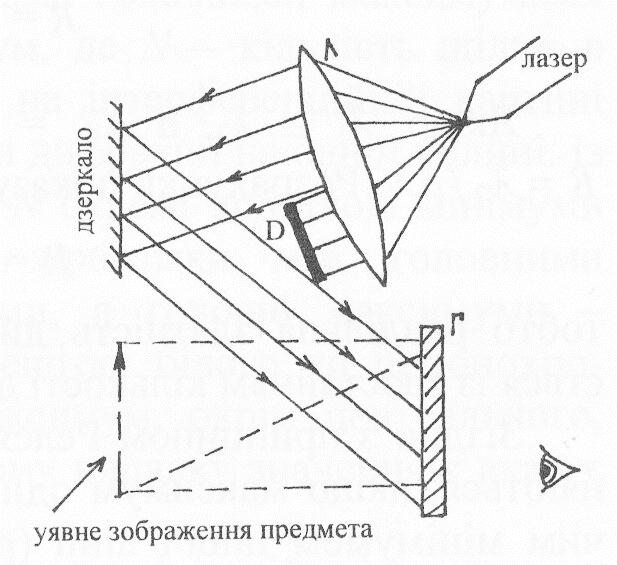
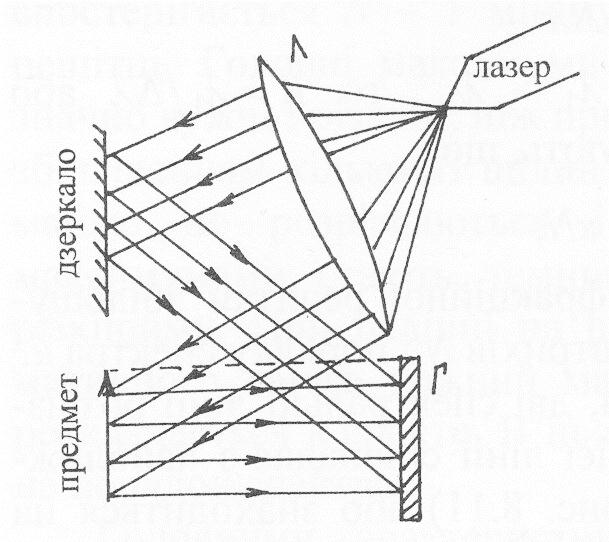
*Δr = (2k + 1)*



Пространственное распределение интенсивности света с чередующимися максимумами и минимумами называется интерференционной картиной. При наблюдении на экране видно чередование светлых и темных полос.

Явление интерференции света используется в научной аппаратуре для измерения очень малых расстояний, сопоставимых с длиной световой волны. Существует интерференционный микроскоп, который в числе других показателей позволяет очень точно измерять толщину гистологического среза.

На явлении интерференции света основан метод голографии(Рис.2).



**Рис.2** Метод получения голограммы.

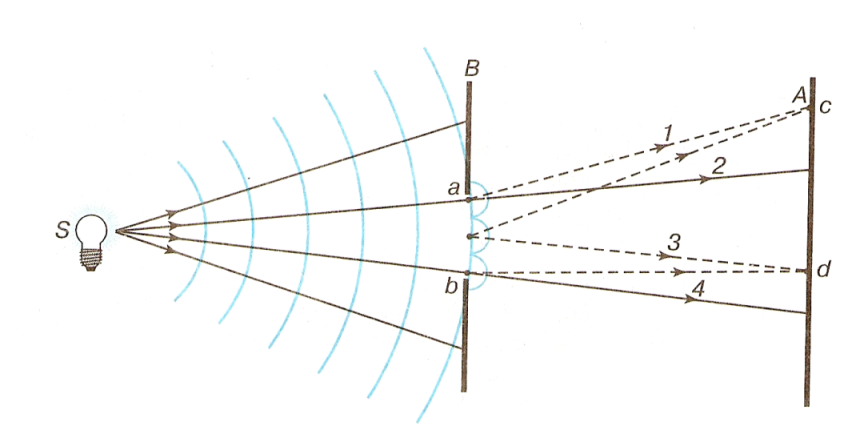
Голограмма создается двумя световыми волнами. Одна из них идет непосредственно от источника света (опорная волна), а другая отражается от предмета, который освещается этим источником (предметная волна). Эти волны являются когерентными. Зарегистрированная интерференционная картина называется голограммой. Если осветить голограмму опорной волной, возникает то же изображение, которое создавала при записи предметная волна.

Обычный фотоснимок содержит лишь информацию о распределении интенсивности света падающей на него предметной волны. Голограмма же фиксирует также распределение фаз предметной волны относительно опорной. Поэтому голограмма представляет собой объемное изображение предмета. Метод голографии находит применение в эндоскопах. Так голографический гастроскоп с помощью двух световодов подает на объект опорный и предметный пучки лазерного излучения. В результате получают объемное изображение объекта.

**Дифракция света**

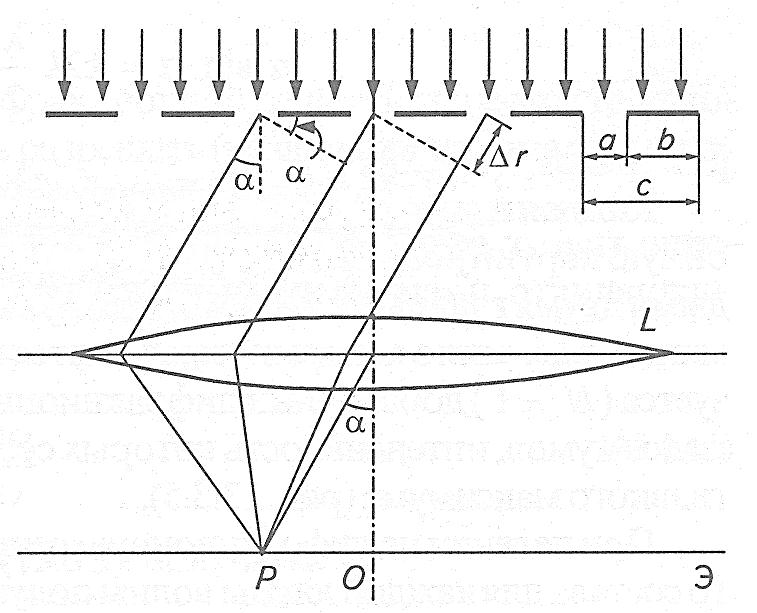
***Дифракция***– это отклонение света от прямолинейного распространения при огибании световыми волнами краев отверстий или препятствий, размеры которых соизмеримы с длиной световой волны. Происхождение дифракции света показано на рис.3

Пусть свет от источника *S* попадает на экран *А* сквозь узкую щель *аb* в экране *В*. Каждую точку участка *аb* фронта световой волны, которая заполняет щель, можно рассматривать как вторичный источник света, причем эти источники света когерентны (принцип Гюйгенса – Френеля). Волны *1* и *2, 3* и *4*, выходящие из них, интерферируют между собой. В зависимости от разности хода лучей на экране *А* в точках *с* и *d* и т.д., будут возникать максимумы и минимумы освещенности, образуя дифракционную картину.



**Рис.3** Дифракция света на точечном отверстии.

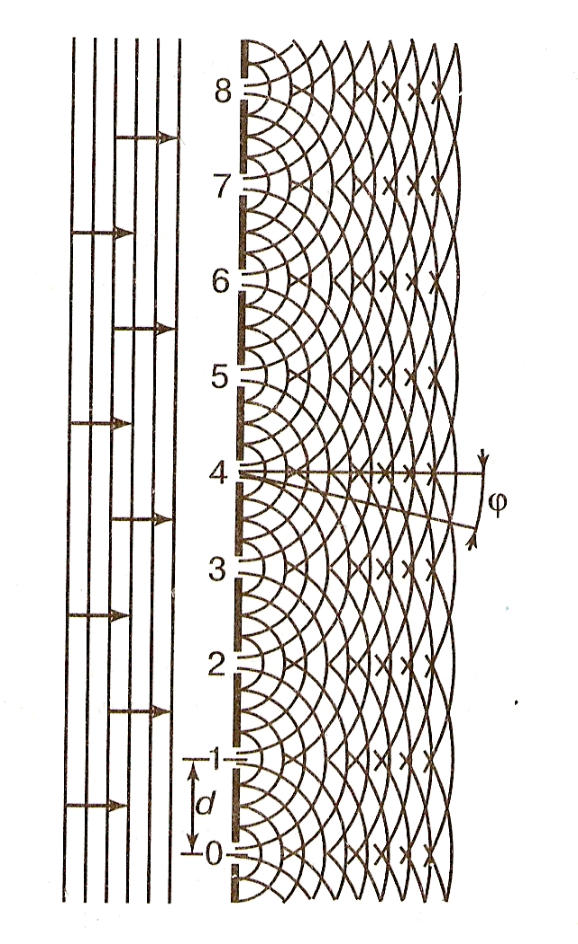
Дифракционная картина является более яркой, если свет пропустить сквозь несколько параллельных узких щелей. ***Дифракционной решеткой*** называется устройство, состоящее из многих узких параллельных щелей, разделенных непрозрачными промежутками (Рис.4).



**Рис. 4** Дифракция света на дифракционной решетке

Такие устройства изготовляют из твердого прозрачного материала. Если*а* – ширина щели, а *b*– ширина непрозрачного для света участка между двумя щелями, то величина *d = а + b* принято называть ***периодом***, или ***постоянной дифракционной решетки****.*

Если на решетку падает параллельный пучок света, то в этом случае фронт световой волны достигает щелей одновременно. Следовательно, образующиеся от щелей вторичные волны, являются когерентными (рис. 5). Каждая вторичная волна распространяется во всех направлениях. Результат наложения вторичных волн можно наблюдать, если за дифракционной решеткой поставить линзу. В фокальной плоскости линзы будут собираться все лучи, выходящие из щелей решетки.



**Рис.5** Схема дифракционной решетки.

Результат наложения зависит от геометрической разности хода вторичных волн (Рис.5). Поскольку все щели расположены на одинаковом расстоянии одна от другой, разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей, для данного угла *φ* одинаковы для всей дифракционной решетки и равны:

*Δl = dsinφ*

В направлениях, в которых разность хода двух лучей содержит целое число волн, наблюдаются ***дифракционные максимумы***, вторичные волны, интерферируя, усиливают друг друга.

Условие наблюдения дифракционного максимума:

*dsinφ = kλ,* где *k-* целое число.

В тех направлениях, в которых разность хода между лучами, выходящими из соседних щелей, содержит нечетное число полуволн, наблюдаются минимумы, т.е. вторичные волны гасят друг друга.

Условие наблюдения ***дифракционного минимума***:

*dsinφ = (2k + 1)*

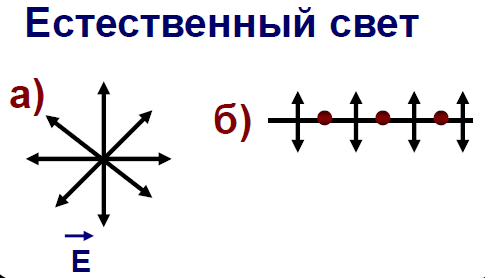


***Поскольку положение максимумов и минимумов зависит от длины волны, то дифракционная решетка разлагает белый свет в дифракционный спектр***. С помощью дифракционных решеток разлагают белый свет на спектр в приборах, предназначенных для спектрального анализа.

**Поляризация света**

Электромагнитные волны поперечные. Колебания векторов электрического и магнитного полей совершаются в направлении, перпендикулярном к направлению распространения волны. Как известно, свет излучается отдельными атомами. Колебания электрического вектора электромагнитной волны каждого из атомов в любой момент происходят в одной определенной плоскости. Но в естественном источнике света множество атомов излучают независимо друг от друга. Это приводит к тому, что в свете, идущем от такого источника излучения, представлено все множество плоскостей, в которых совершаются колебания электрического вектора. Такой свет называется естественным.

Если же колебания электрического вектора происходят не во всех плоскостях, а преимущественно в какой-то определенной плоскости, такой свет называется ***плоскополяризованным***(рис.6).





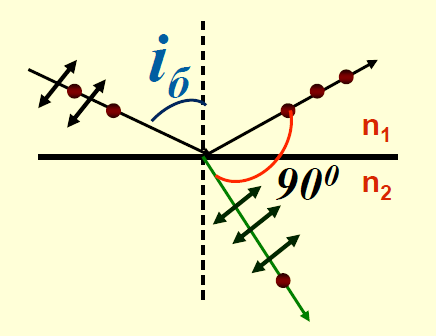
**Рис.6**  Колебания вектора напряженности электрического поля в естественном свете и в плоскополяризованном свете.

***Поляризацией света*** называют выделение из пучка естественного света таких лучей, колебания электрического вектора которых лежат в одной определенной плоскости.

Поляризацию можно наблюдать при отражении и преломлении света, а также при прохождении его через анизотропные среды (вещества, свойства которых неодинаковы в различных направлениях).

При отражении света отраженный луч будет полностью поляризован(рис.7), если тангенс угла падения ***iБ***будет равен относительному показателю преломления среды, от которой произошло отражение (***закон Брюстера***):

*tgiБ =n21*

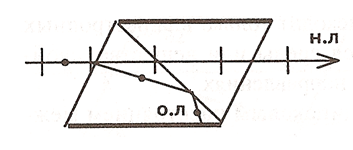


**Рис.7** Способы получения поляризованного света

Анизотропными свойствами обладают некоторые кристаллы, у которых неодинаково расстояние между атомами кристаллической решетки в разных направлениях. Это приводит к неодинаковой скорости распространения света в данных направлениях.

К таким кристаллам относится, например, исландский шпат (СаСО3).

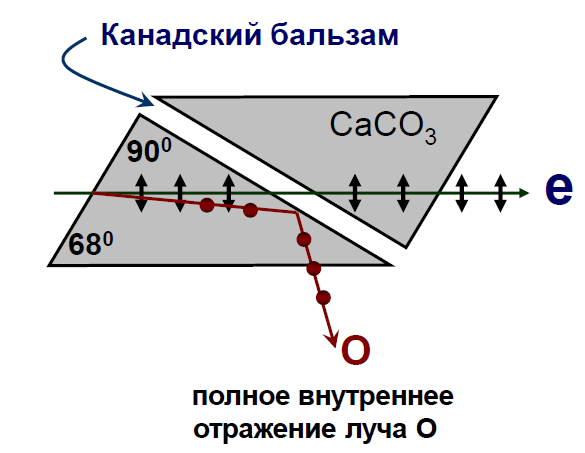
При падении естественного света на кристалл исландского шпата происходит явление двойного лучепреломления, которое заключается в разделении света на два световых пучка, идущих по разным направлениям. Один из них называется ***обыкновенным***, другой – ***необыкновенным***. Оба луча полностью поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях (рис.8).



**Рис.8.** Получение поляризованного света

Для выделения одного из поляризованных лучей используют различные системы кристаллов, например***призму Николя.***

Призма Николя – это призма из кристалла исландского шпата (CaCO3 ), разрезанного по диагонали, и склеенного канадским бальзамом(Рис.9)*.*

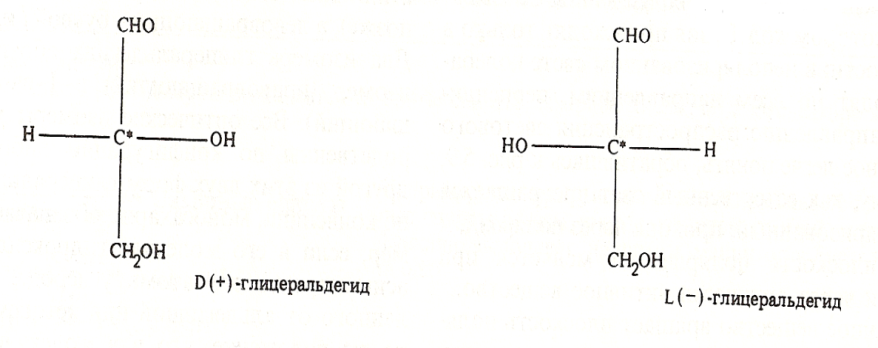


**Рис. 9** Призма Николя

Она изготовлена так, что обыкновенный луч испытывает полное внутреннее отражение, а необыкновенный, поляризованный проходит через призму. Призма Николя дает полностью поляризованный свет.

**Оптически активные вещества**

Некоторые вещества обладают ***оптической активностью***, т.е. способностью поворачивать плоскость, в которой происходят колебания проходящего через них плоскополяризованного света. Такие вещества являются стереоизомерами. Их молекулы асимметричны и могут существовать в двух формах, относящихся друг к другу, как предмет к своему зеркальному отражению. Такие структуры ни при каком перемещении в пространстве не смогут совпасть друг с другом (рис.10). Некоторые из подобных веществ оптически активны как в кристаллической форме, так и в растворах (сахара, аминокислоты и др.).



**Рис.10**Стереоизомеры глицеральдегида.

Если вещество вращает плоскость поляризации по часовой стрелке, то его называют ***правовращающим*** *(D****- изомер****)***,** а если против **– *левовращающим*** *(L-* ***изомер****).*D- и L- изомеры какого- либо одного вещества одинаковы по физическим и химическим свойствам, однако трехмерные различия существенны в биологическом отношении. Ферменты, отличающие субстраты по форме молекулы, а также белки-переносчики, транспортирующие молекулы оптически активных веществ, способны различать стереоизомеры. В природе преимущественно встречаются D- изомеры сахаров и L- изомеры аминокислоты.

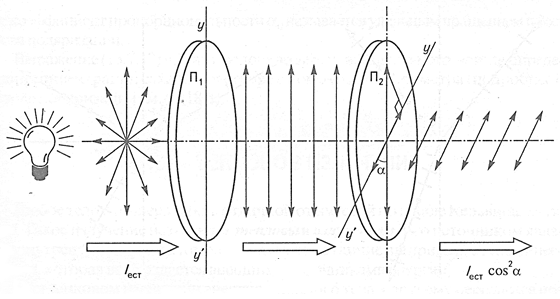
***Рацемическая смесь*** – это смесь равных количеств оптических изомеров одного и того же вещества. Такая смесь не обладает оптической активностью. При синтезе оптически активных веществ образуются рацемические смеси, которые при необходимости очищают от одного из изомеров.

**Поляриметрия.**

**Назначение, составные частии принцип работы поляриметра.**

***Поляриметрией***называется метод исследования вещества, основанный на использовании явления вращения плоскости поляризации света. Данный метод широко используется для определения концентрации оптически активных веществ в растворе, для определения чистоты лекарственных препаратов, для изучения биополимеров.

***Поляриметр***позволяет измерить угол вращения плоскости поляризации в оптически активном веществе. Двумя важнейшими частями поляриметра являются поляризатор и анализатор, каждый из которых представляет собой призму Николя (Рис. 11).



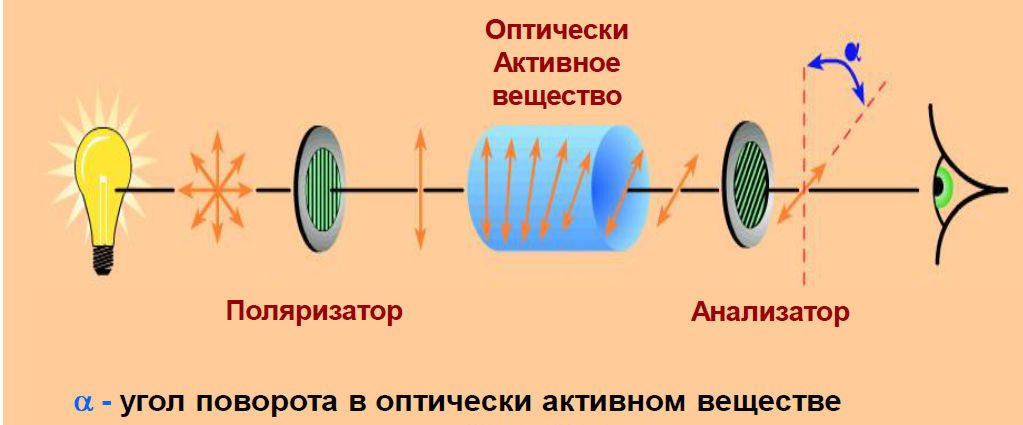
**Рис. 11** Прохождение естественного света через поляризатор и анализатор.

Необыкновенный луч, пройдя через поляризатор, можно использовать в качестве плоскополяризованного света.

Две такие призмы устанавливают одна за другой. Если плоскости колебаний поляризатора и анализатора совпадают, то свет полностью проходит через систему.Если их плоскости взаимно перпендикулярны, свет полностью не проходит. Если плоскости расположены под некоторым углом друг к другу, то свет проходит частично. Эта зависимость определяется ***законом Малюса: сила света, прошедшего через анализатор, пропорциональна квадрату косинуса угла между плоскостями колебаний анализатора и поляризатора:***

***J = J0cos2α****,* где*J0* – интенсивность света, падающего на анализатор,*J* – интенсивность света, прошедшего через анализатор;*α* – угол, между плоскостями колебаний анализатора и поляризатора.

Принципиальная схема устройства поляриметра такова (рис.12). Он включает источник естественного света, поляризатор, кювету с раствором оптически активного веществ, анализатор и окуляр.



**Рис.12** Схема устройства поляриметра.

При отсутствии оптически активного вещества в растворе направление плоскости поляризации при прохождении света через него не изменится. Если же в растворе присутствует такое вещество, например глюкоза, плоскость поляризации повернется на некоторый угол. Величина этого угла зависит от природы веществ, его концентрации в растворе и длины слоя раствора, то есть длины кюветы.

Зная величину угла вращения, можно определить концентрацию веществ в растворе в соответствии с уравнением:

***с =***  *,*



где *c* - концентрация исследуемого вещества, *α*– угол вращения плоскости поляризации в поляриметре;*[α]* – удельный угол вращения, определяемый природой вещества, *l –* длина кюветы.

**ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ**

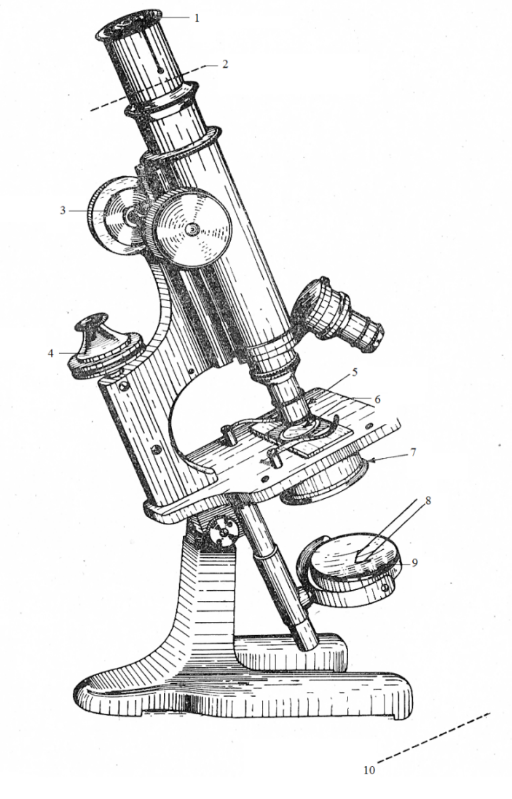
**Назначение и составные части светового микроскопа.**

Для наблюдения малых объектов, которые невозможно рассмотреть невооруженным глазом применяется микроскоп – оптическая система, состоящая в простейшем случае из короткофокусной сферической линзы (объектива) и длиннофокусной собирающей линзы (окуляра).

Микроскоп состоит из ***механической части*** (основание, микрометрический механизм, предметный столик, револьвер с объективами) и ***оптической системы***, которая также делится на две части: ***осветительную***и ***наблюдательную*.** В ***осветительную***часть входят зеркало и осветитель, конденсор с диафрагмой и съемный фильтр. В ***наблюдательную***– объектив и окуляр, соединенные в тубусе микроскопа.

Основные части светового микроскопа (микроскопа со светлым полем) показаны на рис.13.

Свет от источника попадает на ***зеркало*** и проходит через ***конденсор***и ***диафрагму****.* ***Конденсор*** можно отрегулировать так, чтобы свет фокусировался на объекте или проходил через него параллельным пучком. ***Диафрагма*** может регулировать свет, падающий на объект. ***Объектив***формирует действительное изображение объекта на расстоянии около 20 см в тубусе микроскопа. Это действительное изображение окончательно увеличивается ***окуляром***, который формирует мнимое изображение на расстоянии 25 см от глаза.

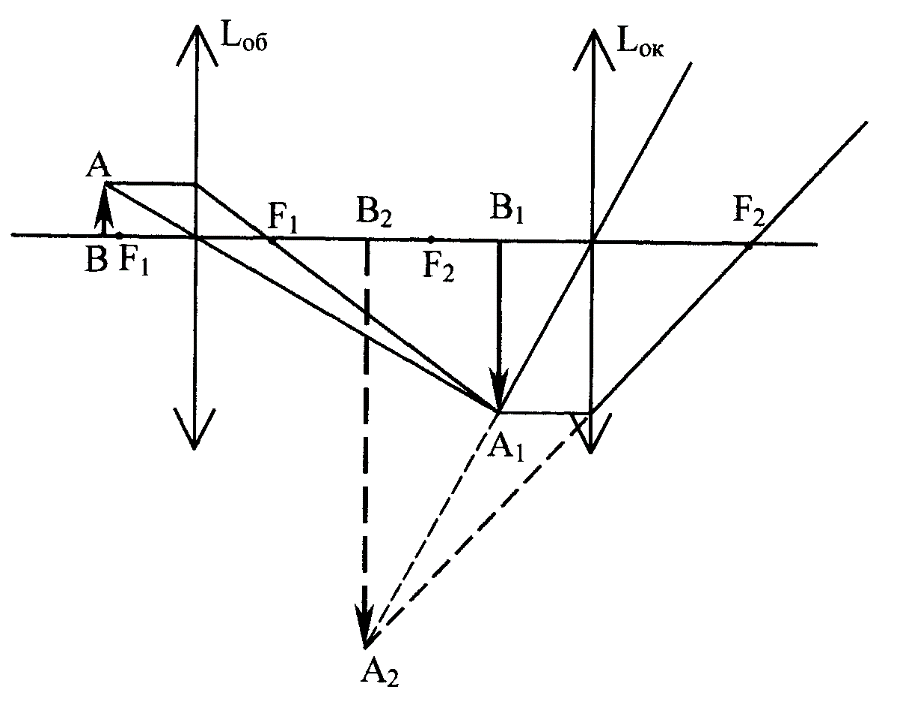


**Рис.13** Обычный световой микроскоп

1 – окуляр, 2 – действительное изображение объекта, образованное на этом расстоянии линзой объектива, 3 – штатив и винт грубой фокусировки, 4 –винт тонкой фокусировки, 5 – объектив , 6 – образец, 7 – конденсор и диафрагма, 8 – свет, 9 – зеркало, 10 – мнимое изображение объекта, образованное на этом расстоянии от объекта.

**Ход лучей в световом микроскопе**

Предмет *АВ* помещается на расстоянии немного большем фокусного расстояния объектива (Рис.14). Действительное, увеличенное и перевернутое изображение *А1В1*, даваемое объективом, получается на расстоянии от окуляра немногим меньшим фокусного расстояния окуляра. Это промежуточное изображение рассматривается окуляром как объект. Окуляр дает изображение *А2В2*мнимое, увеличенное и перевернутое (относительно предмета *АВ*) изображение, находящееся от окуляра на ***расстоянии наилучшего зрения***(для нормального глаза *d* =25 см).

****

**Рис.14**Ход лучей в световом микроскопе

**Общее и полезное увеличение микроскопа.**

Общее увеличение микроскопа можно определить, зная увеличения объектива и окуляра.

=

При этом

*= ,*

где *L* – оптическая длина тубуса (расстояние между задним фокусом

объектива и передним фокусом окуляра) ,*Fоб*– фокусное расстояние объектива.

*Кок = ,*

где *d* – расстояние наилучшего зрения (для нормального глаза *d* = 25 см), а *Fок* – фокусное расстояние окуляра.

Отсюда

*=*

**Разрешающая способность микроскопа. Предел разрешения.**

***Разрешающая способность микроскопа*** *–* это его возможность давать раздельное изображение двух близко расположенных точек объекта*.*

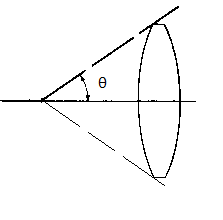
Величину ***разрешающей способности*** определяет ***предел разрешения микроскопа****.* Чем меньше ***предел разрешения***, тем более мелкие детали объекта можно рассмотреть в микроскоп, т.е. тем больше будет его ***разрешающая способность***.

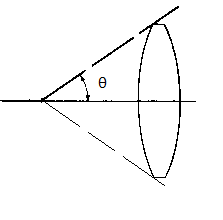
***Предел разрешения –*** это наименьшее расстояние между двумя точками предмета, когда эти точки различимы, т.е. воспринимаются как две точки.

*Z = ,*

где *Z*– предел разрешения микроскопа, *λ* – длина волны светав воздухе, *n* - показатель преломления среды между объективом линзы и изучаемым объектом, *θ*- апертурный угол.

Рассматривание мелких предметов в микроскопе можно уподобить прохождению света через дифракционную решетку. Чем меньше предмет или его деталь, тем шире должно быть отверстие объектива. Отверстие объектива определяется углом между лучами, приходящими от предмета к краям фронтальной линзы. Он называется *отверстым углом*, а половина этого угла называется ***апертурой*** (рис.15).





**Рис.15**Апертурный угол

Вычислено, что предел разрешения светового микроскопа составляет около 250 нанометров, что позволяет получить ***полезное увеличение*** *(при котором глаз различает все элементы структуры объекта, разрешимые микроскопом)* равное 400. Эта величина является ***пределом полезного увеличения*** обычного светового микроскопа. Большее увеличение не будет способствовать рассмотрению никаких дополнительных деталей объекта.

**Способы уменьшения предела разрешения.**

1. **Переход к более коротким волнам**, что осуществляется в современных *ультрафиолетовых микроскопах*. Однако это требует изготовления оптики из кварцевого стекла и флюорита, и ограничено длинами волн ***200-250 нм,*** так как большинство объектов сильно поглощают короткий ультрафиолет.

Для дальнейшего увеличения разрешающей способности микроскопа применяют *электронные микроскопы*, в которых используются волновые свойства быстрых электронов. Предел разрешения электронного микроскопа составляет около ***0,1 нм.***

1. **Введение иммерсионной среды**.

*Иммерсией* называется жидкость, которая вводится между объектом и объективом микроскопа, которая имеет показатель преломления, близкий к показателю преломления вещества, из которого изготовлена линза*.*

В качестве иммерсии используют воду (*n =1,33*), кедровое масло (*n =1,5)*. При введении иммерсии, свет от объектива до предмета проходит в оптически однородной среде. Это позволяет увеличить яркость изображения.

**Специальные методы наблюдения.**

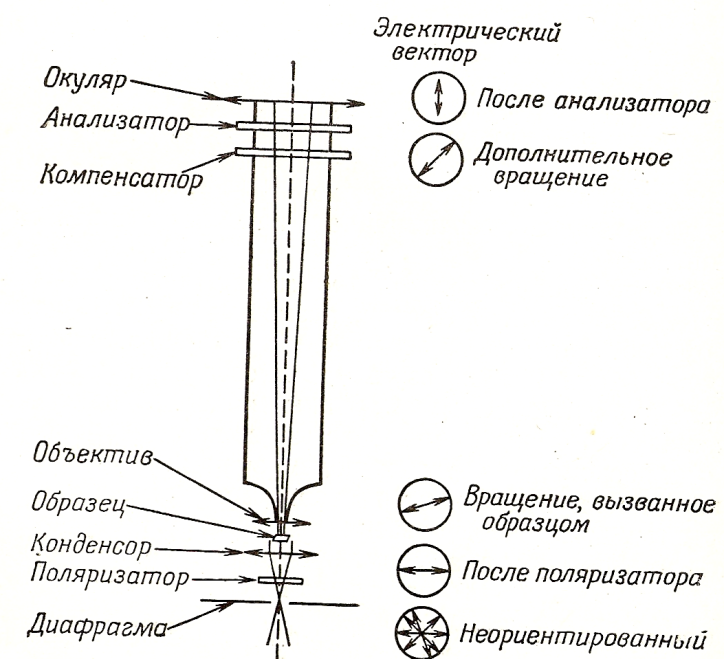
В зависимости от характера и свойств изучаемого объекта в микроскопии применяются специальные методы наблюдения.

Метод **светлого поля** в проходящем свете применяется для исследования прозрачных препаратов с включенными в них поглощающими частицами и деталями. Пучок лучей, проходя через препарат, дает равномерно освещенное поле в плоскости изображения. Если в препарате имеется поглощающий свет объект, то он частично рассеивает его, что обуславливает возникновение изображений.

Метод **темного поля** в проходящем свете применяется для получения изображений непрозрачных объектов. Пучок лучей, освещающих препарат, не попадает непосредственно в объектив. Изображение создается только светом рассеянным микрочастицами. В поле зрения на темном фоне видны изображения частиц, отличающихся от окружающей среды по показателю преломления. Метод темного поля в отраженном свете осуществляется освещением непрозрачного объекта сверху специальной системой, расположенной вокруг объектива.

Метод **фазового контраста** служит для получения изображений непрозрачных и бесцветных объектов. Метод основан на том, что показатели преломления объекта и среды различны, вследствие чего световая волна, прошедшая через объект, претерпевает изменения по фазе, приобретая «фазовый рельеф». Эти фазовые изменения преобразуются специальным фазово - контрастным устройством в изменения амплитуд, что приводит к усилению или ослаблению интенсивности света, прошедшего через объект. В результате получается видимое контрастное изображение структуры препарата, в котором распределение яркостей (амплитуд) воспроизводит указанный «фазовый рельеф».

Метод наблюдения в **поляризованных лучах** применяется в проходящем и отраженном свете для исследования под микроскопом объектов, обладающих двойным лучепреломлением. Препарат освещается поляризованным светом. Видоизмененный поляризованный свет, прошедший через препарат, изучается с помощью анализаторов и компенсаторов различного устройства (рис.16).



**Рис.16** Устройство поляризационного микроскопа.

**Электронный микроскоп**

Открытие волновых свойств электрона способствовало созданию чрезвычайно важного для научных исследований прибора – ***электронного микроскопа***.

Согласно ***гипотезе де Бройля,*** не только фотон, но и любая движущаяся материальная частица имеет как корпускулярные, так и волновые свойства и может быть охарактеризована длиной волны λ, связанной со скоростью движения*v* формулой, аналогичной для фотонов:

λ = илиλ = (1)

где *h* - постоянная Планка (6,63 ·10 -34Дж·с), *р=* импульс.

Импульс электрона *р = mv* определяется ускоряющей разностью потенциалов *U,* пройденной электроном.

*p = ,* (2)

где *е* – заряд электрона.

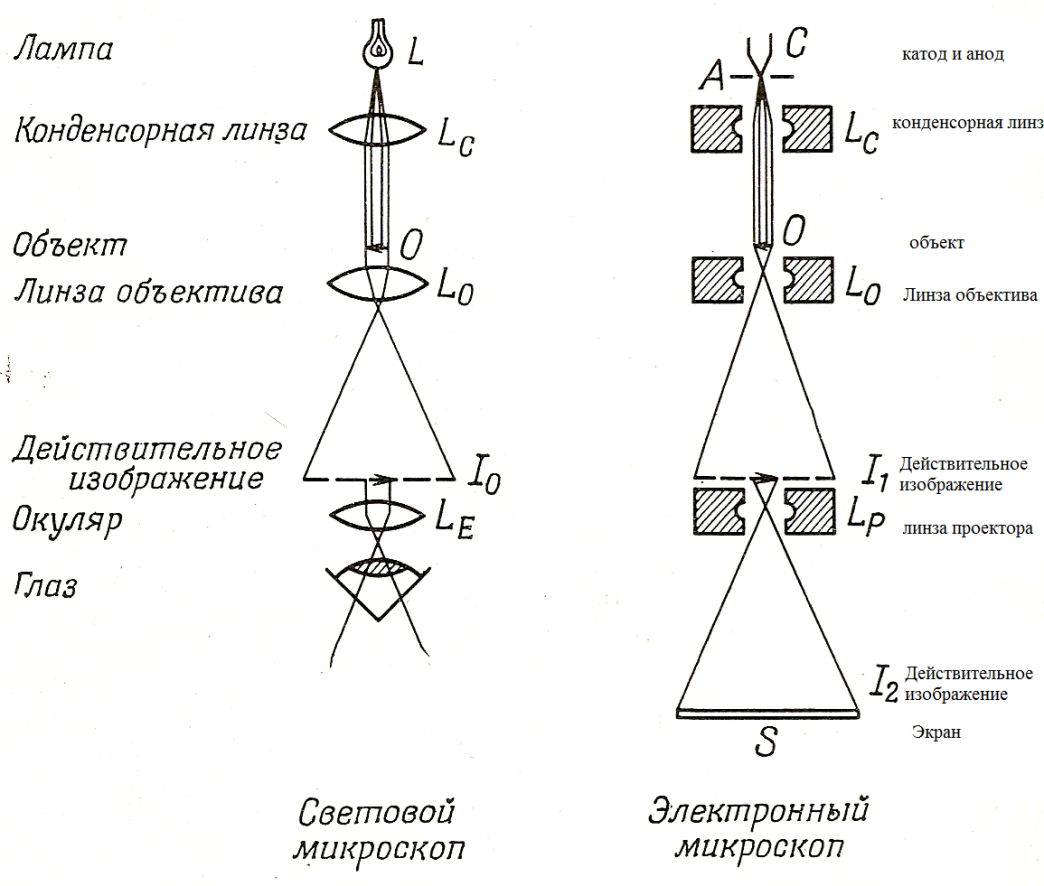
Подставляя последнее выражение в формулу (1), и внося в нее численные значения констант, получаем формулу для расчета длины волны электрона:

*λ =*  (3)

Особенность электронного микроскопа состоит в том, что он имеет значительно большую разрешающую способность, чем микроскоп со светлым полем.

Вместо световых лучей электронный микроскоп фокусирует электронные пучки. Теория действия электронного микроскопа и схема его устройства аналогичны световому (рис.17). Однако разрешение электронного микроскопа значительно выше. Это происходит потому, что длина волны электрона значительно короче длины волны фотона видимого света.

В обычном микроскопе контраст между различными элементами изображения обусловлен различным поглощением лучей в соответствующих точках объекта. В электронном микроскопе поглощения электронов в тонком объекте практически не происходит, но электроны испытывают рассеяние, т.е. меняют направление своего движения. При этом участки с большей плотностью сильнее рассеивают проходящие пучки. Различия в степени рассеяния используются для получения контрастного изображения.



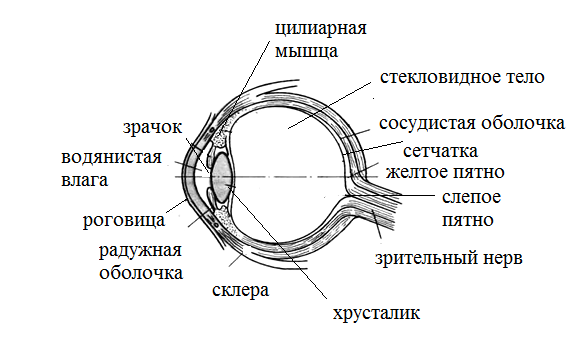
**Рис.17** Ход лучей в световом и электронном микроскопе.

**БИОФИЗИКА ЗРЕНИЯ**

**Строение глаза**

Работа глаза основана на принципах работы фотокамеры, а именно он 1) контролирует количество света, проходящее внутрь, 2) фокусирует изображения предметов внешнего мира с помощью системы линз; 3) регистрирует изображение на чувствительной поверхности; 4) перерабатывает невидимое изображение во внутренний образ видимой картины мира.

Схема строения глаза приведена на рис.18



**Рис.18** Строение глаза

**Склера** – наружная оболочка глаза. Это очень плотная капсула, содержащая коллагеновые волокна; защищает глаз от повреждений и помогает глазному яблоку сохранять свою форму.

**Роговица** – прозрачная передняя сторона склеры; действует как главная светопреломляющая структура.

**Водянистая камера** – полость, заполненная прозрачной жидкостью (водянистой влагой), которая представляет собой раствор солей и близка по оптическим свойствам к воде.

**Сосудистая оболочка** – средняя оболочка, которая пронизана сосудами, снабжающими кровью сетчатку, а также покрыта пигментными клетками, которые препятствуют отражению света от внутренних поверхностей глаза.

**Радужка** – передняя часть сосудистой оболочки. Представляет собой кольцевую мышечную диафрагму, содержащую пигмент, определяющий цвет глаз. Регулирует количество света проникающего в глаз.

**Зрачок** – отверстие в радужке, через которое свет проходит в глаз.

**Цилиарная мышца** – кольцо, состоящее из гладких мышечных волокон, которые изменяют форму хрусталика при аккомодации.

**Хрусталик** – прозрачное двояковыпуклое образование, которое обеспечивает тонкую фокусировку лучей света на сетчатке и разделяет камеры, заполненные водянистой влагой и стекловидным телом.

**Стекловидное тело** – прозрачное полужидкое вещество, поддерживающее форму глаза.

**Сетчатка** – внутренняя оболочка, содержащая фоторецепторные клетки (палочки и колбочки).

**Центральная ямка (желтое пятно)** – наиболее чувствительный участок сетчатки, содержащий только колбочки. В этом участке наиболее точно фокусируются лучи света.

**Зрительный нерв** – пучок нервных волокон, проводящих импульсы от сетчатки в мозг.

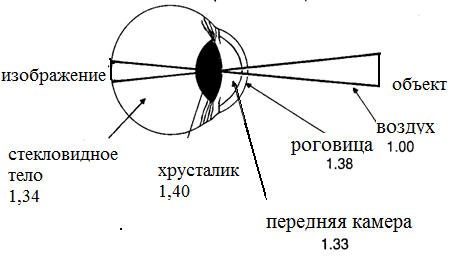
**Слепое пятно** – место на сетчатке, где из глаза выходит зрительный нерв, оно не содержит ни палочек, ни колбочек и поэтому не обладает светочувствительностью.

**Преломление в глазе**

Глаз является оптическим эквивалентом обычной фотографической камеры. В нем есть система линз, апертурная система (зрачок) и сетчатка, на которой фиксируется изображение.

Система линз глаза сформирована из четырех преломляющих сред: роговицы, водяной камеры, хрусталика, стеклянного тела. Показатели их преломления не имеют значительных отличий. Они составляют *1,38* для роговицы, *1,33* для водяной камеры, *1,40* для хрусталика и *1,34* для стекловидного тела (рис. 19).

В этих четырех преломляющих поверхностях происходит преломление света: 1) между воздухом и передней поверхностью роговицы; 2) между задней поверхностью роговицы и водяной камерой; 3) между водяным камерой и передней поверхностью хрусталика; 4) между задней поверхностью хрусталика и стекловидным телом.



**Рис. 19** Глаз как система преломляющих сред (числа являются показателями преломления)

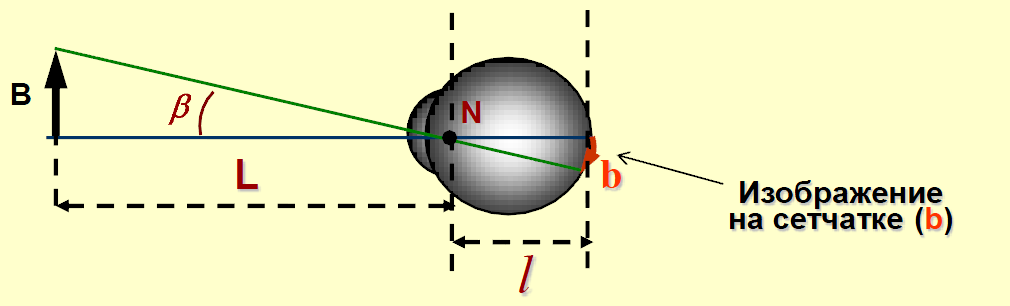
Наиболее сильное преломление происходит на передней поверхности роговицы. Роговица имеет небольшой радиус кривизны, и показатель преломления роговицы в наибольшей степени отличается от показателя преломления воздуха.

Преломляющая способность хрусталика меньше, чем у роговицы. Она составляет около одной трети общей преломляющей мощности систем линз глаза. Причина этого различия в том, что жидкости, окружающие хрусталик, имеют показатели преломления, которые существенно не отличаются от показателя преломления хрусталика. Если хрусталик удалить из глаза, окруженный воздухом он имеет показатель преломления почти в шесть раз больший, чем в глазе.

Хрусталик выполняет очень важную функцию. Его кривизна может изменяться, что обеспечивает тонкое фокусирование на объекты, расположенные на различных расстояниях от глаза.

**Редуцированный глаз**

Редуцированный глаз является упрощенной моделью реального глаза (рис.20). Он схематически представляет оптическую систему нормального глаза человека. Редуцированный глаз представлен единственной линзой (одной преломляющей средой). В редуцированном глазе все преломляющие поверхности реального глаза суммируются алгебраически, формируя единственную преломляющую поверхность.



**Рис.20.** Построение изображения на сетчатке редуцированного глаза.

Редуцированный глаз позволяет провести простые вычисления. Общая преломляющая способность сред составляет почти *59диоптрий*, когда линза аккомодирована на зрение отдаленных объектов. Центральная точка Nредуцированного глаза лежит впереди сетчатки на *l*=*16,7миллиметров*. Луч из любой точки объекта приходит в редуцированный глаз и проходит через центральную точку без преломления. Так же, как стеклянная линза формирует изображение на листе бумаги, система линз глаза образует изображение на сетчатке. Это уменьшенное, действительное, перевернутое изображение объекта. Головной мозг формирует восприятие объекта в прямом положении и в реальном размере.

**Аккомодация**

Для ясного видения объекта необходимо, чтобы после преломления лучей, изображение формировалось на сетчатке. Изменение преломляющей силы глаза для фокусировки близких и отдаленных объектов называется ***аккомодацией*.**

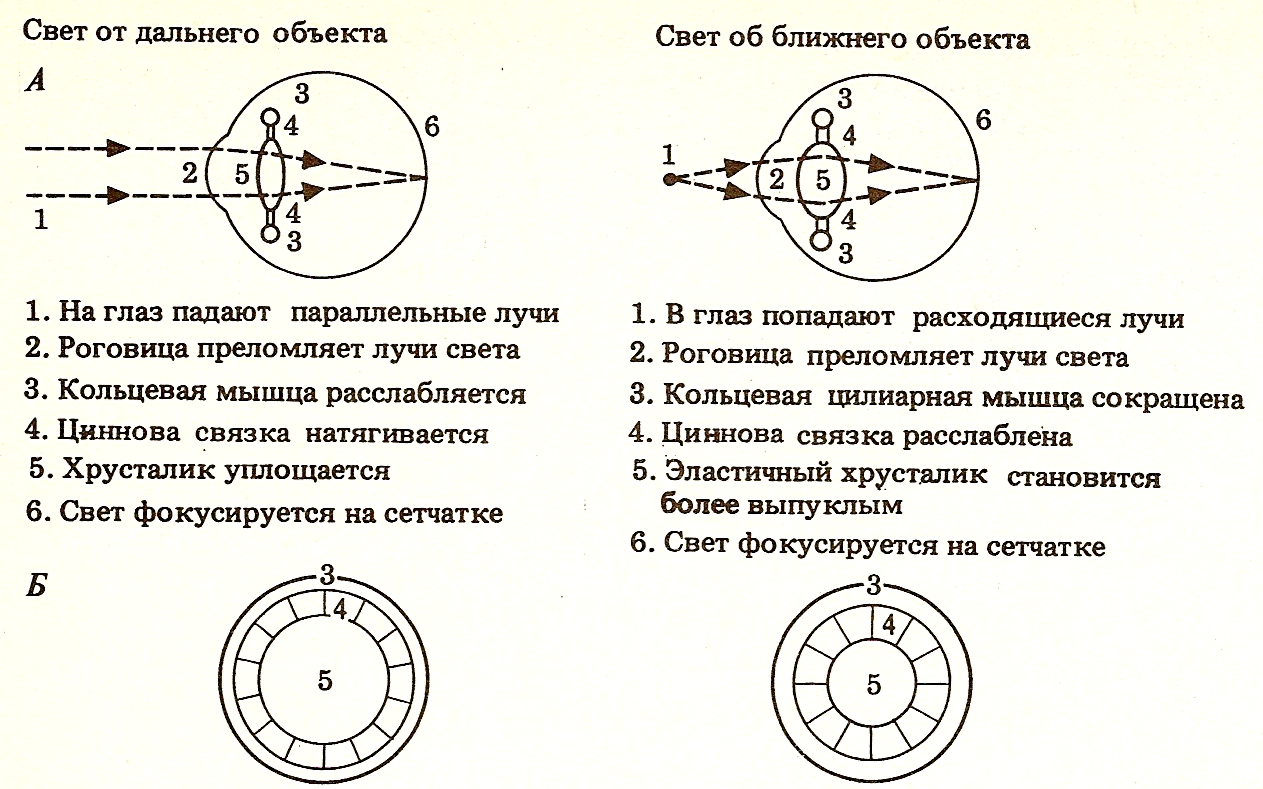
Наиболее отдаленная точка, на которую фокусируется глаз, называется ***дальней точкой*** видения - бесконечность. В этом случае параллельные лучи, входящие в глаз, фокусируются на сетчатку.

Объект виден в деталях, когда он установлен как можно ближе к глазу. Минимальное расстояние четкого видения – около 7 *см* при нормальном зрении. В этом случае аппарат аккомодации находится в максимально напряжённом состоянии.

Точка, расположенная на расстоянии 25*см*, называется ***точкойнаилучшего видения***, поскольку в данном случае различимы все детали рассматриваемого объекта без максимального напряжения аппарата аккомодации, вследствие чего глаз может длительное время не утомляться.

Если глаз сфокусирован на объект в ***ближней точке***, он должен отрегулировать свое фокусное расстояние и увеличить преломляющую силу. Этот процесс происходит путем изменения формы хрусталика. Когда объект подносят ближе к глазу, форма хрусталика изменяется от формы умеренно выпуклой линзы в форму выпуклой линзы.

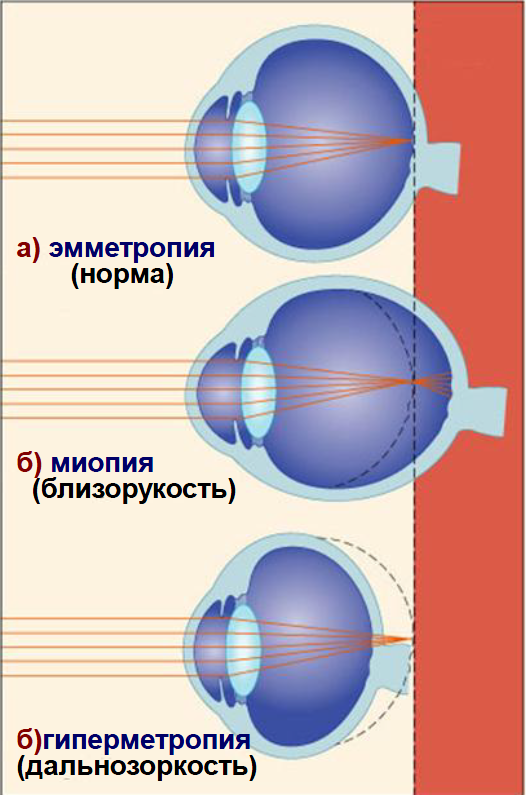
Хрусталик образован волокнистым желеобразным веществом. Он окружен прочной гибкой капсулой и имеет специальные связки, идущие от края линзы к внешней поверхности глазного яблока. Эти связки постоянно напряжены. Форма хрусталика изменяется ***цилиарной мышцей***. Сокращение этой мышцы уменьшает натяжение капсулы хрусталика, он становится более выпуклым и из-за естественной эластичности капсулы принимает сферическую форму. И наоборот, когда цилиарная мышца полностью расслаблена, преломляющая сила линзы наиболее слабая. С другой стороны, когда цилиарная мышца находится в максимально сокращенном состоянии, преломляющая сила линзы становится наибольшей. Этот процесс управляется центральной нервной системой (рис.21).



**Рис.21**Аккомодация в нормальном глазе

**Ошибки преломления.**

***Эмметропия***. Считается, что глаз будет нормальным (эмметропичным), если параллельные световые лучи с отдаленных объектов фокусируются в сетчатку при полном расслаблении цилиарной мышцы. Такой глаз видит ясно отдаленные объекты, когда расслаблена цилиарная мышца, то есть без аккомодации. При фокусировании объектов ближнего диапазона расстояний в глазе сокращается цилиарная мышца, обеспечивая подходящую степень аккомодации.

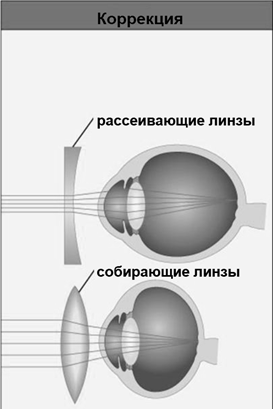


**Рис. 22** Преломление параллельных световых лучей в глазе человека.

***Гиперметропия (гиперопия).*** Гиперметропия также известна как ***дальнозоркость.*** Она обусловлена либо малым размером глазного яблока, либо слабой преломляющей силой системы линз глаза. В таких условиях параллельные световые лучи не преломляются системой линз глаза достаточно для того, чтобы фокус (соответственно изображение) находился на сетчатке. Для преодоления этой аномалии цилиарная мышца должна сократиться, увеличив оптическую силу глаза. Следовательно, дальнозоркий человек способен фокусировать отдаленные объекты на сетчатке, используя механизм аккомодации. Для видения более близких объектов мощности аккомодации не хватает.

При небольшом резерве аккомодации дальнозоркий человек часто не способный аккомодировать глаз достаточно для фокусирования не только близких, но даже отдаленных объектов.

Для коррекции дальнозоркости необходимо увеличить преломляющую силу глаза. Для этого используют выпуклые линзы, которые добавляют преломляющую силу к силе оптической системе глаза (рис. 23)



**Рис. 23** Коррекция близорукости и дальнозоркости

***Миопия***. При миопии (или ***близорукости***) параллельные световые лучи с отдаленных объектов фокусируются перед сетчаткой, несмотря на то, что цилиарная мышца полностью расслаблена. Это бывает из-за слишком длинного глазного яблока, а также вследствие слишком высокой преломляющей силы оптической системы глаза.

Нет механизма, с помощью которого глаз мог бы уменьшить преломляющую силу своего хрусталика менее, чем возможно при полном расслаблении цилиарной мышцы. Процесс аккомодации приводит к ухудшению видения. Следовательно, человек с миопией не может фокусировать отдаленные объекты на сетчатку. Изображение может сфокусироваться только, если объект находится достаточно близко от глаза. Следовательно, у человека с миопией ограничена дальняя точка ясного видения.

Известно, что лучи, проходящие через вогнутую линзу, преломляются. Если преломляющая сила глаза слишком велика, как при миопии, иногда она может быть нейтрализована вогнутой линзой (рис.23). Используя лазерную технику, можно также откорректировать слишком большую выпуклость роговицы.

***Астигматизм***. В астигматическом глазе преломляющая поверхность роговицы является не сферической, а эллипсоидальной. Это происходит из-за слишком большой кривизны роговицы в одной из своих плоскостей. В результате световые лучи, проходящие через роговицу в одной плоскости, не преломляются так же сильно, как лучи, проходящие через нее в другой плоскости. Они не собираются в общем фокусе. Астигматизм не может компенсироваться глазом с помощью аккомодации, но корректировать его можно с помощью цилиндрической линзы, которая исправит ошибку в одной из плоскостей.

**Коррекция оптических аномалий контактными линзами**

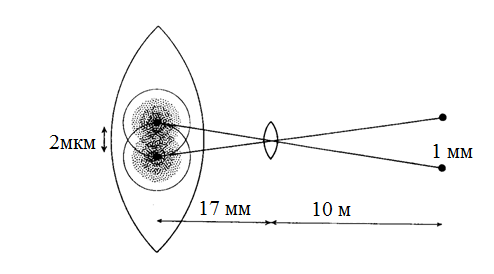
Недавно для коррекции различных аномалий зрения стали использовать пластические контактные линзы. Они устанавливаются против передней поверхности роговицы и фиксируются тонким слоем слез, который заполняет пространство между контактной линзой и роговицей. Жесткие контактные линзы делают из жесткой пластмассы. Их размеры составляют 1*мм* в толщину и 1*см* в диаметре. Также существуют мягкие контактные линзы.

Контактные линзы заменяют роговицу как внешнюю сторону глаза и почти полностью аннулируют долю преломляющей способности глаза, которая происходит в норме на передней поверхности роговицы. При использовании контактных линз передняя поверхность роговицы не играет значимой роли в преломлении глаза. Основную роль начинает выполнять передняя поверхность контактной линзы. Особенно важно это у лиц с ненормально сформированной роговицей.

Другой особенностью контактных линз является то, что, поворачиваясь вместе с глазом, они дают более широкую область ясного видения, чем это делают обычные очки. Они являются также более удобными в использовании для художников, спортсменов и т.п.

**Острота зрения**

Способность человеческого глаза ясно видеть мелкие детали ограничена. Нормальный глаз может различать различные точечные источники света, расположенные на расстоянии 25 секунд дуги. То есть, когда световые лучи с двух отдельных точек попадают в глаз под углом более 25 секунд между ними, они видны в качестве двух точек. Лучи с меньшим угловым разделением не могут быть различены. Это означает, что человек с нормальной остротой зрения может различить две точки света на расстоянии 10 метров, если они друг от друга находятся на расстоянии 2 миллиметра (Рис.24).



**Рис. 24** Максимальная острота зрения для двух точечных источников света.

Наличие этого предела предусмотрено структурой сетчатки. Средний диаметр рецепторов в сетчатке составляет почти 1,5 микрометров. Человек может нормально различить две отдельные точки, если в сетчатке расстояние между ними составляет 2 микрометра. Таким образом, чтобы различать два небольших объекта, они должны возбудить две разных колбочки. По крайней мере, между ними один будет находиться 1 невозбужденная колбочка.

**ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

**Понятие теплового излучения**

***Тепловое излучение*** – это электромагнитное излучение тел, возникающее за счет их внутренней энергии. Последняя, как известно, является суммой кинетической и потенциальной энергии всех частиц вещества, образующих данное тело. При хаотическом движении частиц, то есть атомов и молекул, происходят их соударения. Результатом этого является переход частиц в возбужденное состояние. В дальнейшем избыток их энергии излучается в виде электромагнитной волны, которая и представляет собой тепловое излучение.

При температурах, близких к температуре тела человека, основным источником энергии теплового излучения является колебательное и вращательное движение молекул в составе вещества. Тепловое излучение тела человека относится к инфракрасному диапазону электромагнитных волн. Инфракрасное излучение представляет собой электромагнитные волны длиной от 760*нм* до 2*мм*. Диапазон инфракрасного излучения делят на области: ближнюю (750*нм* – 2.500*нм*), среднюю (2.500*нм* – 50.000*нм*) и дальнюю (50.000*нм* – 2.000.000*нм*).

Тепловое излучение увеличивается с ростом температуры. Однако оно испускается и холодными телами. Разница в том, что при понижении температуры уменьшается интенсивность излучения и меняется его спектральный состав.

В изолированной системе тепловое излучение стремится к равновесному состоянию. Если какое-либо тело будет излучать больше энергии, чем поглощает, его температура упадет, а интенсивность теплового излучения уменьшится вплоть до возврата к состоянию равновесия.

**Характеристики теплового излучения**

***Энергетическая светимость***- это количество энергии теплового излучения во всем диапазоне его длин волн, которое излучается телом во всех направлениях с единицы площади поверхности за единицу времени: 

Величина энергетической светимости зависит от природы тела, его температуры и состояния поверхности.

***Спектральная плотность энергетической светимости***

Тепловое излучение представляет собой совокупность волн разной длины, которым соответствует неодинаковая энергетическая светимость. Величина энергетической светимости*dR*при данной температуре, которая приходится на определенный интервал длин волн излучения, пропорциональна ширине этого интервала *dλ* и ***спектральной плотности энергетической светимостиrλ***(испускательной способности): *dR = rλdλ*,откуда

*rλ = dR/dλ*

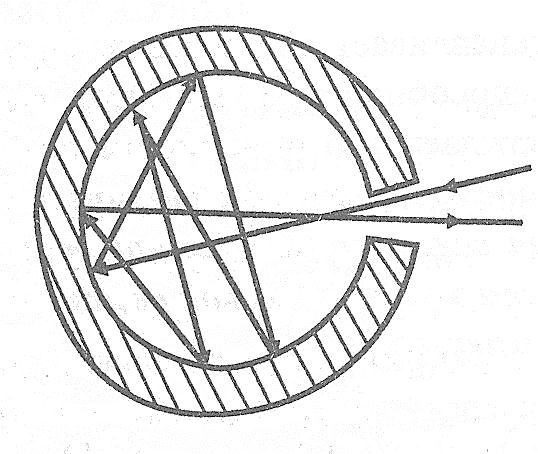
***Спектр излучения*** – это зависимость спектральной плотности энергетической светимости от длины волны. Его можно представить на графике, если отложить длину волны по оси абсцисс, а спектральную плотность энергетической светимости по оси ординат.

***Коэффициент поглощения.***

Тела одновременно излучают и поглощают энергию излучения. Отношение величины поглощаемой телом энергии *Фпогл* к энергии, падающей на него *Фпад*, называется ***коэффициентом поглощенияα***(поглощательной способностью):

*α =* .

Монохроматическим коэффициентом поглощения называется коэффициент поглощения для определенной длины волны излучения. Очевидно, что величина коэффициента поглощения разных тел может принимать значение от 0 до 1. Тело с коэффициентом поглощения, равным единице, называют ***абсолютно черным телом***. Таких тел в природе не существует. Однако моделью, близкой по свойствам к черному телу, является полость с точечным отверстием (рис.25).



**Рис.25** Модель абсолютно черного тела

Лучи, входящие в такую полость, многократно отражаются от ее стенок и в результате практически полностью поглощаются. Излучение, выходящее через отверстие, приближается по своим свойствам к излучению абсолютно черного тела. Законы теплового излучения абсолютно черного тела АЧТ помогают приблизиться к реальным закономерностям теплового излучения.

Тела, для которых 0 <*α*< 1, называются серыми телами. Их коэффициент поглощения зависит от температуры, но не от длины волны. Тело человека является серым телом с коэффициентом поглощения *α* = 0,9.

**Законы теплового излучения**

***Закон Кирхгофа****.* Тепловое излучение является равновесным, то есть чем больше энергии излучает тело, тем больше оно должно ее поглощать. Если имеется изолированная система, состоящая из нескольких тел, то очевидно, что при определенной длине волны и температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости к коэффициенту поглощения для всех этих тел является одинаковым:

()1 =)2 =)3 = *const*

Указанное соотношение остается верным и тогда, когда одно из тел будет абсолютно черным (АЧТ):

()1 =)2 =)АЧТ = *const*

Из этого вытекает ***закон Кирхгофа***: отношение спектральной плотности энергетической светимости тела к его коэффициенту поглощения (при определенной температуре и для определенной длины волны) не зависит от природы тела, но зависит лишь от температуры и длины волны. Для абсолютно черного тела *α*= 1,0. Поэтому его спектральная плотность энергетической светимости *ελТ* является наибольшей и представляет собой универсальную функцию длины волны излучения и температуры тела:

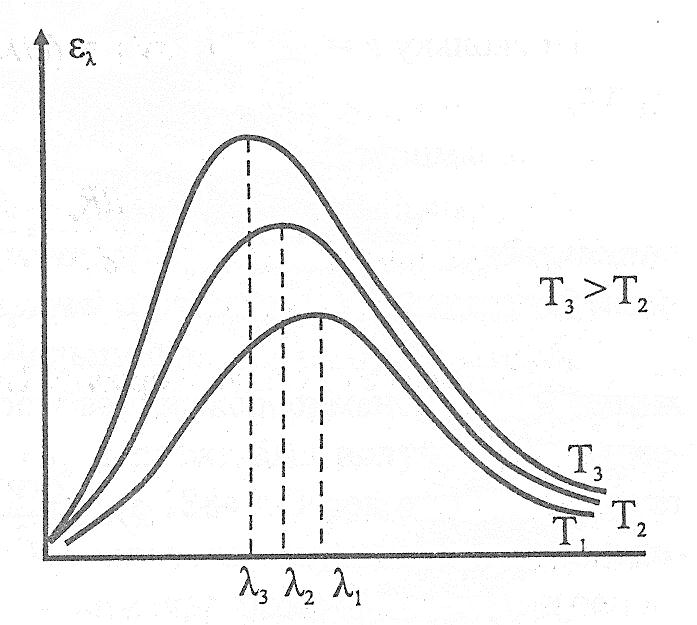
()1 =)2 =АЧТ =

Спектр излучения абсолютно черного тела был подробно исследован в конце 19 века с помощью указанной выше экспериментальной модели. Как видно на графике (рис.26), он имеет более пологую правую часть (в области больших длин волн), вершину и более крутую левую часть. С увеличением температуры кривая смещается вверх, а точка максимума перемещается влево, то есть в сторону меньшей длины волны. Однако, его теоретическая интерпретация встретила значительные трудности с позиций теоретической физики того времени. Удалось открыть лишь ряд законов, касающихся отдельных сторон этой проблемы. Эти законы сохранили свое значение до настоящего времени.

***Закон Стефана - Больцмана***. В соответствии с данным законом, ***общая энергетическая светимость во всем диапазоне длин волн пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела:***

*R= σT4,* где *σ* – константа Стефана-Больцмана*(5,67·10-8 Вт/м2·К4).*

На графике закон Стефана-Больцмана проявляется тем, что с ростом температуры увеличивается площадь под кривой, которая соответствует величине энергетической светимости.



**Рис.26** Спектр излучения абсолютно черного тела

***Закон смещения Вина****.* Этот закон определяет положение максимума спектральной плотности энергетической светимости тела в спектре излучения в зависимости от температуры. Согласно закону, ***длинаволны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, обратно пропорционален его абсолютной температуре Т:***

В данном уравнении*b* – константа Вина (*2,9·10-3м·Кл*). На графике (рис. 26) этот закон находит выражение в том, что кривая с ростом температуры сдвигается влево. Таким образом, при увеличении температуры изменяется не только полная энергия излучения, но и сама форма кривой распределения спектральной плотности энергетической светимости. Максимум спектральной плотности при увеличении температуры смещается в сторону более коротких длин волн.

Представленные законы не позволяли теоретически найти уравнения распределения спектральной плотности энергетической светимости по длинам волн. Уравнения, составленные на основании представлений, господствовавших тогда в физике, приводили к парадоксальному и невозможному результату: в диапазоне коротких длин волн энергетическая светимость абсолютно черного тела должна была увеличиваться до бесконечности, что полностью противоречило закону сохранения энергии. В действительности же она уменьшалась до нуля.

***Теория Планка.*** Великий немецкий ученый Планк (*1900*) выдвинул гипотезу о том, что тела излучают не непрерывным потоком, а отдельными порциями - ***квантами***. Кванты светового излучения называются также фотонами***. Энергия кванта пропорциональна частоте излучения***:

*Е = hν, где h –* константа Планка (*6,63 ·10 -34Дж·с*).

Квантовый характер излучения не ощутим при помощи наших органов чувств ввиду чрезвычайной малости энергии квантов. Руководствуясь представлениями о квантах излучения, Планк вывел уравнение для спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, которое полностью соответствовало экспериментальным данным. Теория Планка была полностью доказана многочисленными экспериментами и лежит в основе фундаментальных представлений физики, химии, биологии. Квантовый характер присущ всем диапазонам электромагнитных волн. Однако энергия квантов у разных диапазонов сильно отличается. Она очень мала у радиоволн и достигает максимального значения у *γ*- излучения, которое характеризуется чрезвычайно высокой частотой.

**Излучение Солнца**

Солнце - основной источник теплового излучения в природе. Солнечное излучение занимает широкий диапазон длин волн: от *0,1нм* до *10м* и более. В солнечном спектре представлены все диапазоны электромагнитных волн. *99%* солнечной энергии приходится на диапазон от *280* до *6000нм*. Значительную часть его составляет инфракрасное излучение. До земной поверхности доходит всего одна двухмиллиардная часть теплоты, излучаемой Солнцем. Тем не менее, этого достаточно для обеспечения жизни на Земле. Количество энергии, которую приносят солнечные лучи за *1с* на площадь в 1 м2, расположенную за пределами земной атмосферы на высоте *82 км* перпендикулярную солнечным лучам, называется ***солнечной постоянной***. Она равна *1,4·103 Вт/м2*.На поверхности Земли величина солнечной энергии меньше. В земной атмосфере большая часть инфракрасного излучения поглощается молекулами воды, кислорода, азота, углекислого газа.

Спектральное распределение нормальной плотности потока солнечного излучения совпадает с таковым для абсолютно черного тела при температуре *6000* градусов. Поэтому Солнце можно рассматривать как излучатель, близкий по своим свойствам к черному телу.

**Биологическое действие теплового излучения,**

**его применение в медицине**

Тело человека постоянно поглощает тепловое излучение. Этот процесс зависит от температур тела человека и окружающей среды. Применение теплового излучения является одним из видов физиотерапии. Для этого используют соллюкс, светотепловые ванны, различные инфракрасные лампы. Инфракрасные лучи проникают в ткани организма на большую глубину, по сравнению с другими видами световой энергии. Это приводит к прогреванию всей толщи кожи и части подкожных тканей.

Под влиянием инфракрасного облучения в тканях усиливаются метаболические процессы и ускоряются ферментативные реакции, процессы заживления. При действии теплового излучения в тканях усиливается образование ряда веществ, которые влияют на передачу импульсов в нервной системе и на регуляцию кровотока. При этом устраняются воспалительные процессы, повышается местная сопротивляемость тканей и защита против инфекций.

В результате действия инфракрасных лучей на кожу в ней активируются специфические чувствительные нервные окончания, информация от которых поступает в центральную нервную систему. В результате этого рефлекторно расширяются сосуды кожи, увеличивается объем циркулирующей в них крови, усиливается выделение пота.

Общее действие прогревающих инфракрасных систем приводит к выделению значительного количества пота, удалению излишнего жира и вместе с ним тяжелых металлов и ряда токсичных веществ.

Местное инфракрасное облучение применяется для уменьшения и устранения целлюлита и улучшения структуры кожи.

**Использование инфракрасного излучения тела человека**

**в диагностических целях**

Тело человека является источником невидимого инфракрасного излучения. Максимум излучения при температуре тела приходится на длину волны 9,5 мкм. Инфракрасное излучение кожи определяется ее температурой и зависит от трех основных факторов: особенностей кровоснабжения, интенсивности обменных процессов и различий в теплопроводности. По закону Стефана-Больцмана количество излучаемой энергии зависит от четвертой степени абсолютной температуры. Поэтому даже небольшие изменения температуры поверхности тела способны значительно влиять на интенсивность инфракрасного излучения.

***Медицинская термография****(****тепловидение****)* – это метод регистрации инфракрасного излучения тела человека. Данный метод позволяет измерять на расстоянии температуру отдельных участков тела. Она имеет определенное диагностическое значение, так как температура является важным интегральным показателем физиологических процессов. Термография – простой, кратковременный, безболезненный, хотя и не очень специфичный метод исследования, пригодный для массовых осмотров.

В норме распределение температуры одинаковых участков тела человека является симметричным. Поэтому задача медицинской термографии сводится к выявлению локализации и степени асимметрии распределения температур. Учитывают также наиболее типичные и постоянные градиенты термограмм головы и конечностей. Так температура внутреннего угла глаза на 0,5-0,7º выше наружного, абедра на 0,6-1.1º выше стопы.

***Тепловизоры*** *(****термографы****)* дают бесконтактное изображение карты инфракрасного свечения исследуемой части тела человека. Их чувствительность очень велика и достигает сотых долей градуса. Тепловизоры улавливают инфракрасное излучение, усиливают его и превращают в видимую для глаза картину. Излучение концентрируется с помощью системы специальных линз и попадает на фотоприемник, который имеет избирательную чувствительность к определенной волне инфракрасного спектра.

Принятое излучение вызывает изменение электрических свойств фотоприемника. Это изменение регистрируется и усиливается электронной схемой. Полученный сигнал подвергается цифровой обработке и передается на блок отображения информации. Блок имеет цветовую палитру, в которой каждому значению сигнала присваивается определенный цвет. На экране монитора появляется изображение, цвет точек которого соответствует численному значению температуры в данной области источника излучения. Получается «тепловой портрет» человека, на котором видны все участки с аномально повышенной или пониженной температурой. Компьютерные системы позволяют запоминать термограммы, обрабатывать их с помощью аналитических программ.

Чувствительность детектора к тепловому излучению тем выше, чем ниже его собственная температура. Поэтому его охлаждают с помощью специальных полупроводниковых устройств.

Существует также ***контактная термография*** на основе жидкокристаллических пленок. Она опирается на оптические свойства жидких кристаллов, которые проявляются в изменении их окраски при нанесении на термоизлучающие поверхности. Нанесенные на пленку композиции из жидких кристаллов обладают термочувствительностью и при контакте с кожей меняют свой цвет в зависимости от ее температуры. Преимуществом контактной термографии является ее меньшая стоимость, но она менее чувствительна.

Наиболее применяемые области диагностического использования тепловидения: распознавание опухолевых поражений грудных и щитовидной желез; диагностика заболеваний суставов, поражений сонных артерий и артерий конечностей, которые приводят к сужению их просвета, а также нарушений венозного кровообращения.

Известно, что злокачественная опухоль вследствие повышенного метаболизма имеет более высокую температуру по сравнению с окружающими тканями. Наиболее агрессивные быстро растущие опухоли имеют более высокую температуру.

Температура всегда повышена в очаге воспаления, что является одним из наиболее характерных его признаков. Таким образом, удается определить локализацию и размеры очага воспаления.

Нарушение кровотока в результате сужения кровеносных сосудов приводит к уменьшению кровоснабжения определенного участка тела. В результате происходит ослабление обмена веществ и соответствующее снижение температуры в этом участке.

Вследствие своей высокой чувствительности тепловидение позволяет во многих случаях выявлять ранние доклинические стадии патологических нарушений.

**ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ**

**Общая характеристика люминесценции**

***Люминесценция***(от лат. lumen – свет и escent – слабое действие) – это нетепловое свечение вещества, происходящее после поглощения им энергии возбуждения. В отличие от теплового излучения, люминесценция происходит не за счет внутренней энергии, а за счет других ее источников: световой, электрической, химической и др.

***Люминесценция представляет собой излучение, избыточное над тепловым, при условии, что его длительность не менее,чем 10-10 секунд.*** В этом определении указывается различие между тепловым излучением и люминесценцией, а также приводится ее отличие от рассеяния и отражения света, длительность которых короче.

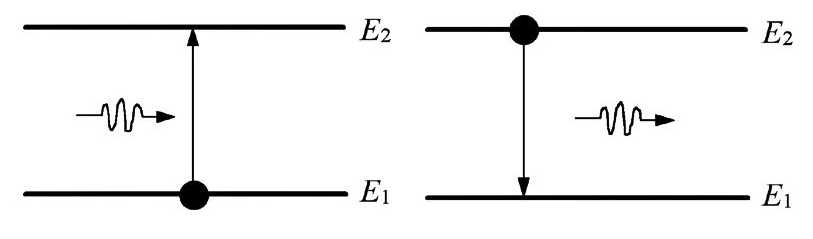
**Физическая природа люминесценции**

Люминесценция возникает в результате перехода атомов и молекул из возбужденного состояния в основное (стабильное). При этом выделяется энергия в виде квантов люминесценции.

Атомы и молекулы представляют собой квантовые системы, в которых электроны находятся на разных энергетических уровнях. В соответствиис принципом минимума энергии электроны размещаются, начиная от ближнего к ядру энергетического уровня (нижнего энергетического уровня). Затем заполняются остальные уровни, более далекие от ядра (высшие энергетические уровни).

***Основное энергетическое состояние*** атома – это состояние, при котором, электроны расположены вокруг ядра в соответствие с принципом минимума энергии.В таком состоянии атомы могут находиться неопределенно долгое время. Поэтому в веществе значительное большинство атомов находится именно в основном состоянии.

Однако возможен скачкообразный переход электрона с более низкого уровня на более высокий. При этом атом переходит в ***возбужденное состояние***. Для такого перехода электрону необходимо сообщить энергию *Е*, равную разности энергий на двух уровнях: . Но возбужденное состояние атома неустойчиво, и время пребывания в нем очень короткое – 10-8c.Происходитпереход электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий, который сопровождается испусканием кванта энергии. Эта энергия может высвечиваться в виде люминесценции (рис.27).



**Рис.27** Спонтанное излучение

Переход атома из возбужденного состояния в основное при люминесценции является спонтанным (самопроизвольным). Причиной его является сама неустойчивость возбужденного состояния. Поэтому люминесценция является примером спонтанного излучения. Время перехода и направление излучения фотона носят случайный характер.

Вещества, которые могут люминесцировать, называются ***люминофорами****.* Люминесцентное излучение может происходить не только в видимом свете, но также в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах. ***В зависимости от способов возбуждения люминесценцию делят на несколько видов***. Она возникает под влиянием различных воздействий:

света (фотолюминесценция),

электрического тока (электролюминесценция),

химических реакций (хемилюминесценция),

быстрых электронов (катодолюминесценция),

рентгеновских лучей (рентгенолюминесценция),

радиоактивных излучений (радиолюминесценция),

механических воздействий (триболюминесценция) и др.

***По длительности свечения различают:***

флуоресценцию, длительность которой составляет примерно 10-8c,

фосфоресценцию (10-3 с и более).

***Стокс показал, что длина волны люминесцентного излучения больше, чем длина волны света, который вызвал люминесценцию.*** Спектр люминесценции сдвинут относительно спектра вызвавшего его света в сторону больших длин волн (рис.28).



**Рис.28** Закон Стокса.

Объяснить закон Стокса можно тем, что энергия кванта, вызвавшего возбуждение при поглощении его веществом, частично рассеивается в виде тепла. Поэтому энергия излученного кванта оказывается меньшей, а длина световой волны большей.

**Применение люминесценции в медицине**

Люминесценция широко используется в лабораторной диагностике, санитарно-биохимических и других исследованиях. Большое значение имеет исследование спектров люминесценции (***флюорометрия***). Эти спектры специфичны и позволяют идентифицировать исследуемые вещества. Важными характеристиками являются положение максимума и форма спектра люминесценции. Люминесценция биологических объектов может быть собственной (первичной) либо возникать после химической модификации вещества (вторичной), а также после введения так называемых ***флюоресцентных зондов***. В качестве таких зондов используют молекулы, которые почти не флюоресцируют в воде, но при связывании с мембранами, белками, липидами их флюоресценция возрастает во много раз.

Флюоресцирующие соединения могут быть определены в очень низких концентрациях. Например, возможна количественная регистрация витаминов А, Е, В6 по их первичной люминесценции, а витаминов С, D, В12и др. – по вторичной.

Люминесцентный анализ применяется при контроле качества пищевых продуктов. Например, при длительном хранении молока и сливок их рибофлавин окисляется, что сопровождается изменением цвета люминесценции. По характеру люминесценции определяют заражение пищевых продуктов некоторыми грибками и бактериями.

Регистрацию люминесценции используют в целях диагностики. Характерная желто-зеленая люминесценция, возбуждаемая ультрафиолетовым облучением, наблюдается в волосах, пораженных паразитическим грибком.

Некоторые люминесцирующие вещества при введении в организм избирательно накапливаются в опухолевой ткани. Это явление используется для визуального распознавания опухолей кожи, а с помощью эндоскопии – опухолей желудочно-кишечного тракта, бронхов т.д.

Если в вену ввести растворфлюоресцеина, то через несколько секунд можно наблюдать зеленую флюоресценцию на слизистой оболочке полости рта и на губах. Этот метод используют для определения времени кругооборота крови.

Люминесцентные методы используют и в микроскопии. На этом принципе основано применение люминесцентных микроскопов для идентификации люминесцирующих веществ в микрообъектах.

**ИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.**

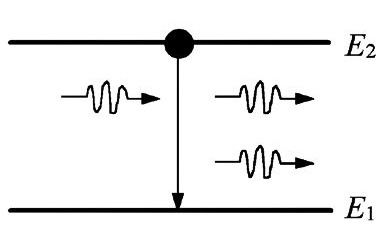
**ЛАЗЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ.**

**Физическая природа индуцированного излучения**

***Индуцированное*** *(****вызванное****)* ***излучение*** отличается от спонтанного тем, что возникает не самопроизвольно, а под действием других квантов излучения. Существование индуцированного излучения теоретически обосновал Эйнштейн, исследуя условия возникновения равновесия между веществом и излучением.

Целесообразно рассмотреть два возможных процесса, которые возникают при действии кванта излучения на электроны атомов. Первый из них заключается в том, что энергия кванта может быть поглощена атомом. В результате этого один из электронов переходит с более низкого энергетического уровня на более высокий (рис.29). Разность энергий *Е2 – Е1* равна энергии поглощенного кванта *hν*. Такой процесс может произойти в том случае, если произойдет встреча кванта излучения с невозбужденным атомом. В дальнейшем самопроизвольно, без внешнего воздействия, атом может испустить квант излучения. Такое излучение является *спонтанным*. Спонтанное излучение различных атомов и даже одного атома в различные моменты времени не коррелированно. Это значит, что оно имеет случайное направление распространения, произвольные плоскости поляризации и фазу. Такое излучение испускают обычные источники света.

Однако, возможен и второй процесс, когда квант излучения действует на уже возбужденный атом, электрон которого находится на более высоком энергетическом уровне. В этом случае падающий на атом квант может заставить его излучать. Условием для этого является равенство энергии кванта и разности энергетических уровней атома: *hν =Е2 – Е1*. Результатом является возникновение еще одного кванта излучения (рис.29). Такое излучения является не самопроизвольным, а индуцированным (вызванным), поскольку падающее излучение заставляет атом излучать.

******

**Рис.29** Возникновение индуцированного излучения

Индуцированное излучение отличается от спонтанного рядом свойств.

1.Индуцированное излучение распространяется строго в том же направлении, что и излучение, его вызвавшее.

2. Фаза волны индуцированного излучения, испускаемого атомом, точно совпадает с фазой падающей волны.

3. Индуцированное излучение поляризовано в той же плоскости, что и падающее излучение.

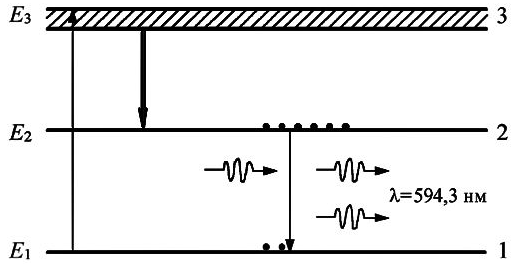
Таким образом, кванты индуцированного излучения неотличимы от первичных стимулирующих квантов. Поэтому индуцированное излучение при своем распространении отличается от спонтанного излучения ничтожно малой расходимостью пучка , а также когерентностью.

**Условия возникновения индуцированного излучения. Лазеры.**

В обычных условиях огромное большинство атомов находится в невозбужденном состоянии, то есть «заселяет» нижние энергетические уровни. Поэтому вероятность актов индуцированного излучения мала, и вещество поглощает излучение. Для того, чтобы преобладало индуцированное излучение, необходимо, «заселить» атомами верхние энергетически уровни. Такую заселенность уровней называют инверсной, а среду – активной.

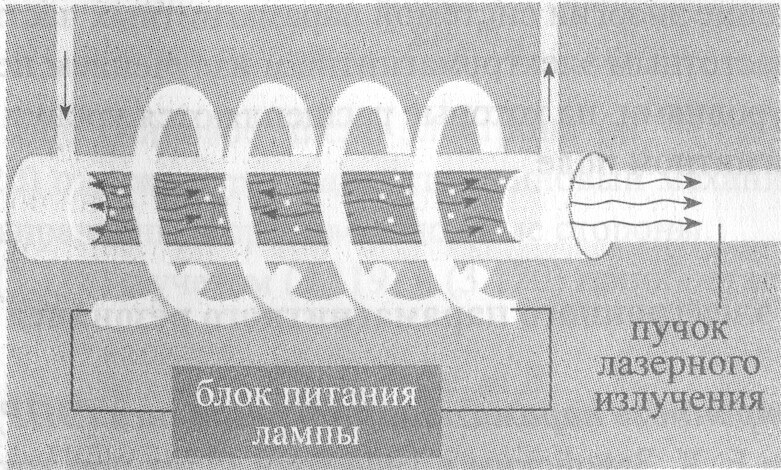
Впервые такую активную среду удалось создать российским ученым Басову и Прохорову и американцами Таунсом и Вебером. Сконструированные приборы стали называть квантовыми генераторами излучения. Первые квантовые генераторы излучали радиоволны СВЧ диапазона. В дальнейшем были созданы оптические квантовые генераторы – *лазеры.* Этот термин является аббревиатурой английских слов*LightAmplificationbyStimulatedEmmissionofRadiation,* то есть усиление света с помощью индуцированного излучения.

Для создания инверсной заселенности уровней в лазерах чаще всего используют систему из трех уровней. В качестве примера может служить рубиновый лазер. Его рабочим телом является кристалл рубина длиной около *5 см*, состоящий из окисла алюминий с примесью атомов хрома. На рис.6 представлены три энергетических уровня ионов хрома. Е1 – основной уровень, Е3 – возбужденный. Промежуточный уровень Е2 является метастабильным. Это означает, что переход Е3 → Е1, запрещенный законами квантовой механики мало вероятен. Попав в такое метастабильное состояние, атом задерживается в нем. При этом время жизни атома в метастабильном состоянии ~*10-3с*.Оно в сотни тысяч раз превышает время жизни атома в обычном возбужденном состоянии. Это обеспечивает возможность накопления возбужденных ионов хрома с энергией Е2. Иначеговоря, удается создать инверсную заселенность этого уровня.



**Рис.30**Энергетические уровни в рубиновом лазере.

Схема устройства рубинового лазера представлена на рис.31. Процесс сообщения рабочему телу лазера энергии для перевода атомов в возбужденное состояние называется накачкой. Существуют различные физические механизмы накачки. В рубиновом лазере используется импульсная оптическая накачка – освещение мощной ксеноновой лампой.



**Рис.31**Схема устройства рубинового лазера.

Поглощая излучение, атомы хрома переходят на уровень Е3, а затем на уровень Е2. Переход Е3 → Е2 происходит без излучения. Избыток энергии передается кристаллической решетке рубина, в результате чего кристалл нагревается. Метастабильностьуровня Е2 обеспечивает на некоторое время преобладающую его заселенность. Если в результате спонтанного перехода Е2 → Е1вблизи торца кристалла рождается квант излучения, то взаимодействуя с атомами хрома, он индуцирует новые кванты

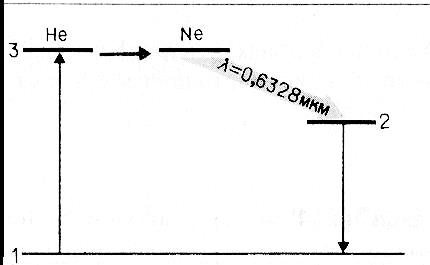
На торцах кристалла находятся зеркала, одно из которых является полупроницаемым. Излучение многократно отражается от них. Процесс рождения новых квантов в рабочем теле нарастает лавинообразно. В результате индуцированное излучение распространяется вдоль оси кристалла и усиливается. Возникает мощный импульс лазерного излучения.

В отличие от естественного света ***лазерное излучение характеризуется***монохроматичностью, когерентностью, узостью пучка. Оно может достигать значительной интенсивности.

В настоящее время существует много типов твердотельных лазеров на кристаллах, газовых лазеров, жидкостных лазеров, полупроводниковых лазеров. Они находят самое широкое применение в разных областях науки и техники, а также в медицине.

Первым ***газовым*** лазером непрерывного действия (1961) был лазер на смеси атомов неона и гелия. В газовых лазерах инверсная населенность уровней осуществляется электрическим разрядом, возбуждаемым в газах.

В гелий-неоновом лазере накачка происходит в два этапа: гелий служит носителем энергии возбуждения, а лазерное излучение дает неон. Электроны, образующиеся в разряде, при столкновениях возбуждают атомы гелия, которые переходят в возбужденное состояние *3* (рис.32)



## Рис.32Схема энергетических уровней гелий-неонового лазера

При столкновении возбужденных атомов гелия с атомами неона происходит их возбуждение и они переходят на один из верхних уровней неона, который расположен вблизи соответствующего уровня гелия. Переход атома неона с верхнего уровня *3* на один из нижних уровней *2* приводит к лазерному излучению с длиной волны 632,8 нм.

**Применение лазеров в медицине**

Лазеры используются в медицине настолько широко, что есть основание говорить о лазерной медицине, как одной из ее областей. Ниже приводятся некоторые примеры применения лазеров в медицине.

***Лазеры в хирургии****.* При проведении хирургических операций лазерное излучение значительной интенсивности используют вместо скальпеля. Применение лазеров в хирургической практике имеет ряд преимуществ. Возможность высокой концентрации световой энергии в малых объемах позволяет избирательно воздействовать на ткани и дозировать степень этого воздействия от коагуляции до испарения и разреза.

Тепло не передается на соседние области и концентрируется в зоне облучения. Поэтому лазерный скальпель позволяет удалять ткани патологического очага, не повреждая окружающие здоровые ткани. Лазерные операции практически бескровные. Удаление тканей происходит с минимальной травматизацией, что предотвращает образование рубцов.

Проникая в ткани, лазерный луч активирует обмен веществ в клетках, в результате чего ускоряются процессы заживления ран. Лазерное облучение обладает бактерицидным эффектом. Поэтому лазерные раны стерильны. Лазерный скальпель дает возможность производить операции в местах, трудно доступных для обычных методов. В настоящее время лазерную технику используют и для эндоскопических операций.

***Лазеры в офтальмологии****.* Лазер применяют для операций на роговице, которые производятся с целью коррекции формы ее поверхности. Таким путем достигается улучшение зрения при близорукости, дальнозоркости и астигматизме. Операции проводят под компьютерным контролем.

Важной особенностью лазерного излучения является то, что оно проникает через прозрачнее среды глаза, не повреждая их, и дает возможность производить операции на сетчатке. Таким путем удаляют опухоли сетчатки. С помощью лазера препятствуют отслойке сетчатки, которая сужает поле зрения и может привести к слепоте. Существуют лазерные оперативные вмешательства по поводу сосудистых нарушений в сетчатке и при лечении глаукомы.

***Лазеры в клинике внутренних болезней****.* В настоящее время доказано, что лазерное излучение низкой интенсивности обладает выраженным терапевтическим действием. Механизм действия лазера на организм сложен и до конца не раскрыт. Установлено, что при поглощении биологическими тканями лазерного излучения оно приводит к возбуждению атомови молекул, вызывает фотохимические реакции. Наблюдается фотоионизация вещества, изменение структуры молекул (фотоизомеризация). Показано изменение функций мембранных белков-переносчиков и активация мембранных ферментов. В клетках усиливается обмен веществ. Стимулируется синтез АТФ в митохондриях. Эти эффекты в значительной степени определяются специфическими свойствами лазерного излучения: монохроматичностью и когерентностью.

На клеточном уровне происходит активация ядерного аппарата и систем ДНК-РНК-белок. Усиливается митотическая активности клеток и процессы пролиферации. Лазерное излучение препятствует развитию воспаления и отека, улучшает кровоснабжение тканей, Оно способствует повышению уровня кислорода в тканях, стимулирует регенерацию и иммунологические процессы, повышает устойчивость организма.

Применяют следующие способы воздействия лазерным излучением на пациента: (а) облучение через кожу в соответствующей области тела;(б) подведение излучения к патологическому очагу посредством эндоскопа; (в) внутривенное облучение крови путем пункции с помощью тонкого световода; (г) воздействие на точки акупунктуры.

В настоящее время лазерное излучение применяют при лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы, легких, желудочно-кишечного тракта, мочеполовой системы. Оно находит применение при заболеваниях нервной системы, лор-органов, опорно-двигательного аппарата. Лазерное излучение широко используют при лечении кожных заболеваний и в косметологии.

**ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС.**

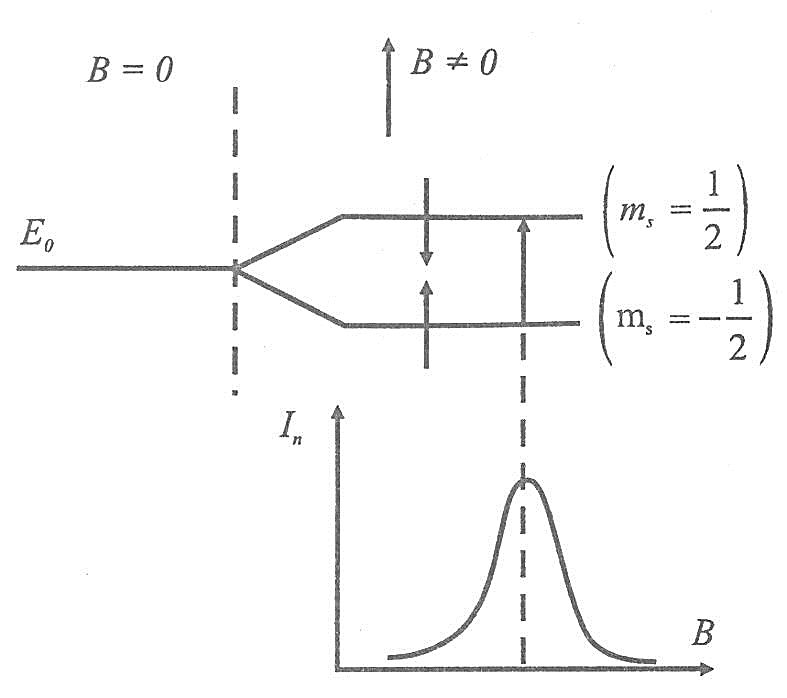
**МАГНИТОРЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ (МРТ)**

***Ядерным магнитным резонансом (ЯМР)***называется избирательное (резонансное) поглощение электромагнитного излучения атомными ядрами, которые находятся в постоянном магнитном поле. Оно обусловлено переориентацией магнитных моментов ядер. Ядерный магнитный резонанс и основанный на нем метод ЯМР-спектроскопии имеют чрезвычайно важное значение для решения разнообразных химических проблем. В химии ЯМР-спектроскопия применяется с целью определения структуры молекул, распределения в них электронов, идентификации химических веществ, в том числе лекарственных и т.д. В медицине широко применяется магниторезонансная томография (МРТ), основанная на ядерном магнитом резонансе. Она позволяет получать изображения внутренних органов, которые во многом превосходят изображения, получаемые с помощью других методов визуализации.

**Физические основы ядерного магнитного резонанса**

Частицы, из которых состоят атомные ядра (протоны и нейтроны), как и электроны, обладают собственным моментом импульса (спином). Вследствие этого спином обладают и ядра многих химических элементов, за исключением тех, которые состоят из четного числа протонов и нейтронов. Благодаря наличию спина такие ядра обладают также собственным магнитным моментом. К ним относятся, например, ядра изотопов ¹H, ¹³C, ³¹P, важных для химических и биологических исследований. Учитывая это, можно схематически представить подобные ядра как элементарные магнитные стрелки. В отсутствие внешнего магнитного поля благодаря тепловому движению они имеют беспорядочную ориентацию.

Если поместить атомы с такими ядрами во внешнее постоянное магнитное поле, магнитные моменты ядер ориентируются определенным образом в соответствии с направлением его силовых линий. Магнитные моменты ядер как бы вращаются вокруг оси направления внешнего поля, подобно вращающемуся волчку, выведенному из вертикального положения (прецессионное движение). В зависимости от ориентации по отношению к силовым линиям магнитного поля ядра разделяются на энергетические подуровни, одни из которых обладают более низкой, а другие – более высокой энергией (рис.33).



**Рис.33** Расщепление атомных ядер на энергетические подуровни

в магнитном поле.

Разность энергии двух соседних подуровней *ΔЕ* находится в прямой зависимости от величины магнитной индукции внешнего поля *В*:

*ΔЕ = gяμя Β* (1)

В данном уравнении*gя –* множитель Ланде, который определяют для данного ядра на основании квантовых чисел. Величина *μя*- ядерный магнетон, или элементарная единица магнитного момента ядра. Величина ядерного магнетона определяется уравнением, в которое входит несколько констант: *е* (заряд протона); *ħ* (константа Планка *h*, деленная на *2π*), *mp* (масса протона):

*μя= еħ / 2 m.* (2)

Населенность энергетических подуровней ядер в постоянном магнитном поле неодинакова. Более высокие подуровни населены в меньшей степени, чем низкие.

Если на вещество в таком состоянии подействовать внешним переменным электромагнитным полем, направленным перпендикулярно по отношению к постоянному, его энергия поглощается. Однако условия поглощения неодинаковы для различных частот электромагнитного излучения. Они зависят от энергии квантов электромагнитного поля. Поглощение квантов происходит лишь тогда, когда их энергия *hν* равна разности энергии подуровней атомных ядер поглощающего вещества *ΔЕ*:

*hν = gяμя Β* (3)

Частота *ν* является в данном случае *резонансной*. Электромагнитное излучение с такой частотой поглощается атомными ядрами вещества. При этом они переходят с более низких энергетических подуровней на более высокие. Соответственно меняется ориентация их магнитных моментов. В это и заключается явление ядерного магнитного резонанса. Время жизни ядер на более высоких энергетических подуровнях невелико. После прекращения действия электромагнитного излучения они возвращаются в состояние с меньшей энергией (процесс релаксации).

Необходимо отметить, что ядра различных атомов характеризуются своими резонансными частотами поглощения. Будучи зарегистрированными, эти частоты образуют специфические спектры поглощения. При величине индукции внешнего постоянного магнитного поля до 20 Тл такие частоты соответствуют диапазону радиоволн, вследствие чего ЯМР-спектрометрия относится к методам радиоспектроскопии.

**ЯМР-томография (магнито-резонансная томография)**

***ЯМР-томография*** - это метод получения послойных изображений внутренних органов с помощью ЯМР. Обычно он называется магнито-резонансной томографией (МРТ). При МРТ используют чаще всего магнитный резонанс ядер водорода (протонов), поскольку вода является компонентом всех биологических тканей. Этим о6еспечивается возможность исследования различных органов, так как все они содержат то или иное количество воды. МРТ позволяет очень четко дифференцировать различные мягкие ткани. Поэтому данный метод представляет особенную ценность при исследовании нервной, мышечной и сердечно-сосудистой систем, а также в онкологии.



**Рис.34**Магнитно-резонансный томограф

Магнитно-резонансный томограф (рис.34) принадлежит к новому поколению техники для визуальной диагностики состояния глубинных слоев внутренних органов и тканей.

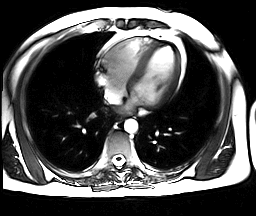
Данный тип оборудования занимает особые позиции в артрологии, нейрохирургии и неврологии благодаря высокой точности распознавания патологий мягких биологических структур (мышц, нервов, мозга, менисков, межпозвоночных дисков, связок). Во многих клинических случаях нарушений ЦНС, патологий двигательной системы и опухолевых заболеваний МРТ является единственным возможным способом получения реалистичной картины заболевания и подбора адекватного лечения.

Установка для МРТ включает катушку электромагнита больших размеров. Он создает постоянное однородное магнитное поле. Внутрь катушки помещают тело пациента вдоль определенной оси. Другие катушки создают дополнительный градиент магнитного поля так, чтобы заранее выбранное значение его интенсивности было установлено только в пределах тонкого среза тела. Из-за градиента магнитного поля, его интенсивность выше и ниже этого среза будет иной. Именно данный срез является объектом исследования.

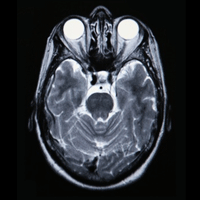
С помощью специальной катушки на срез тела подается электромагнитное излучение от генератора с определенной частотой. Его энергия поглощается, и исследуемые атомные ядра (обычно ядра водорода, т.е. протоны) переходят в возбужденное состояние. В дальнейшем в процессе релаксации они возвращаются в невозбужденное состояние и излучают энергию электромагнитного поля. Время релаксации определяется двумя процессами. Одним из них является так называемая спин-решеточная релаксация, в ходе которой энергия рассеивается в окружающей среде (решеткой называют окружение возбужденных ядер). Другой процесс – спин-спиновая релаксация, в результате которой энергия передается другим ядрам.

Излучаемый ЯМР-сигнал зависит от концентрации атомов водорода и от их окружения. Фактически он содержит информацию об особенностях исследуемых биологических тканей. Электронное устройство с помощью приемной катушки улавливает ЯМР-сигналы, поступающие с разных участков исследуемого среза тела. Этот процесс повторяется многократно. Посредством компьютерной программы формируется изображение исследуемого среза на дисплее - томограмма.

Интенсивность ЯМР-сигнала протонов в исследуемом срезе зависит главным образом от концентрации воды в различных тканях. Эта концентрация неодинакова, и поэтому ЯМР–сигнал позволяет отличать те или иные ткани по содержанию в них воды. Важную роль играют и различия химического состава тканей. Отличия сигналов ЯМР, поступающих от разных точек среза, выражаются на экране через интенсивность его свечения или в условных цветах, в результате чего формируется изображение структуры тканей исследуемого среза. На рис.35 и рис.36 представлены томограммы различных срезов тела человека, полученные с помощью метода МРТ.



**Рис.35**Томограммы коленного сустава и грудной клетки



**Рис.36**Томограмма головы в саггитальной и горизонтальной плоскостях.

Градиент индукции постоянного магнитного поля изменяют определенным образом в ходе исследования в двух или трех взаимно перпендикулярных направлениях и таким образом получают большое количество одномерных проекций исследуемого объекта.

Важным преимуществом данного метода является высокая чувствительность к различиям структуры мягких тканей. Так при исследовании центральной нервной системы методом МРТ четко различается серое и белое вещество головного и спинного мозга. Можно видеть детали поверхности мозга, границы полушарий, серое и белое вещество, мозговые извилины и борозды, структуры, находящиеся в глубине мозга, а также изменения, которые возникают при различных видах патологии (опухоли, инфаркты мозга и т.д.).

МРТ характеризуется также высокой разрешающей способностью вплоть до долей миллиметра, что дает возможность различать тонкие детали структуры. Этот метод позволяет получать изображения объекта в любом сечении и реконструировать объемные изображения отдельных органов. Наконец, он совершенно безвреден, поскольку применяемые магнитные поля не оказывают существенного влияния на организм человека.



**Рис.37** МРТ-ангиограммы мозга и верхней части грудной клетки.

Существуют специальные методы МРТ, позволяющие измерять температуру тканей, диффузию воды, перемещение цереброспинальной жидкости. МРТ-ангиография (рис.37) дает возможность исследовать изображение кровеносных сосудов для оценки их формы и ширины просвета. При этом используются различные приемы. Одним из них является введение в кровоток соли парамагнитного контрастного вещества (гадолиния).

МРТ позволяет также выявлять мозговые структуры, активность которых в момент исследования является повышенной, например при решении каких-либо задач. Увеличение нейронной активности всегда сопряжено с повышением потребления кислорода в данном участке мозга. Кровеносная система отвечает на это увеличением концентрации оксигемоглобина в крови, которое находит свое выражение в изменении ЯМР-сигнала, поступающего от этого участка. Этот метод находит применение как в клинической практике, так и в научных исследованиях.

**РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

В настоящее время рентгенодиагностика является одним из наиболее распространённых в медицине методов неинвазивного исследования состояния внутренних органов человека. Некоторые свойства рентгеновских лучей и особенности их биологического действия обусловили их применение в терапии. На использовании данного вида излучения основаны такие методы естественнонаучных исследований, как рентгеноструктурный анализ, рентгеновская электронная спектрометрия и т.д.

[](http://www.google.com.ua/imgres?imgurl=http://zhnyborody.te.ua/photo/liudy/Puliui-Ivan.jpg&imgrefurl=http://zhnyborody.te.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=973:hontaruk-liubov-pulyuy&catid=190&Itemid=420&h=248&w=200&sz=15&tbnid=YIaxVH3gmeQ01M:&tbnh=86&tbnw=69&zoom=1&usg=__oH4wHO1BzzWitlZBgDMFHwMDWws=&docid=frR3lk3beWQ8nM&hl=ru&sa=X&ei=kZJFUaPqHJHKtAbQx4GQDw&ved=0CGYQ9QEwEQ&dur=5655)В конце 1895 г. Вильгельм Конрад Рентген сообщил об открытии им но­вых лучей, которые были названы X-лучами. Эти лучи были выявлены при пропускании электрического тока через разреженный газ в разрядной труб­ке. Они излучались веществом, которое бомбардировалось потоком быстрых электронов.

На 14 лет раньше первых исследований Рентгена эти Х-лучи открыл украинский физик Иван Пулюй (1845-1919), уроженец городка Гримайлова Тернопольской области. Пулюй после гимназии поступает на теологический факультет Венского университета. Параллельно посещает лекции по математике, физике, астрономии, которые читались на философском факультете. И так ими увлекается, что после окончания курса теологии отказывается от сана священника и занимается физико-математическими науками. Он в 1884 г. стал профессором Высшей технической школы в Праге, в 1899-1900 гг. - ее ректором, в 1902 г - первым деканом первого в Европе электротехническо­го факультета Высшей технической школы. Действительный член Научного общества имени Т. Г. Шевченко во Львове. И. Пулюй получил международное признание за разработку электроосветительных ламп и катодных трубок, пер­вым исследовал лампы «холодного света». Он изготовил так называемые «ка­тодные лампы», которые привели его к открытию Х-лучей. И. Пулюй открыл ионизирующую способность Х-лучей, первым дал объснение их природы и механизма образования. Но Пулюй не уделил надлежащего внимания свое­му изобретению, занимаясь другими исследованиями.

Его изобретение позволило Рентгену в 1895 г. опять открыть эти лучи и получить за это в 1901 г. первую Нобелевскую премию по физике. И в резуль­тате этих случайных обстоятельств, к сожалению, мы сегодня говорим: «рент­геновские лучи», а не «лучи Пулюя».

Рентген нашёл, что флуоресцирующие объекты светились даже на расстоянии почти двух метров от трубки, т.е. Х-лучи распространялись гораздо дальше короткодействующих катодных лучей. Тень, которую отбрасывала на флуоресцирующий экран индукционная катушка, необходимая для создания разряда высокого напряжения в трубке, навела Рентгена на идею исследования проникающей способности Х-лучей в различных материалах. Он обнаружил, что такие лучи могут проникать почти во все предметы на различную глубину, которая зависела от плотности вещества. Натолкнувшись на неизвестное явление, учёный на протяжении семи недель в полном одиночестве работал в одной из комнат своей лаборатории, изучая свойства Х-лучей.

В некоторых странах до настоящего времени сохранилось данное Рентгеном название открытого им излучения - X-лучи. В России их стали называть «рентгеновскими» по инициативе ученика В. К. Рентгена - [Абрама Фёдоровича Иоффе](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D1%84%D1%84%D0%B5,_%D0%90%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%BC_%D0%A4%D1%91%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87).

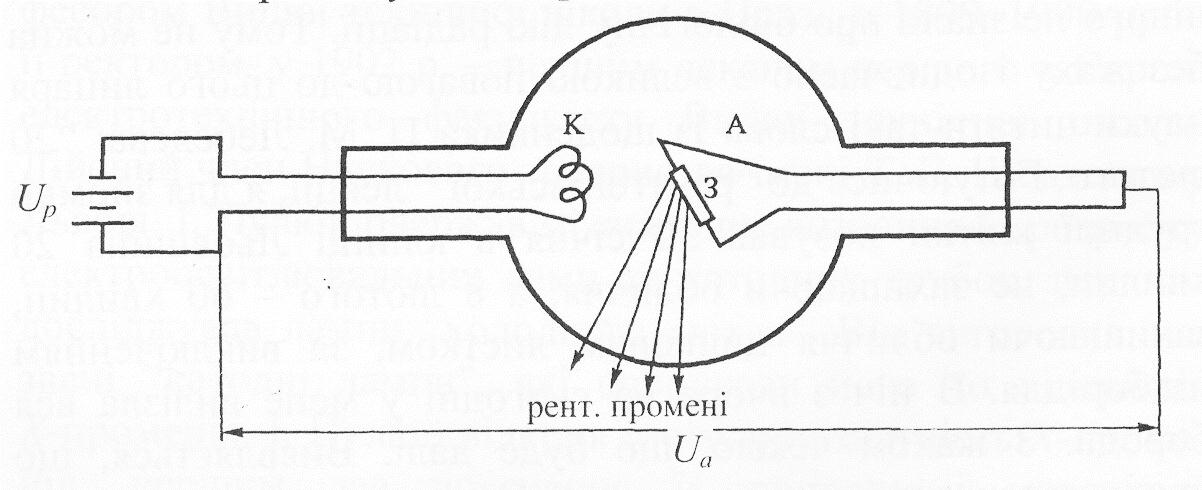
**Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение.**

В настоящее время известно, что ***рентгеновское излучение представляет собой поток электромагнитных волн*** *(ЭМВ).* На физической шкале ЭМВ оно занимает место между ультрафиолетовым излучением и гамма-лучами. Длина волны рентгеновских лучей составляет приблизительно от 80 нм до 10-5 нм.

Для рентгеновского излучения характерны такие общие для всех волн свойства, как дифракция и интерференция. Как и другие поперечные волны, рентгеновские лучи могут быть поляризованы.

Рентгеновские волны обладают, кроме того, корпускулярными свойствами. Они распространяются как кванты (фотоны), которые обладают энергией:  или , где постоянная Планка, частота электромагнитной волны, её длина, скорость.

Рентгеновские лучи получают в ***рентгеновских трубках*** – стеклянных баллонах, из которых выкачан воздух до давления *P*=10-6-10-7мм.рт.ст. В баллон впаяны два электрода: катод*К*  и анод *А.* (рис.38).



**Рис. 38**Схематическое изображение рентгеновской трубки:

катод, анод (или антикатод), напряжение накала катода,

 ускоряющее напряжение между катодом и анодом;

Катод нагревается электрическим током от источника накаливания () и излучает поток электронов. Это явление называется ***термоэлектронной эмиссией***. Электроны движутся к положительному электроду – аноду (антикатоду) и при этом значительно ускоряются межэлектродной разностью потенциалов (), которая в современных рентгеновских трубках составляет сотни киловольт. При этом кинетическая энергия электронов по пути от катода к аноду практически не рассеивается вследствие пренебрежительно малого трения (из трубки откачан воздух).

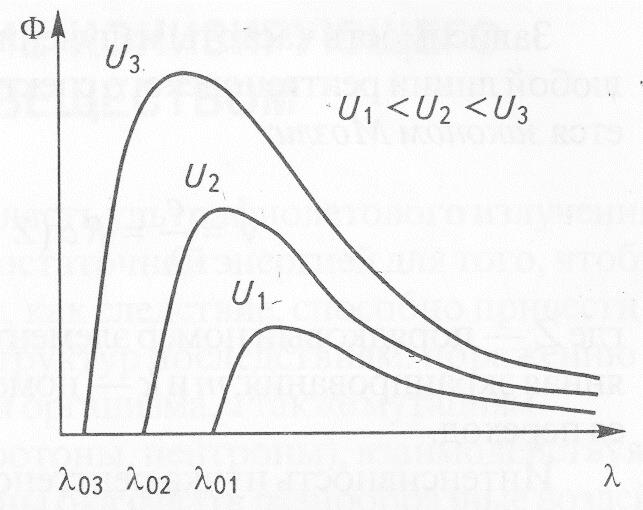
Электроны достигают анода, обладая большой кинетической энергией, и тормозятся электрическими полями атомов вещества анода. При этом кинетическая энергия движущихся электронов преобразуется в энергию квантов электромагнитного излучения. ***Рентгеновское излучение, которое образуется путём торможения электронов атомами анода, называют тормозным излучением.***

Механизм возникновения тормозного рентгеновского излучения поясняет теория электромагнитных волн Максвелла, согласно которой переменное магнитное поле создаёт переменное электрическое поле и, наоборот, переменное электрическое поле создаёт переменное магнитное поле. В рентгеновской трубке движущееся электроны являются источником магнитного и электрического полей. При снижении скорости электронов вследствие торможения их анодом напряжённость магнитного поля резко уменьшается. Это приводит к появлению переменного электрического поля, которое индуцирует появление переменного магнитного поля и т.д. Так возникает электромагнитная волна.

При образовании тормозного рентгеновского излучения лишь около 1% суммарной кинетической энергии всех электронов расходуется на образование рентгеновских лучей, а остальная часть – рассеивается в виде тепла. Для каждого электрона соотношение энергии, рассеянной в виде тепла и перешедшей в энергию электромагнитной волны, случайно. Поэтому фотоны рентгеновского излучения имеют разную энергию (соответственно длину волны, частоту). В результате этого тормозное излучение имеет сплошной спектр (рис.15). При этом поток тормозного рентгеновского излучения  в трубке зависит от силы тока и напряжения в ней – соответственно , а также от порядкового номера вещества анода :



где - коэффициент пропорциональности .



**Рис.39 С**плошные спектры рентгеновского излучения

На рис.39 представлены сплошные спектры рентгеновского излучения, полученные соответственно при напряжениях между катодом и анодом .

Максимальная энергия кванта  может быть получена при полном превращении кинетической энергии электрона  в энергию кванта , где постоянная Планка, частота рентгеновского тормозного спектра. Учитывая, что , получим

 , откуда ***предельная длина волны рентгеновского излучения***

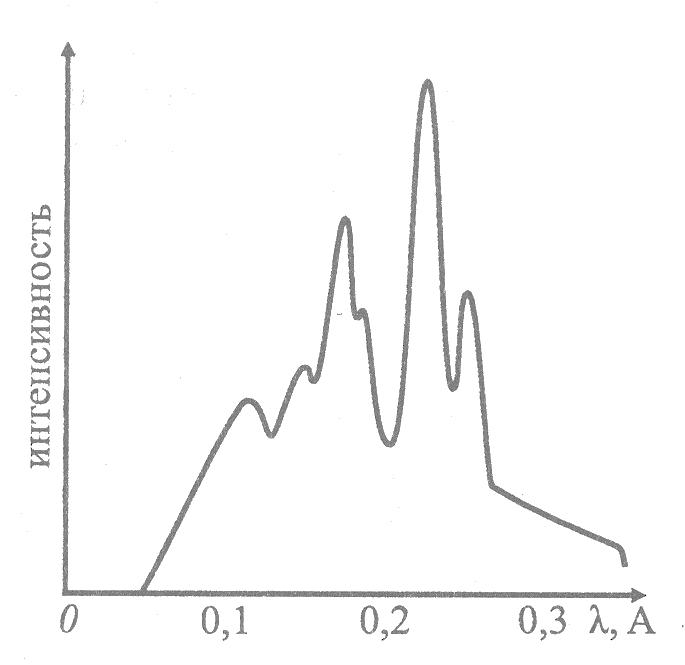
 (4)

Отсюда следует, что регулировать длину волны рентгеновского излучения можно путём изменения разности потенциалов между катодом и анодом.

***По длине волны*** в сплошном спектре тормозного рентгеновского излучения выделяют: ***мягкое рентгеновское излучение****,* которое представляет собой фотоны с  80 нм - 0,01 нм, и ***жёсткое рентгеновское излучение****,* имеющее *=*0,01 нм - 10-5нм. Мягкое и жёсткое рентгеновское излучение различаются по их проникающей способности и поглощению таких излучений веществом. Поэтому в зависимости от целей использования регулируют жёсткость излучения – чем больше напряжение в трубке, тем более жёсткое получаемое рентгеновское излучение (4).

Необходимо отметить, что анод во избежание разрушения под действием бомбардирующих его электронов изготавливают из тугоплавких материалов (например, вольфрама или керамики с молибденом), имеющих по сравнению с катодом большую массу и высокую теплопроводность. Его располагают под углом к катоду, а в некоторых конструкциях рентгеновских трубок - охлаждают водой или маслом и делают подвижным. Всё это создаёт оптимальные условия получения рентгеновского излучения и способствует увеличению срока службы рентгеновской трубки.

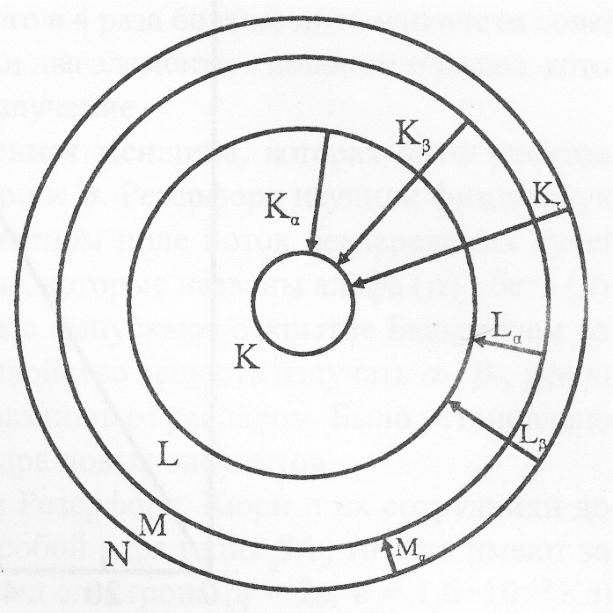
При значительном увеличении напряжения между катодом и анодом на фоне сплошного спектра тормозного рентгеновского излучения возникает линейчатый спектр ***характеристического рентгеновского излучения*** (рис.40). В потоке рентгеновского излучения интенсивность такого излучения составляет 1-2% интенсивности тормозного излучения.



**Рис.40**Распределение интенсивности в спектре излучения рентгеновской трубки.

Происхождение характеристического рентгеновского излучения связано с переходами электронов между энергетическими уровнями в атомах вещества анода. Такие переходы наблюдаются, если ускоренные электроны, испускаемые катодом, выбивают электроны из внутренних оболочек атомов вещества анода (рис.41).

Вакантные места занимают электроны с более высоких энергетических уровней (в соответствии с принципом минимума энергии, необходимого для устойчивого состояния любой системы). Разность энергий этих уровней излучается в виде квантов характеристического рентгеновского излучения. Их частота определяется по закону Мозли:  где А, В – константы, порядковый номер излучающего элемента.



**Рис.41**Возникновение разных серий характеристического рентгеновского излучения

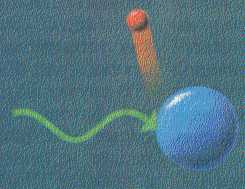
Источником рентгеновского излучения может быть не только рентгеновская трубка. На Земле оно образуется в результате ионизации атомов излучениями, возникающими при радиоактивном распаде, а также под действием [космических](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B8) излучений. Радиоактивный распад может также приводить к непосредственному излучению рентгеновских квантов, если такой распад вызывает перестройку электронной оболочки распадающегося атома (например, при [электронном захвате](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%B2%D0%B0%D1%82)).

**Первичные механизмы взаимодействия рентгеновского излучения**

**с веществом. Закон поглощения рентгеновского излучения**

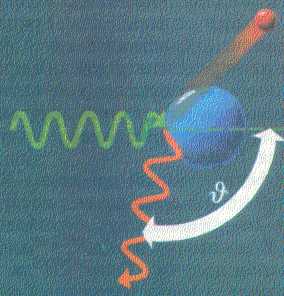
Поток рентгеновского излучения, попадая на вещество: а) частично отражается от его поверхности, б) в той или иной мере поглощается им, в) проходит сквозь вещество. При поглощении энергия электромагнитных волн передаётся атомам и молекулам вещества, в результате чего могут наблюдаться такие основные ***первичные механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом****:* когерентное рассеяние, фотоэффект, некогерентное рассеяние (эффект Комптона).

***Когерентное рассеяние*** происходит, если энергия рентгеновского кванта меньше энергии ионизации атома вещества  (рис.42, А). В результате взаимодействия кванта с электронами атомов происходит изменение направления его распространения, но энергия его (и частота) остаются неизменными.



***hν***

***hν>AB***



***hν*’**

***hν***

***hν>>AB***



***hν***

***hν***

***hν<Aи***

***A***

***Б***

**В**

**Рис.42** Основные типы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом:

А- когерентное рассеяние; Б- фотоэффект; В – эффект Комптона

***Фотоэффект***наблюдается, если энергия рентгеновских лучей равна или несколько больше энергии ионизации атомов вещества, или ***работы выхода электрона*** (рис.42, Б). При этом рентгеновские фотоны поглощаются атомами и происходит освобождение из них электронов. Часть энергии кванта может использоваться на придание электрону кинетической энергии. Такие электроны могут также высвобождать из других атомов электроны при условии, что .

Иногда энергия кванта рентгеновского излучения достаточна для освобождения электрона из внутренней орбитали. Поскольку при этом энергия выхода электрона велика, то он, как правило, обладает малой кинетической энергией. Такой же квант рентгеновского излучения, высвобождая электрон с внешней орбитали (работа выхода относительно невелика), придаёт ему большую кинетическую энергию, что приводит к последующей ионизации им атомов вещества.

***Эффект Комптона (некогерентное рассеяние)*** наблюдается, если , и состоит в поглощении атомами и молекулами вещества квантов, ионизации атомов с появление электронов с большими значениями кинетической энергии (рис.42, В). При этом образуется вторичный фотон рентгеновского излучения, имеющего иное направление, чем у первичного фотона, и большую длину волны (т.е. меньшую энергию). Если кинетическая энергия электрона и энергия вторичного фотона больше, чем энергия выхода электронов из атомов вещества, происходит дальнейшая их ионизация. Также возможно, что вторичный фотон или электрон не будут взаимодействовать с веществом, а покинут его.

Иногда энергии квантов рентгеновского излучения достаточно лишь для возбуждения атомов вещества. В таком случае может наблюдаться ***рентгенолюминесценция***(если вещество является люминофором). Ионизация веществ при фотоэффекте и эффекте Комптона обуславливает химическое действие Х-лучей на фотоплёнку, появление электропроводности вещества под действием электрического поля и т.д.. Эти *вторичные процессы* являются основой обнаружения рентгеновского излучения (в среде и при визуализации диагностических данных) и измерения его интенсивности.

За счёт поглощения рентгеновского излучения веществом его поток уменьшается по закону Бугера: , где *Ф*0 - начальный поток рентгеновского излучения, *Ф*- поток рентгеновского излучения после его прохождения через слой вещества толщиной *d,* линейный коэффициент ослабления. Последний является суммой линейного коэффициента рассеяния и линейного коэффициента поглощения. Поскольку, в основном, уменьшение потока рентгеновского излучения определяется поглощением, то часто  называют ***линейным коэффициентом поглощения***.

Линейный коэффициент поглощения зависит от свойств рентгеновского излучения и характеристик поглощающего вещества: , где плотность вещества, длина волны рентгеновского излучения, порядковый номер вещества в таблице Менделеева. Иногда используют массовый коэффициент поглощения 

Из формулы линейного коэффициента поглощения рентгеновского излучения при его прохождении через вещество можно сделать некоторые практически значимые для медицины выводы:

1. Различные вещества существенно различаются по коэффициенту поглощения рентгеновского излучения, поэтому для защиты от ионизирующего его действия необходимо использовать материалы с большими значениями  и  (например, свинец), которые существенно ослабляют поток рентгеновских лучей.

2. В неоднородном веществе можно проводить анализ его структуры по интенсивности рентгеновского излучения, прошедшего через вещество. В частности, направляя однородный поток рентгеновского излучения на тело человека, можно получить прошедший через тело поток излучения. Он неоднородный по интенсивности вследствие неодинаковых коэффициентов поглощения рентгеновских лучей разными тканями (например, в теле человека ) Визуализация прошедшего излучения с помощью рентгенолюминесценции или на фотоплёнке, позволяет получить ***теневые изображения внутренних органов*** человека.

3. Мягкое рентгеновское излучение хорошо поглощается веществами. Поэтому в диагностике, основанной на анализе интенсивности прошедшего через тело излучения, применяют относительно жёсткое излучение (до0,006нм). Соответственно более мягкое рентгеновское излучение (около 1 нм), поглощаемое атомами и молекулами вещества, используется в терапии.

4. Улучшение качества рентгеновских изображений может быть достигнуто путём создания контраста поглощения рентгеновского излучения различными тканями. Для этой цели применяют ***контрастные вещества****,* чаще всего с большой поглощающей способностью за счёт относительно большого заряда ядра. Так, для исследования сосудов и почек применяют раствор йода, у которого *Z=53*, а для кишечника - сульфат бария, который увеличивает поглощающую способность органа за счёт большого заряда ядра бария *Z=56*. Иногда используются газы, плотность которых меньше, чем плотность ткани (отрицательные контрастные вещества).

**Принцип осуществления рентгенодиагностики. Основные её виды**

Стандартная рентгенодиагностическая система включает в себя такие элементы:

- рентгеновская трубка, соединённая с высоковольтным генератором напряжения;

- коллиматор (для создания параллельного, однородного по интенсивности пучка рентгеновского излучения, на рисунке не показан);

- объект исследования (пациент);

- сетка (пропускает только первичные фотоны рентгеновского излучения, то есть фотоны направленного на объект рентгеновского излучения, которые не взаимодействовали с веществом. Вторичные фотоны, которые образовались при когерентном и некогерентном рассеянии, сетка не пропускает – они ухудшают качество изображения и не несут информации от проецируемой на приёмник области тела);

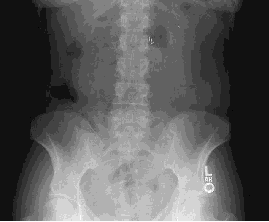
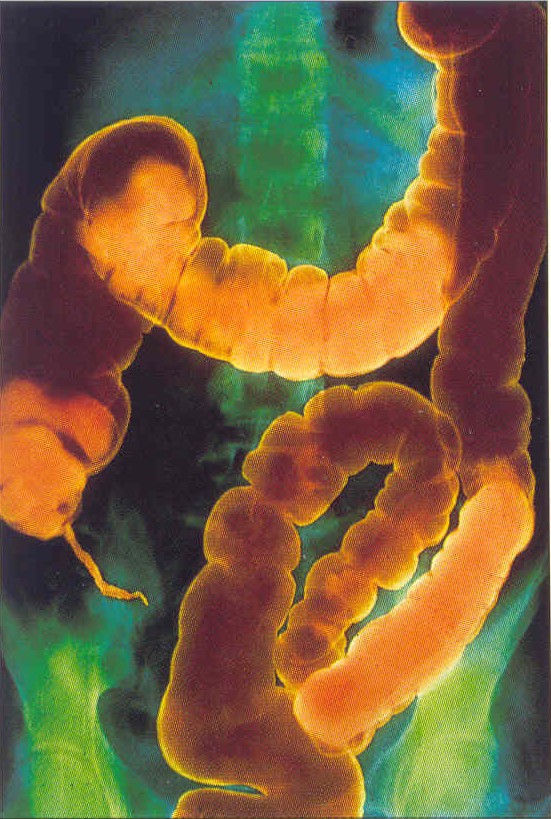
- усиливающего экрана;

- приёмник излучения (фотоплёнка, люминесцирующий экран и т.д.).



**Рис. 43** Дистанционно управляемая система для рентгенографии

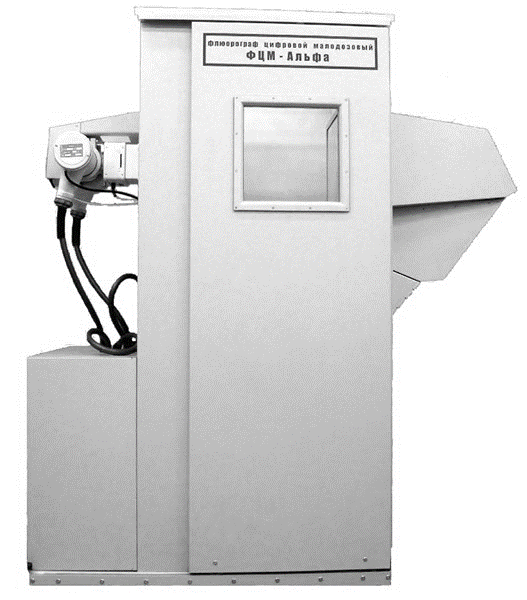
Наиболее распространенной процедурой диагностики с помощью рентгеновского излучения является ***рентгенография****,* в результате которой изображения внутренних органов получают на фотоплёнке (рис. 44). При этом, чем больше поток излучения, прошедший через данную область тела, тем больше образуется на расположенной за ней фотоплёнке металлического серебра. Соответственно эта область плёнки будет выглядеть темнее при её проявлении. Поэтому кости, которые больше остальных тканей поглощают рентгеновское излучение, в результате чего интенсивность прошедших через них лучей невелика, выглядят на фотоплёнке светлыми.



**Рис. 44** Рентгеновские снимки грудной полости, органов малого таза, кишечника

(получен с помощью применения контрастного вещества - )

***Флюорография*** – это методика рентгенографии, заключающийся в фотографировании теневого изображения с флуоресцентного рентгеновского экрана на фотопленку или переводом его в оцифрованное изображение (***цифроваяфлюорография,*** связанная с использованием компьютерной техники).



**Рис.45**Флюорограф цифровой малодозовый

Преимуществами рентгенографии являются относительно небольшая экспозиция объекта в рентгеновских лучах, возможность хранить фотоснимки с целью исследования динамики состояния пациента. Недостатки процедуры заключаются в увеличении необходимого для получения изображения времени, в необходимости проведения повторного обследования в случае обнаружения на снимках каких-либо требующих уточнения деталей.

От таких недостатков, в определённой мере, избавлена ***рентгеноскопия*** – методика рентгенологического исследования, позволяющая получить рентгенограммы тела пациента на люминесцирующем экране, не делая фотоснимков. Она позволяет наблюдать исследуемые структуры в реальном режиме времени, при необходимости увеличивать с помощью аппаратуры изображения заинтересовавших областей, проводится быстро, в связи с чем может быть использована для массового обследования населения. Однако требует защиты медперсонала от действия излучения с помощью поглощающих экранов, большей экспозиции объекта в зоне рентгеновского излучения.

Недостатком как рентгенографии, так и рентгеноскопии является получение двухмерных изображений трёхмерных структур, при котором изображения различных органов и тканей накладываются друг на друга. При этом в области структур, которые характеризуются высоким коэффициентом поглощения рентгеновского излучения, теряется информация про ниже- и вышележащие структуры с меньшим коэффициентом поглощения.

Необходимость более точной визуализации состояния внутренних структур с помощью рентгеновского излучения привела к созданию нового метода рентгенологического исследования – ***рентгеновской компьютерной томографии*** *(РКТ).* В 1973 году английские инженеры Хаунсфилд и Кормак создали первый в мире компьютерный рентгеновский томограф, за что получили в 1979г. Нобелевскую премию в области медицины.

РКТ позволяет получить серию изображений поперечных срезов части тела объекта с помощью математической обработки множества рентгеновских изображений этих слоев, сделанных под разными углами. Компьютерная техника в этом случае производит реконструкцию двумерного изображения поперечного слоя из серии одномерных проекций.

Принцип действия томографов состоит в том, что излучатель рентгеновских лучей и их приёмник (детектор) находятся с противоположных сторон объекта и могут двигаться вокруг него. Детектор постоянно принимает рентгеновские лучи, прошедшие через объект. Информацию несёт интенсивность прошедших лучей. Сигналы от детектора с помощью АЦП преобразуются в цифровую форму, передаются в ЭВМ, где обрабатываются специальными математическими программами.

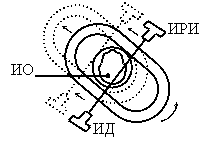
В настоящее время разработано несколько поколений компьютерных томографов, которые в зависимости от решаемых задач используются в современной медицине.

[](http://www.google.com.ua/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&docid=iYfutBIW37SrkM&tbnid=tX7sF4j_iopaHM:&ved=0CAUQjRw&url=http://www.litsa.com.ua/news/partners/5015/pavlogradskaya-gorbolnitsa-poluchit-novyy-kompyuternyy-tomograf.htm&ei=hJ1FUf-PAYTssgbb7YDgBw&psig=AFQjCNEA-NOoFKoiSA8PDTh__yGAZT4hHg&ust=1363603157646148)

**Рис. 46**Современный компьютерный томограф

Усилия инженеров при создании такой техники направлены на уменьшение времени экспозиции объекта в рентгеновских лучах, являющихся ионизирующими, т.е. на уменьшение лучевой нагрузки, и увеличение качества получаемых изображений при минимальных затратах времени.

В рентгеновских томографах первого поколения используют один излучатель рентгеновских лучей и один их детектор (рис. 47). Они находятся с противоположных сторон от объекта.

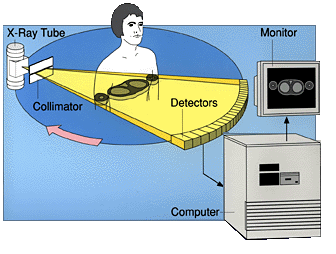
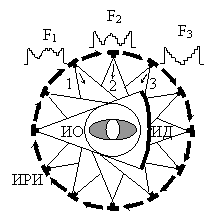


**Рис. 47.** Принципиальная схема томографа 1 поколения:

ИО - исследуемый объект, ИРИ – источник рентгеновского излучения, ИД – информационный детектор. Пунктиром показано изменение положения системы при поступательном её движении, направление которого указано прямой стрелкой. Изогнутая стрелка показывает направление вращения системы ИРИ-ИД для её многократного поворота на 10 до полного оборота на 180 градусов

Совершая поступательное движение вдоль исследуемой части тела, детектор определяет прошедшее излучение через 160 точек исследуемой области. Затем система излучатель-детектор производит поворот на 1 градус. И далее повторяется сбор информации от 160 точек тела. Так происходит, пока система излучатель-детектор не сделает оборот на 180 градусов. В результате по 160 точкам измерения накапливается 28800 данных об их коэффициентах поглощения. Компьютерная система их интегрирует с учётом координат поглощающих структур и реконструирует изображение поперечного слоя тела. Вся процедура занимает около 20 минут.

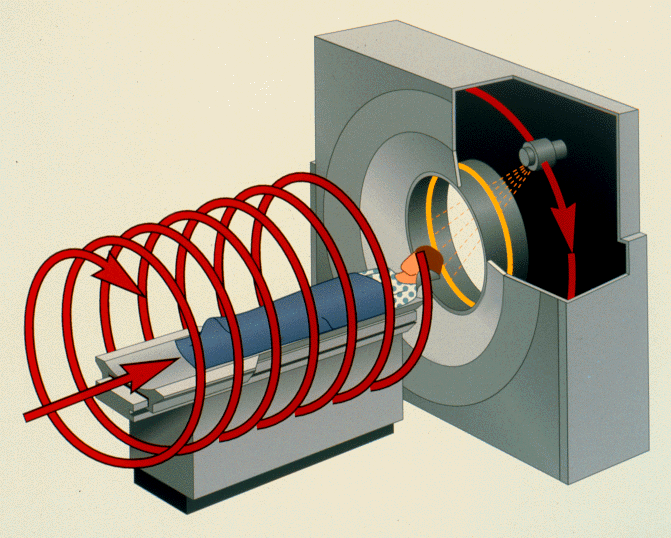
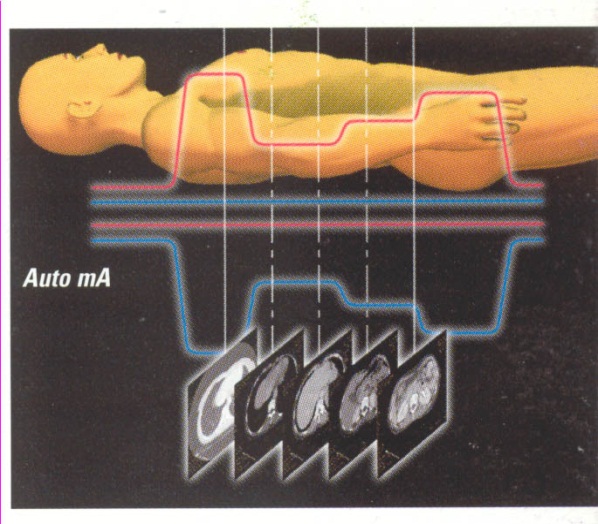
Дальнейший прогресс в области компьютерной томографии состоял в создании излучателя, позволяющего получить поток рентгеновского излучения в виде веера, увеличении количества детекторов излучения до сотни и более. Это позволяло системе излучатель - детекторы одномоментно «охватывать» всю исследуемую область (рис.48). При этом нет необходимости в поступательном движении системы - осуществляется только её вращательное движение вокруг пациента. Время исследования одного поперечного слоя, а, следовательно, лучевая нагрузка, сокращается.



**Рис. 48**Принцип действия компьютерных томографов, получивших наибольшее распространение в медицине

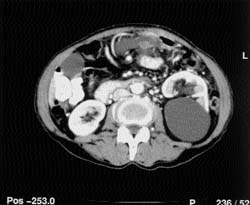
Пятое поколение рентгеновских компьютерных томографов характеризуется плавным перемещением стола пациента при непрерывном вращении рентгеновской трубки (рис.49).

***Этот винтовой, или спиральный, метод*** исследования позволяет получать 5 изображений в секунду, а при использовании некоторых усовершенствований – до 30 в секунду. Томограф 6-ого поколения использует трубу детектора и конический пучок.



**Рис.49** Спиральный метод томографии

Во всех томографах детекторы конвертируют рентгеновское излучение в пропорциональные электрические сигналы и направляют их к множеству усилителей на интегральных схемах. Ослабление рентгеновского излучения тканями часто характеризуется системами в относительных единицах, которые обозначают Н в честь Хаунсфилда. Значения относительного поглощения тканей варьируют от принятых для воздуха *(– 1000 Н*), для воды (*0 Н*) и для кости *(+1000 Н).* По значению относительного ослабления выявляют патологические ткани, изменения плотности кости, содержание воды в организме и т.д. Различные томограммы брюшной полости одного и того же больного, полученные при обследовании его почек, представлены на рис.50.



**Рис. 50.** Рентгеновские компьютерные томограммы брюшной полости:

сверху слева - в левой почке выявляется объёмное образование (киста) с чёткими ровными контурами; сверху справа - выполнено контрастное усиление, киста не контрастируется; снизу - трёхмерная реконструкция обеих почек. Возможна также реконструкция в любой заданной плоскости, например, сагиттальной и фронтальной.

**Применение рентгеновского излучения в терапии**

В терапии рентгеновское излучение применяют для облучения злокачественных опухолей, клетки которых вследствие их активной пролиферации (деления) являются чувствительными к повреждающему действию ионизирующего излучения. Однако в последнее время рентгенотерапия опухолей вытесняется другими методами лучевой терапии. Однако для осуществления последней широко используются ***рентгеновские симуляторы*** – аппараты для определения величины и положения (ориентации и удаления от излучателя) области облучения, а также маркирования этой области на теле пациента при планировании лучевой терапии, проводимой далее на мощных аппаратах с использованием радиоизотопов и ускорителей частиц. Симулятор также является средством контроля изменений очага заболевания в результате облучений. На основании данных этого контроля врач принимает решение об изменении параметров облучения при дальнейшем лечении.

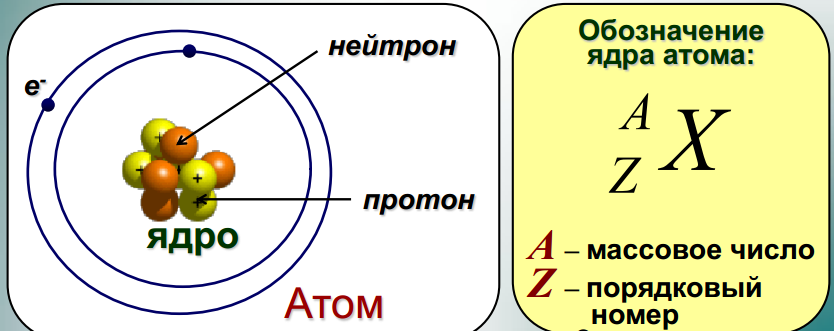
При лечении неопухолевых заболеваний используются рентгеновские лучи с неглубоким поглощением их тканями и в малой дозировке. Обычно к рентгенотерапии прибегают, когда другие средства оказались малоэффективными либо когда она имеет заведомые преимущества перед ними. В настоящее время рентгенотерапия успешно используется в хирургии, невропатологии, оториноларингологии, дерматологии, офтальмологии и других областях медицины. В основном, рентгенотерапия применяется для угнетения воспалительного процесса, лечения трофических изменений в тканях и болевых синдромов и др.

**РАДИОАКТИВНОСТЬ. ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Атомное ядро**

Атомное ядро состоит из двух видов элементарных частиц, которые называются нуклонами: *протонов* и *нейтронов*. Протон имеет положительный электрический заряд, равный по величине заряду электрона. Масса протона в 1840 раз превышает массу электрона. Нейтрон обладает массой почти на 0,1% больше, чем протон, и не имеет электрического заряда.

Каждое ядро характеризуется *зарядовым числомZ* (атомным номером) и *массовым числомA*. *Z* равно количеству протонов и характеризует заряд ядра. *А*соответствует общему числу нуклонов в атомном ядре. Ядра, которые имеют одно и то же атомное число, но разные массовые числа, называются *изотопами*. Изотопы одного и того же элемента являются идентичными в химическом отношении.



В атомном ядре действуют три вида сил:

1)  *Сильное взаимодействие -* чрезвычайно прочная ядерная силапритяжения, неэлектрическая по своей природе. Она действует лишь на близком расстоянии и удерживает нуклоны вместе внутри ядра.

2) *Электромагнитное взаимодействие*, значительно менее интенсивное. Оно действует как сила отталкивания между сближенными протонами.

3) *Слабое взаимодействие*, которое намного уступает по интенсивности сильному и электромагнитному. Оно не является силой притяжения или отталкивания, но несет ответственность за так называемый бета-распад ядра.

Атомные ядра называются также *нуклидами.* Известнысотни нуклидов естественного и искусственного происхождения, включая изотопы. Некоторые из них вполне устойчивы. Другие обнаруживают тенденцию к спонтанному распаду.

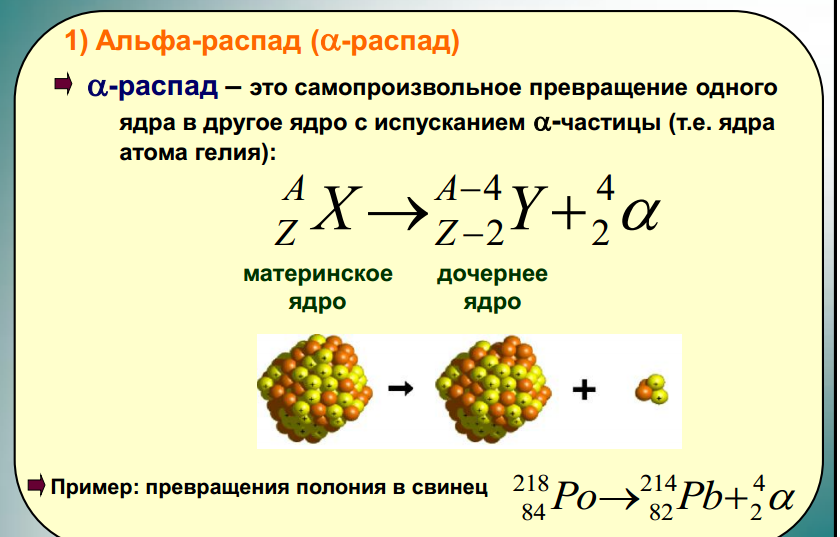
**Радиоактивность**

***Радиоактивность***– это результат спонтанного распада атомного ядра. При этом возникают определенные виды излучений, что и послужило основанием для указанного термина. Явление радиоактивности было обнаружено французским физиком Беккерелем (1896). Он показал, что уран испускает невидимые лучи, которые могут проникать через непрозрачный контейнер и засвечивать фотографическую пластинку. Вскоре Пьер и Мария Кюри обнаружили, что наряду с ураном существуют и другие радиоактивные элементы: радий и полоний.

Выяснилось, что радиоактивное излучение урана неоднородно и образовано тремя компонентами: *α*–, *β*– и *γ*–лучами. Их происхождение раскрыл Резерфорд, который показал, что радиоактивность является результатом распада атомного ядра. В процессе распада ядро одного химического элемента превращается в ядро другого элемента.

Существует несколько видов радиоактивного распада ядер. К числу основных относятся *α*– распад и *β*– распад.

**α – распад**



***α – распад***наблюдается в тяжелых неустойчивых атомных ядрах. В ходе распада разрушается атомное ядро *X* ("материнское ядро"), образуется *α–*частица и новое ядро *Y* ("дочернее ядро"). *α–*частица представляет собой ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов: 

Таким образом, дочернее ядро смещается определенным образом в таблице Менделеева по отношению к материнскому. Его зарядовое число оказывается уменьшенным на два, а массовое на четыре в сравнении с материнским ядром. *α–*частица покидает материнское ядро с большой скоростью. Ее кинетическая энергия очень велика.

При *α–*распаде дочернее ядро возникает в возбужденном состоянии. Нуклоны оказываются на более высоких энергетических уровнях, которые являются неустойчивыми. Поэтому в течение короткого времени они перемещаются на более низкие энергетические уровни, а избыток энергии испускается в форме *γ*–лучей, которые представляют собой электромагнитные волны. По своей природе они полностью эквивалентны световым волнам и рентгеновским лучам, которые испускаются возбужденными атомами. Но *γ*–лучи характеризуются значительно меньшей длиной волны, а их кванты обладают более высокой энергией, чем рентгеновские кванты. .

***β*– распад**

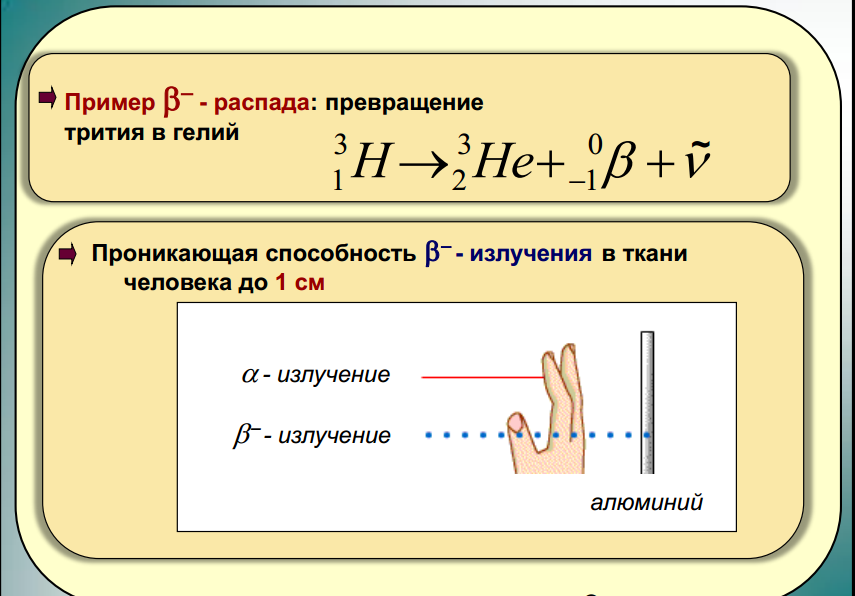


*β***–***распад* наблюдается в неустойчивых изотопах более легких ядер. Материнское ядро испускает *β***–**частицу, в результате чего образуется дочернее ядро. Существуют три вида *β***–**распада: ***электронный β–распад, позитронный β–распад электронный захват.***

А) ***Электронный β–распад*:**



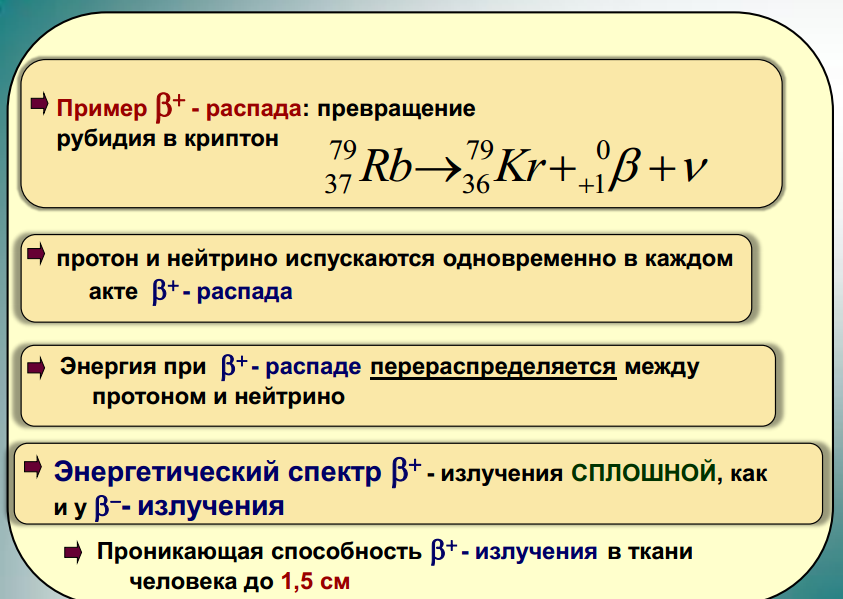
Из материнского ядра вылетает электрон (-частица). Атомный номер возникшего при этом дочернего ядра повышается на единицу по сравнению с материнским ядром. В результате данного вида распада образуется также антинейтрино – незаряженная частица, обладающая чрезвычайно малой массой -:



Б). ***Позитронный β*–*распад:***



Из материнского ядра испускаются позитрон (-частица) и нейтрино (). Зарядовое число дочернего ядра уменьшается на единицу по сравнению с материнским.



*Позитроны* – элементарные частицы, обладающие элементарным положительным зарядом с массой, равной массе электрона.

Известно, что для всех элементарных частиц существуют античастицы. Позитрон является античастицей электрона, а антинейтрино – античастицей нейтрино. Существуют также антипротоны, антинейтроны и др.(антипротоны, антинейтроны и т.п.). Когда некоторая частица взаимодействует со своей античастицей, происходит аннигиляция, то есть их взаимное уничтожение. При этом выделяется энергия в виде *γ*–лучей.

В) ***Электронный захват.***



В ходе этого вида ядерного распада один из электронов данного атома взаимодействует с его ядром и захватывается им. В результате возникает дочернее ядро с зарядовым числом, которое на единицу меньше зарядового числа материнского ядра. Возникает также нейтрино.

Поскольку при этом освобождается место на одной из внутренних электронных оболочек атома, на нее переходит один из электронов с более высокой оболочки. В результате возникает характеристическое рентгеновское излучение.

**Гамма – излучение**



**Активность. Закон ядерного распада.**

Существует два вида радиоактивности: *естественная* и *искусственная*. Естественная радиоактивность происходит спонтанно без какого либо внешнего воздействия. Она является результатом нестабильности определенных нуклидов. Они превращаются в другие, более устойчивые нуклиды. Искусственная радиоактивность возникает при распаде искусственно полученных нуклидов в результате ядерных реакций.

*Активность* - показатель интенсивности процессов радиоактивного распада в определенном образце вещества. Этот показатель определяется числом радионуклидов, которые подверглись распаду за единицу времени. Единицей измерения активности в системе СИ является *беккерель* (*Бк*). Один беккерель соответствует такому уровню активности, при котором за секунду происходит один акт радиоактивного распада*. Беккерель* – слишком малая и поэтому неудобная единица. Поэтому применяют также другую единицу измерения активности – *кюри (Ки)*. Она соответствует активности 1 г радия.

*1 Ки* = *Бк.*

Ядерный распад является вероятностным процессом. Он происходит спонтанно. Невозможно предсказать, какое именно ядро подвергнется распаду в данный момент времени. Вероятность радиоактивного распада одинакова для всех радионуклидов данного вида. Это обстоятельство лежит в основе закона радиоактивного распада, который характеризует скорость этого процесса.

*Закон радиоактивного распада* выражается следующим уравнением. Пусть *dN* – число нуклидов, подвергающихся радиоактивному распаду за бесконечно малый промежуток времени *dt*. Скорость распада характеризуется производной *.* Ее величина в любой момент времени пропорциональна исходному количеству радионуклидов *N0* и константе радиоактивного распада *λ* , которая характеризует вероятность распада данного вида радионуклидов: 

Решением данного уравнения является функция 

Эта функция означает, что если в исходный момент времени (*t =* 0*)*  имеется *N0* радионуклидов, то через время *t* число оставшихся, то есть не распавшихся, будет равно *N*.  *е –* основание натуральных логарифмов. Такая функция называется экспоненциальной. Таким образом, смысл закона радиоактивного распада заключается в том, что число радионуклидов уменьшается во времени по отрицательной экспоненте. Из этого следует, что за равные промежутки времени распадается одинаковая доля имеющихся в наличии радионуклидов.

Скорость радиоактивного распада удобно характеризовать также *периодом полураспада.* Период полураспада – это промежуток времени, необходимый для распада половины исходного количества радионуклидов. Длительность периодов полураспада различных радионуклидов сильно отличается. Например, она составляет для U238 – *4,5 млрд. лет*, для Th230 – *8 тыс. лет*, для Po218 – *3 мин.*

**Ионизирующие излучения**

*Ионизирующими излучениями* называют такие излучения, которые вызывают ионизацию вещества, то есть превращают атомы и молекулы в ионы. Радиоактивный распад ядер приводит к образованию нескольких видов ионизирующих излучений. Ионизирующие излучения можно разделить на два вида: (1) *корпускулярные излучения*: *α–*частицы, *β–*частицы, протоны, нейтроны и др.; (2) *волновые излучения* - *γ*–лучи и рентгеновские лучи.

**Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом**

Действие различных видов ионизирующих излучений на вещество имеет свои особенности. В процессе радиоактивного распада *α–*частицыпокидают материнские ядра с большой скоростью. Они обладают значительной кинетической энергией. При прохождении через вещество они подвергаются частым столкновением с электронными оболочками атомов, в результате чего их движение замедляется. При этом они передают электронам некоторую энергию, а также действуют на них своим электрическим полем. В результате происходит переход электронов на более высокие орбитали, а также отделение их от атомов. В результате атомы превращаются в положительные ионы. Свободные электроны поглощаются нейтральными атомами, в результате чего образуются отрицательные ионы.

При одиночном столкновении с атомом *α–*частица передает ему только небольшую часть своей энергии. До тех пор, пока ее скорость не упадет до нуля, происходит много столкновений. Поскольку масса *α–*частицы относительно велика, она мало отклоняется при столкновениях, и ее траектория представляет собой почти прямую линию. Ионизирующая способность *α–*частицы весьма значительна. В веществе от нее остается след, который состоит из многих тысяч пар ионов. Но *α–*частица очень быстро растрачивает свою энергию, и ее путь в веществе короткий. При значительном уменьшении своей кинетической энергии *α–*частица присоединяет два электрона и превращается в нейтральный атом гелия. Среднее расстояние, пройденное до остановки *α–*частицами, зависит от плотности среды. Его длина в воздухе не превышает нескольких сантиметров. Обыкновенный лист бумаги задерживает *α–*частицы Они не проникают глубже поверхностных слоев клеток кожи. Таким образом, проникающая способность *α–*частиц невелика.

Электроны и позитроны (*β–*частицы) вылетают из материнских ядер с еще большими скоростями, чем *α–*частицы. Однако, в отличие от *α–*частиц, скорости отдельных*β–*частиц значительно различаются. Они проникают намного глубже в вещество. Здесь они соударяются с электронами атомов вещества и теряют энергию, возбуждая и ионизируя атомы. Позитроны при взаимодействии с электронами подвергаются аннигиляции с испусканием *γ*–лучей. Кинетическая энергия электрона значительно меньше, чем у *α–*частицы. Ее величина достаточна, чтобы ионизировать только несколько десятков атомов. Из-за своей небольшой массы, *β–*частицы сильно отклоняются при каждом столкновении с электронами атомов вещества. Поэтому они распространяются в веществе не по прямой линии, а в разных направлениях. Длина пробега электронов в воздухе составляет несколько десятков сантиметров. В тело человека они проникают вплоть до внутренних органов.

*γ*–лучи также ионизируют вещество, передавая свою энергию атомам вещества. Будучи электрически нейтральны, *γ*–кванты обладают высокой проникающей способностью. Тело человека они способны пронизывать насквозь. Для защиты от *γ*–излучения в зависимости от его энергии требуется толстый свинцовый экран.

Ионизирующее действие *γ*–лучей сводится к следующим трем процессам.

А) *Фотоэлектрический эффект* проявляется, тогда, когда *γ-*кванты обладают сравнительно небольшой энергией. Квант энергии поглощается атомом, в результате чего один из его электронов как бы поднимается на более высокую орбиталь и может покинуть атом. Результатом является образование положительного иона. Поглощение свободного электрона другим нейтральным атомом приводит к образованию отрицательного иона.

Б) *Эффект Комптона* возникает тогда, когда энергия *γ-*кванта превышает энергию, необходимую для ионизации атома вещества. В этом случае лишь часть энергии фотона расходуется на ионизацию. Другая часть образует новый *γ-*квант с меньшей энергией, который может ионизировать другой атом и т.д.

В)*Создание пары электрон-позитрон* происходит в том случае, если энергия *γ-*кванта больше, чем в указанных выше процессах. Она поглощается одним из атомных ядер. При этом образуется пара частиц: электрон и позитрон.

**Обнаружение и измерение ионизирующих излучений**

Существуют различные типы приборов, которые используются для обнаружения ионизирующих излучений. Одним из таких приборов является счетчик Гейгера-Мюллера Он представляет собой цилиндр из металла, стенки которого используются как анод. Тонкий провод вдоль оси цилиндра служит катодом. Между анодом и катодом создается разность электрических потенциалов. Цилиндр заполнен инертным газом аргоном.

Когда молекулы аргона нейтральны, между анодом и катодом электрический ток не проходит. Под действием излучения происходит ионизация атомов аргона и проходит кратковременный электрический ток. Если напряжение между анодом и катодом достаточно велико, каждый электрон, образованный действием излучения на газ, производит несколько вторичных электронов, которые, в свою очередь, производят другие. В результате электрический импульс усиливается и может быть визуализирован или записан. Такой счетчик компактен и удобен в использовании.

Есть также другие типы счетчиков излучения, например сцинтилляционные счетчики*.* Они обладают сравнительно высокой эффективностью обнаружения различных видов излучения и наиболее широко используются в решении биомедицинских задач. Сцинтилляционный счетчик состоит из кристалла, который способен к радиолюминесценции, то есть создает вспышки видимого света, когда его атомы поглощают энергию ионизирующего излучения. Вспышки света подвергаются счету с помощью чувствительного электронного устройства. Сцинтилляционные счетчики не только измеряют интенсивность излучения, но помогают также идентифицировать его природу.

**ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. ИХ БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ. ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ.**

**Основные дозы излучения**

Доза ионизирующего излучения – это величина, которая используется для оценки степени его воздействия на вещество (радиационного эффекта). Измерение или расчет дозы излучения основаны на определении тех изменений, которые возникают под влиянием излучения в живых или неживых объектах. При этом применяются различные приборы: ионизационные камеры, люминесцирующие кристаллы, полупроводниковые приборы и др. Дозиметрия ионизирующих излучений использует несколько видов доз, основными из которых являются поглощенная доза, экспозиционная доза и биологическая (эквивалентная) доза.

***Поглощенная доза излучения****.* Поглощение того или иного количества энергии излучения лежит в основе всех радиационных эффектов. *Поглощенная доза излучения*показывает, какое количество энергии излучения поглощено в единице массы поглощающего вещества. Поглощенная доза определяется для всех видов ионизирующего излучения. Она зависит как от природы излучения, так и от свойств вещества. Единицей измерения поглощенной дозы является *грей (Гр*). *1 грей* – это такая доза, при которой *1килограмм* вещества поглощает *1 джоуль* энергии излучения.

***Экспозиционная доза излучения.*** Измерить непосредственно энергию излучения, поглощенную веществом, можно лишь в специальных лабораторных условиях. Значительно проще судить о дозе излучения по ионизации воздуха. Такой подход является адекватным, поскольку атомные номера элементов, входящих в состав воздуха, в основном соответствует тем, которые образуют живые ткани.

***Экспозиционная доза*** определяется по степени электризации воздуха, то есть по величине электрического заряда, который возникает в единице его массы. Единицей экспозиционной дозы в системе СИ является , то есть такая доза, при действии которой в *1 кг* воздуха возникает электрический заряд, равный *1 кулону*. Но более удобной единицей экспозиционной дозы является *рентген (Р)*. Это такая доза, при действии которой в *1cм3* сухого воздуха при температуре *00C* и атмосферном давлении *760 мм. рт. ст*. Возникает приблизительно два миллиарда пар ионов. *1 рентген* равен .

Один рентген экспозиционной дозы соответствует приблизительно *0,01 грей* поглощенной дозы для мягких тканей тела человека. Экспозиционная доза зависит не от вида вещества, на которое действует излучение, а от характеристик самого излучения. *Рентген* – относительно большая доза. В обычных условиях экспозиционная доза измеряется в миллирентгенах и микрорентгенах.

***Мощность дозы.*** Радиационный эффект зависит не только от дозы излучения, но также от длительности периода времени, в течение которого излучение воздействовало на объект. Следовательно, чтобы оценить эффект излучения, необходимо также определить *мощность дозы* – величину, равную отношению величины дозы излучения к периоду его действия, то есть дозу, полученную за единицу времени.

***Биологическая (эквивалентная) доза.*** Поглощенная и экспозиционная дозы характеризуют в основном физическую сторону действия излучения. Но его биологический эффект сильно зависит также от вида излучения. В частности, положительно заряженные частицы с большой массой (протоны, *α*–частицы) создают более высокую плотность ионизации, чем *β*–частицы и *γ*–лучи.

***Биологическая доза***учитывает особенности влияния разных видов излучения на биологические объекты. Чтобы охарактеризовать зависимость биологического эффекта ионизирующих излучений от их вида используют *коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ)* излучения. Его величина для различных видов излучения определялась экспериментально путем сравнения действия этих излучений на тест-объекты с действием стандартных доз рентгеновского излучения. Одним из тест-объектов был глаз подопытного животного, в котором ионизирующие излучения вызывают образование катаракты. Было установлено, что при *ОБЭ = 1* для *γ*–лучей и рентгеновских лучей, значение *ОБЭ* для нейтронов составляет *3-10*, для протонов – *10*и для*α*–частиц *– 20.*

Биологическую (эквивалентную) дозу излучения рассчитывают путем умножения поглощенной дозы на коэффициент *ОБЭ*. Единицей измерения биологической дозы является зиверт*(Зв),* который соответствует *1 Гр*поглощенной дозы рентгеновского излучения .

**Поражающее действие ионизирующего излучения**

Ионизирующее излучение способно вызвать при достаточно большой его дозе лучевую болезнь. Особенно неблагоприятно кратковременное воздействие значительной дозы. Та же доза, действие которой растянуто во времени, оказывает меньшее влияние на живой организм.

Происхождение лучевой болезни детально изучено. Основным первичным эффектом излучения в живых клетках является ионизация молекул воды., Поглощая энергию излучения, молекулы воды теряют электроны и образуют положительные ионы. Свободные электроны присоединяются к другим молекулам воды с образованием отрицательных ионов.

*; .*

Ионы воды неустойчивы и быстро распадаются, образуя свободные радикалы (водород и гидроксил).

*; *

Как известно, свободные радикалы характеризуются очень большой химической активностью. Они вступают в реакцию с другими химическими веществами, образуя все большее число новых свободных радикалов.

Свободные радикалы образуют также перекись водорода. Это вещество известно как сильный окислитель:



Свободные радикалы в клетке воздействуют на белки, нуклеиновые кислоты и другие биологические молекулы. Это действие может состоять в разрыве цепей белков и нуклеиновых кислот или образовании в их молекулах лишних ковалентных связей. В результате функция этих жизненно важных молекул нарушается. Нарастают процессы лучевого повреждения.

В живой клетке ядро более чувствительно к ионизирующему излучению, чем цитоплазма. Это было доказано, в частности, в экспериментах на амебах. Одну группу амеб подвергли действию летальной дозы излучения. После этого их ядра были извлечены и заменены ядрами здоровых амеб, составлявших вторую экспериментальную группу. Последние, наоборот, получили ядра облученных амеб. Амебы первой группы остались живыми, тогда как амебы второй группы погибли. Высокая чувствительность ядер к излучению объясняется локализацией в них генетического аппарата.

Действие излучения является наиболее вредным в период деления клетки. Поэтому, как правило, наиболее чувствительны к нему те клетки, которые часто делятся. Это касается незрелых клеток крови, кишечного эпителия, половых клеток и др. Эмбрионы и дети больше подвержены вредному действию излучений, чем взрослые люди.

Острая лучевая болезнь возникает при однократном облучении. Дозы до 1Зв вызывают лишь незначительные изменения в организме. Дозы свыше 1 Зв вызывают лучевую болезнь различной степени тяжести с поражением органов кроветворения или кишечника. Дозы однократного облучения свыше 10 Зв считаются абсолютно смертельными.

Высокая чувствительность к ионизирующим излучениям присуща людям и таким животным как обезьяны, лошади, собаки. Грызуны менее чувствительные и могут оставаться в живых после получения ими дозы *7-8 Зв*. Рыбы и амфибии могут выдерживать дозы излучения, равные нескольким десяткам *зиверт,* а насекомые – сотням *зиверт*.

Существует весьма опасные *отдаленные эффекты* действия ионизирующих излучений. К ним относится возникновение злокачественных опухолей после промежутков времени, составляющих многие годы. В ряде исследований было показано, что вероятность онкологических заболеваний пропорциональна полученной дозе излучения. Другими отдаленными последствиями действия излучений являются генетические дефекты, или мутации. Увеличение их частоты приводит к повышению уровня предродовой смертности и увеличению числа детей, родившиеся с серьезными дефектами. Установлено, что частота мутаций также пропорциональна дозе излучения.

**Постоянное действие небольших доз ионизирующих излучений**

Все люди подвержены постоянному действию низких доз ионизирующего излучения, которое возникает вследствие естественной и искусственной радиоактивности. Уровень естественной радиоактивности в зависимости от региона Земли составляет *5 – 20 микрорентген в час*. Полагают, что такой уровень радиации не опасен для человека, хотя эта точка зрения неоднозначна.

Существует ряд источников естественной радиоактивности. К ним относится космическое излучение и солнечная радиация. Космические лучи включают почти все типы ионизирующих излучений и характеризуются большой проникающей способностью. Защитой от них является земная атмосфера. Действие космического излучения зависит от высоты над уровнем моря и удваивается с каждой тысячей метров.

Источником ионизирующего излучения являются и некоторые породы земной коры, содержащие радионуклиды уран, торий, радий и др. Известны местности, в которых на поверхность выходят граниты, а радиоактивный фон превышает среднюю величину в десятки раз. Радиоактивные частицы попадают в стройматериалы. Установлено, что уровень излучения в домах, построенных из кирпича или бетона вдвое выше, чем в деревянных. Источниками ионизирующего излучения могут быть удобрения, и даже продукты питания.

Важным источником ионизирующего излучения является радиоактивный инертный газ радон. Он тяжелее воздуха и скапливается в основном под землей. На поверхность он выходит при добыче полезных ископаемых и через трещины в земной коре. Радон содержится в воде, особенно добываемой из глубоких скважин. Показано, что содержание радона в воздухе ванной комнаты может в десятки раз превышать его концентрацию в жилых комнатах.

Общую среднюю дозу, которую получает человек от всего естественного радиационного фона, считают близкой к *1мЗв*.

К естественному радиоактивному фону добавляется ионизирующее излучение искусственного происхождения, доза которого может достигать половины, получаемой от излучений естественного происхождения. Наиболее существенным источником искусственного излучения является медицинская рентгенодиагностика. В то же время медицинское облучение, используемое в рентгенологической диагностике, может быть уменьшено путем применения современных, хорошо экранированных приборов.

**Применение радионуклидов и ионизирующих излучений в медицине**

Явление радиоактивности чрезвычайно широко используется в медицинских целях. В настоящее время существует термин «ядерная медицина». В странах ЕС ежегодно до *15 млн*пациентов подвергаются «ядерным» процедурам с целью диагностики или лечения.

**Радионуклиды в диагностике**

В диагностике используются радиоактивные изотопы. По химическим свойствам они неотличимы от устойчивых изотопов того же элемента, В то же время радиоизотоп может быть легко опознан по своему излучению. В кровь, дыхательные пути или желудочно-кишечный тракт вводят соответствующие радиоактивные изотопы. Они находятся в смеси с веществами, которые накапливаются преимущественно в том или ином органе и выполняют определенную функцию. Радиоизотопы являются своего рода метками, позволяющими судить о наличии того или иного препарата в органе.

Содержание радиоизотопа в организме определяют *методом сканирования*. Так называется метод диагностики с применением сканеров – подвижных детекторов излучения. Сканер автоматически медленно передвигается над исследуемой областью или органом и регистрирует радиоактивное излучение в отдельных точках. Результатом является «построчное изображение», показывающее уровень радиоактивности в отдельных частях исследуемого органа.

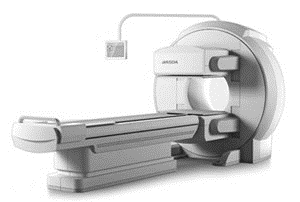
В качестве примера можно привести сканирование сердца. Известно, что химический элемент галлий накапливается в сердце в очагах воспаления. Сканирование сердца после введения радиоактивного изотопа галлия позволяет судить о миокардите – воспалительном заболевании сердца и других видах его патологии.

Щитовидная железа накапливает иод в процессе жизнедеятельности. Сканирование после введения радиоизотопа иода дает возможность судить о повышении либо понижении активности щитовидной железы. Применение специальных радиоизотопов позволяет исследовать также функцию печени, почек, легких и других органов.

***Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)*** *-* один из наиболее ценных методов исследования внутренних органов, в ходе которого используют радиоизотопы. Этот метод основан на явлении *аннигиляции*, возникающем при взаимодействии позитрона с электроном. В результате аннигиляции возникает *γ*- излучение, которое регистрируется путем сканирования.

Используют короткоживущие радионуклиды, которые подвергаются позитронному распаду, в частности изотопы фтора, углерода, азота и кислорода. Их вводят в состав фармпрепаратов – биологически активных веществ, о которых известно, в какие органы они поступают и в каких обменных процессах принимают участие. После введения такого вещества пациенту оно подвергается метаболизму. При этом испускаются позитроны, которые взаимодействуют с электронами атомов и порождают *γ*- излучение.

В приборе (рис.51) детекторы излучения располагаются кольцеобразно вокруг объекта. Обработка информации с помощью компьютера указывает на распределение интенсивности излучения. Сканирование интересующего органа позволяет визуально изучать в нем обменные процессы и судить о его функциональном состоянии. Области повышенной или пониженной радиоактивности свидетельствуют о ненормальном функционировании органа. Особую роль играет позитронно-эмиссионная томография в кардиологии, неврологии и онкологии. Этот метод отличается высокой чувствительностью при диагностике злокачественных опухолей, обмен веществ в которых значительно отличается от здоровых тканей.



**Рис.51**Позитронно-эмиссионный томограф.

Преимущества ПЭТ:

* самая ранняя на сегодня диагностика онкопатологий;
* минимальная лучевая нагрузка, которая постоянно снижается с появлением новых модификаций томографов;
* высокое разрешение (около 5 мм в любом направлении);
* совместимость с другими методами лучевой диагностики;
* одновременное исследование серии поперечных срезов (точное количество зависит от числа колец-детекторов, располагаемых вокруг изучаемого объекта).

**Радиотерапия**

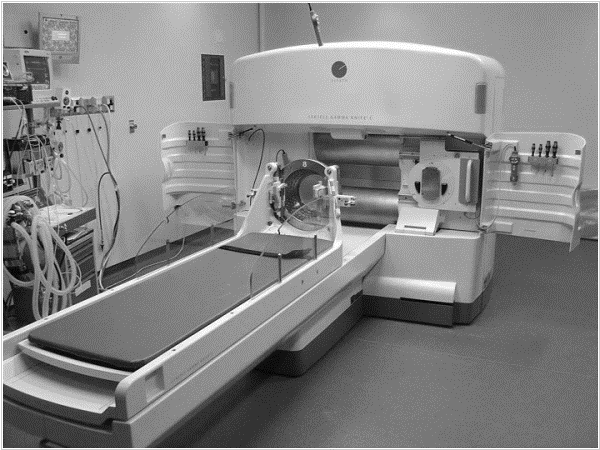
Клетки обнаруживают наибольшую чувствительность к действию ионизирующего излучения в процессе деления. Клетки злокачественных опухолей делятся значительно чаще, чем клетки нормальных тканей. Поэтому раковые клетки и клетки саркомы очень чувствительны к ионизирующим излучениям. Нормальные ткани имеют большую способность восстанавливаться от эффектов таких излучений, чем клетки злокачественных опухолей. Таким образом, доза излучения достаточная, чтобы уничтожить раковые клетки, только незначительно и временно повреждает смежные нормальные клетки.

Эта особенность злокачественных опухолей является основой применения радиотерапии (лучевой терапии) для их лечения. Обычно радиотерапию применяют для лечения онкологических больных в рамках комбинированной терапии. Используют *внешнее облучение* с помощью специальных приборов: рентгеновских аппаратов и источников *γ*–излучения («кобальтовых пушек»), содержащих радиоактивный кобальт. Поверхностное облучение (по большей части посредством рентгеновских лучей) используют при лечении злокачественных болезней кожи и глаз. Гамма-лучи, испускаемые радиоактивным кобальтом, обеспечивают большую эффективную дозу облучения опухолей глубоких тканей тела. Помимо внешнего облучения, в опухоль могут быть *имплантированы* заполненные радием иглы или небольшие капсулы, содержащие газ радон.

**Радиохирургия**

*Радиохирургия*– сравнительно новая область медицины, которая применяет относительно высокие однократные дозы излучения устранения опухолей и других патологических образований.

*Гамма-скальпель.* Так называется один из современных методов хирургического лечения, который применяется чаще всего при патологии головного мозга.

[](http://www.google.com.ua/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiByIzEnPLLAhUFGZoKHVoPCuwQjRwIBw&url=http://www.modern-doctor.info/gamma-nozh-gamma-knife/&bvm=bv.118443451,d.bGs&psig=AFQjCNG-V_Qo4lF1wqXsb5qWGlDOvsrgtw&ust=1459764395756475)

**Рис.52** Гамма-скальпель

Вместо обычного скальпеля его роль выполняют гамма-лучи, которые направляют на глубинно расположенный патологический очаг. Голова пациента фиксируется. Пучки гамма-излучения от большого количества источников фокусируют в нужной точке мозга с высокой точностью при помощи специального устройства. Облучение здоровых участков мозга, прилегающих к патологической зоне, практически не происходит. Каждый из лучей сам по себе слишком слаб, чтобы повредить здоровую ткань. Таким образом, разрушают патологический очаг.

Гамма-скальпель обладает большими преимуществами перед традиционными хирургическими методами. Так он не требует общего наркоза и трепанации черепа, открывает доступ к глубинным структурам, которые недоступны при обычных операциях.

*Линейный ускоритель.* Этот прибор считается более универсальным и функциональным, чем гамма-скальпель.

[](http://www.google.com.ua/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiJi6-mm_LLAhWJd5oKHdPvBfoQjRwIBw&url=http://ekagrad.ru/sovremennyie-metodyi-lecheniya-onkologicheskih-zabolevaniy/&bvm=bv.118443451,d.bGs&psig=AFQjCNEV4RsJQ7O31qRGfSPUQB2Z7kH7AA&ust=1459764006634720)

**Рис.53** Линейный ускоритель

Он использует в лечебных целях поток электронов или тормозное рентгеновское излучение, вызываемое электронами. Пучок электронов ускоряется в линейном волноводе до высокой энергии. Излучение может быть направлено в точное расположение опухоли или патологического очага. Во время лечения линейный ускоритель может вращаться вокруг пациента. При этом пучок излучения, нацеленный на опухоль со всех углов, управляется компьютером, постоянно меняется и адаптируется к ее форме и размеру. Линейный ускоритель позволяет разрушать опухоли, которые расположены в трудно доступных структурах головного мозга и имеют маленький размер, а также опухоли спинного мозга, легких, печени и почек.

**ЛИТЕРАТУРА.**

1. Чалий О.В. та ін. Медична і біологічна фізика: Підручник. - К.:”ВІПОЛ”, 1999.
2. Ємчик Л.Ф., Кміт Я.М., Медична і біологічна фізика: Підручник – Львів: Світ, 2003. – С. 301 – 332.
3. Биофизика / Под редакцией В.Ф.Антонова. - М. Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999.- 288 с.
4. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1987 – 634 с.
5. Тиманюк В.О., Животова Е.В. Биофизика. – К.: ИД «Профессионал», 2004.
6. Марценюк В.П. та ін. Медична біофізика і медична апаратура. Підручник. –Тернопіль: ТДМУ, 2008, -356с.