



Рязанский государственный
медицинский университет
имени академика И.П. Павлова
Кафедра математики, физики и медицинской информатики



**Строение атома. Испускание и поглощение
света атомами. Рентгеновское излучение.
Радиоактивность. Лазеры. Спонтанное и
вынужденное излучение.**

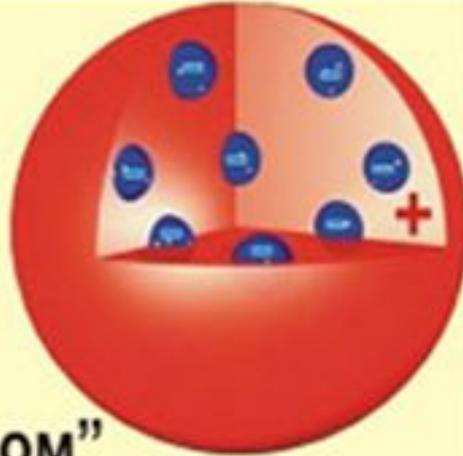
профессор Ельцов
Анатолий Викторович

Строение атома

1

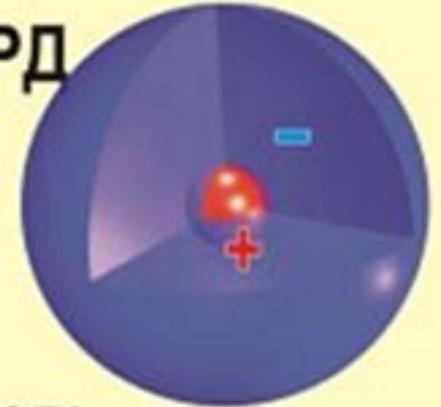
ИСТОРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ АТОМА

Д. ТОМСОН
1895



Модель
“Булка с изюмом”

Э. РЕЗЕРФОРД
1911



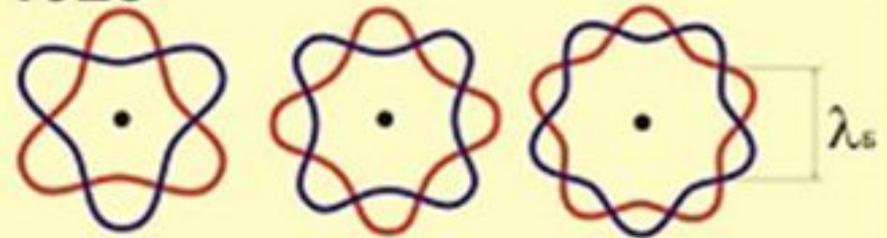
Ядерная модель

Н. БОР
1913



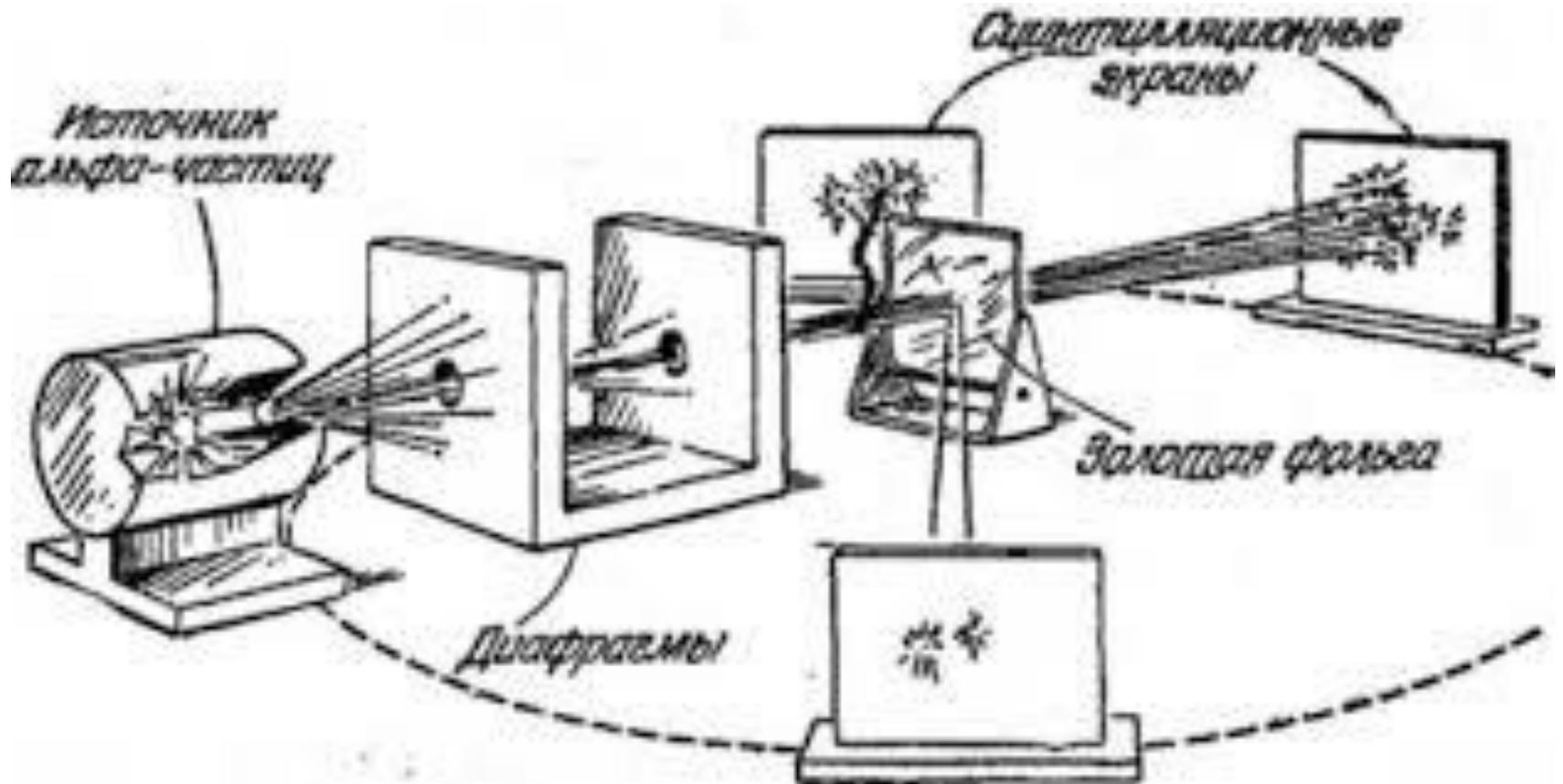
Планетарная модель

Л. ДЕ БРОЙЛЬ
1923

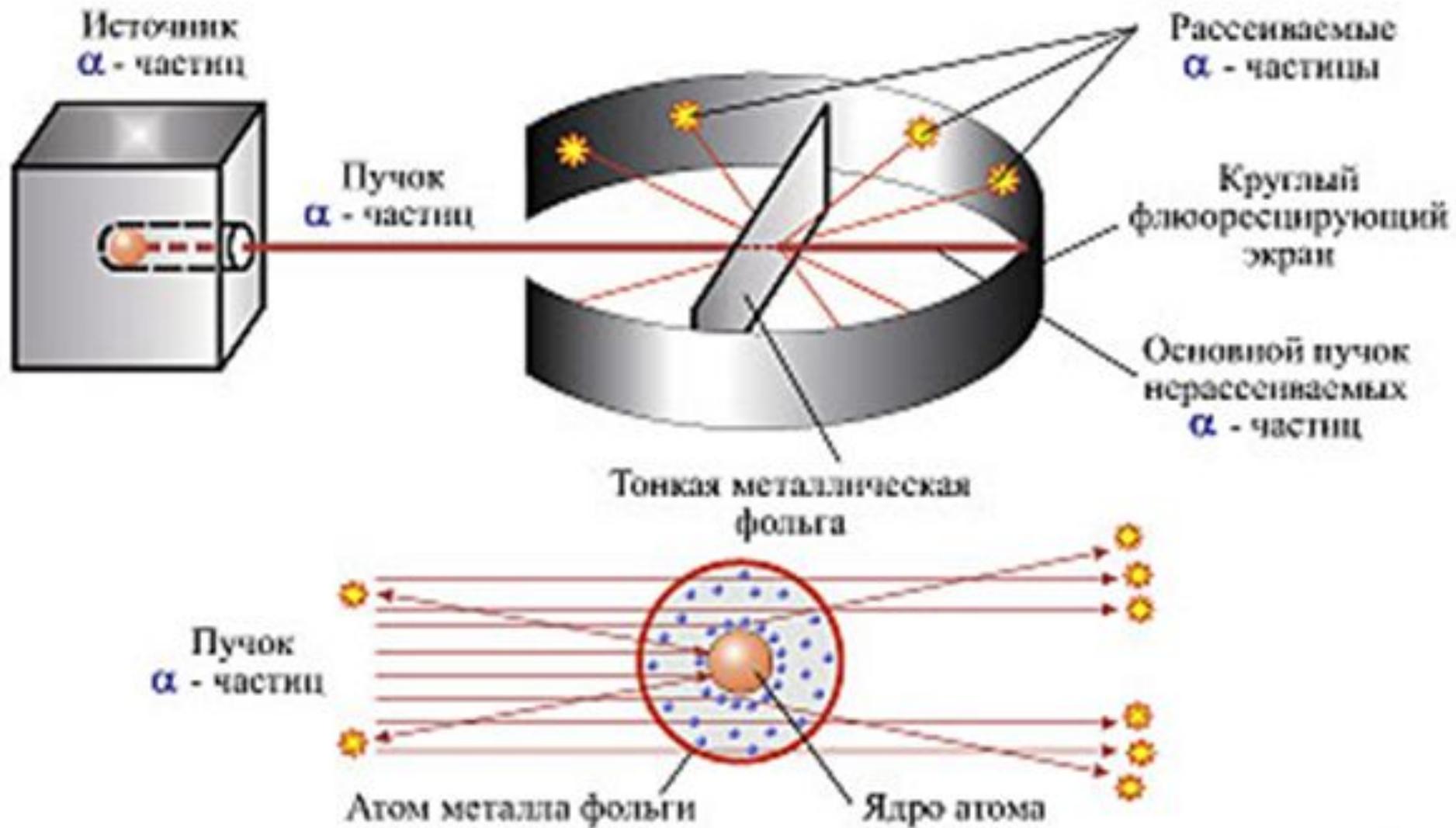


Волновая модель

Опыт Резерфорда



Опыт Резерфорда



Модель атома Бора

$^{11}_5\text{B}$



Himege.ru

Периодическая таблица Д. И. Менделеева

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII						
1	1	(H)							H 1,00797 Водород	He 4,0026 Гелий	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Обозначение элемента</div> <div>Атомный номер</div> </div> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Li 3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Литий 6,939</td> </tr> </table> </div> <div>Относительная атомная масса</div>			Li 3	Литий 6,939
Li 3															
Литий 6,939															
2	2	Li 3 6,939 Литий	Be 4 9,0122 Бериллий	B 5 10,811 Бор	C 6 12,01115 Углерод	N 7 14,0067 Азот	O 8 15,9994 Кислород	F 9 18,9984 Фтор	Ne 10 20,179 Неон						
3	3	Na 11 22,9898 Натрий	Mg 12 24,305 Магний	Al 13 26,9815 Алюминий	Si 14 28,086 Кремний	P 15 30,9738 Фосфор	S 16 32,064 Сера	Cl 17 35,453 Хлор	Ar 18 39,948 Аргон						
4	4	K 19 39,102 Калий	Ca 20 40,08 Кальций	21 44,956 Sc Скандий	22 47,90 Ti Титан	23 50,942 V Ванадий	24 51,996 Cr Хром	25 54,9380 Mn Марганец	26 55,847 Fe Железо	27 58,9330 Co Кобальт	28 58,71 Ni Никель				
	5	29 63,546 Cu Медь	30 65,37 Zn Цинк	31 69,72 Ga Галлий	32 72,59 Ge Германий	33 74,9216 As Мышьяк	34 78,96 Se Селен	35 79,904 Br Бром	36 83,80 Kr Криптон						
5	6	37 85,47 Rb Рубидий	38 87,62 Sr Стронций	39 88,905 Y Иттрий	40 91,22 Zr Цирконий	41 92,906 Nb Ниобий	42 95,94 Mo Молибден	43 [99] Tc Технеций	44 101,07 Ru Рутений	45 102,905 Rh Родий	46 106,4 Pd Палладий				
	7	47 107,868 Ag Серебро	48 112,40 Cd Кадмий	49 114,82 In Индий	50 118,69 Sn Олово	51 121,75 Sb Сурьма	52 127,60 Te Теллур	53 126,9044 I Иод	54 131,30 Xe Ксенон						
6	8	55 132,905 Cs Цезий	56 137,34 Ba Барий	57 138,91 La* Лантан	72 178,49 Hf Гафний	73 180,948 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,2 Re Рений	76 190,2 Os Осмий	77 192,2 Ir Иридий	78 195,09 Pt Платина				
	9	79 196,967 Au Золото	80 200,59 Hg Ртуть	81 204,37 Tl Таллий	82 207,19 Pb Свинец	83 208,980 Bi Висмут	84 [210]* Po Полоний	85 [210] At Астат	86 [222] Rn Радон						
7	10	87 [223] Fr Франций	88 [226] Ra Радий	89 [227] Ac** Актиний	104 [261] Rf Резерфордий	105 [262] Db Дубний	106 [263] Sg Сиборгий	107 [262] Bh Борий	108 [265] Hs Хассий	109 [266] Mt Майтнерий	110 [271] Ds Дармштадтий				
	11	111 [272] Rg Рентгений	112 [285] Cn Коперниций	113 [286] Nh Нихоний	114 [286] Fl Флеровий	115 [286] Mc Московский	116 [286] Lv Ливерморий	117 [286] Ts Теннессин	118 [294] Og Оганесон						

Лантаноиды*	58 140,12 Ce Церий	59 140,907 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 [147]* Pm Прометий	62 150,35 Sm Самарий	63 151,96 Eu Европий	64 157,25 Gd Гадолиний	65 158,924 Tb Тербий	66 162,50 Dy Диспрозий	67 164,930 Ho Гольмий	68 167,26 Er Эрбий	69 168,934 Tm Тулий	70 173,04 Yb Иттербий	71 174,97 Lu Лютеций
Актиноиды**	90 232,038 Th Торий	91 [231] Pa Протактивий	92 238,03 U Уран	93 [237] Np Нептуний	94 [244] Pu Плутоний	95 [243] Am Америций	96 [247] Cm Кюрий	97 [247] Bk Берклий	98 [252]* Cf Кальфорний	99 [254] Es Эйнштейний	100 [257] Fm Фермий	101 [257] Md Менделевий	102 [255] No Нобелий	103 [256] Lr Лоуренсий

Схема строения атома химического элемента

Относительная атомная масса
(округленное до целого числа
значение)

записывается в верхнем левом углу

23

Заряд ядра атома (Z) натрия

11 **Na**

+11

порядковый номер

11p⁺

11e⁻

12 n⁰

Число электронных слоев
в электронной оболочке
атома равно номеру
периода, в котором
расположен элемент

Максимальное число
электронов
на уровне вычисляется
по формуле:
 $2n^2$

$$2 \cdot 1^2 = 2$$

$$2 \cdot 2^2 = 8$$

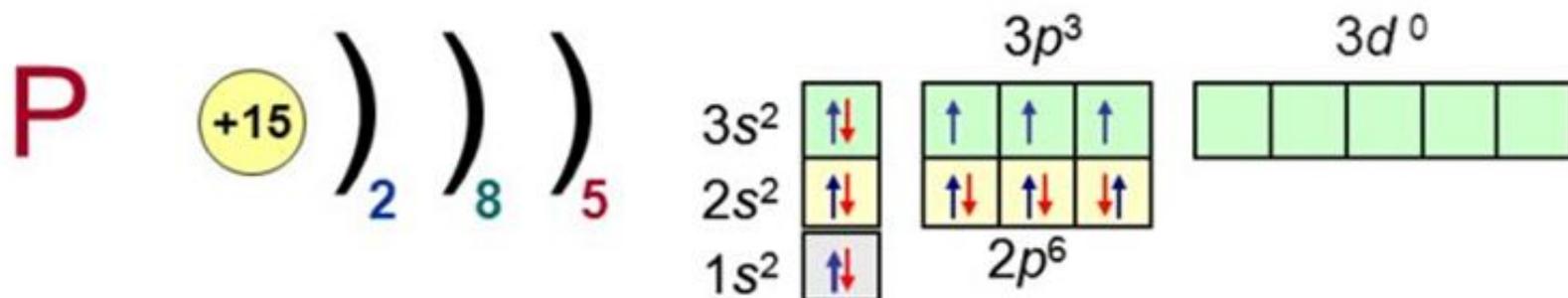
$$2 \cdot 3^2 = 18$$

Число **электронов на внешнем уровне** для
элементов главных подгрупп **равно номеру
группы**, в которой расположен элемент

Сравнение строения атома азота и фосфора



Для азота, атомы которого не имеют близких по значению энергии вакантных d -орбиталей, валентность равна **IV**



В атоме фосфора и других элементов VA группы появляются пять вакантных d -орбиталей, на которые и могут перейти в результате распаривания спаренные s -электроны внешнего уровня, валентность - **V** :



Первый постулат Бора

Электроны движутся вокруг ядер по круговым орбитам, среди которых разрешенными оказываются только определенные орбиты. Когда электроны находятся на этих орбитах атом не излучает:

Условие квантование орбит: $m u r = n \hbar$,

где m - масса электрона,

u – скорость электрона,

r – радиус орбиты,

n – порядок орбиты 1,2,3...,

\hbar – постоянная Планка $\hbar = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с



Энергетические уровни атома

Энергия электрона в атоме не произвольна: она может иметь лишь определенный (дискретный) ряд значений $E_1, E_2, E_3 \dots E_n$, называемых уровнями энергии. Значения эти различны для разных атомов. Набор дозволённых значений энергии носит название энергетического спектра атома. В нормальных условиях (при отсутствии внешних воздействий) большая часть электронов в атомах пребывает на самом низком возбужденном уровне E_1 , т.е. атом обладает минимальным запасом внутренней энергии; остальные уровни $E_2, E_3 \dots E_n$, соответствуют более высокой энергии атома и называются возбужденными.



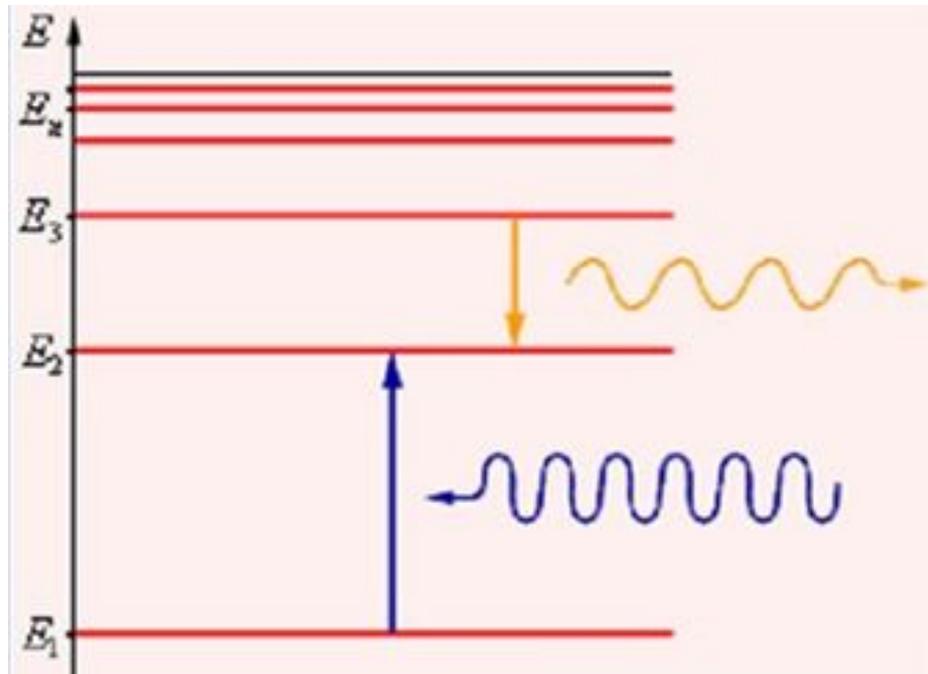
Второй постулат Бора

При переходе электрона с одного уровня энергии на другой атом может испускать или поглощать электромагнитные волны, частота которых может быть определена из следующего соотношения $\nu = (E_m - E_n)/\hbar$, где

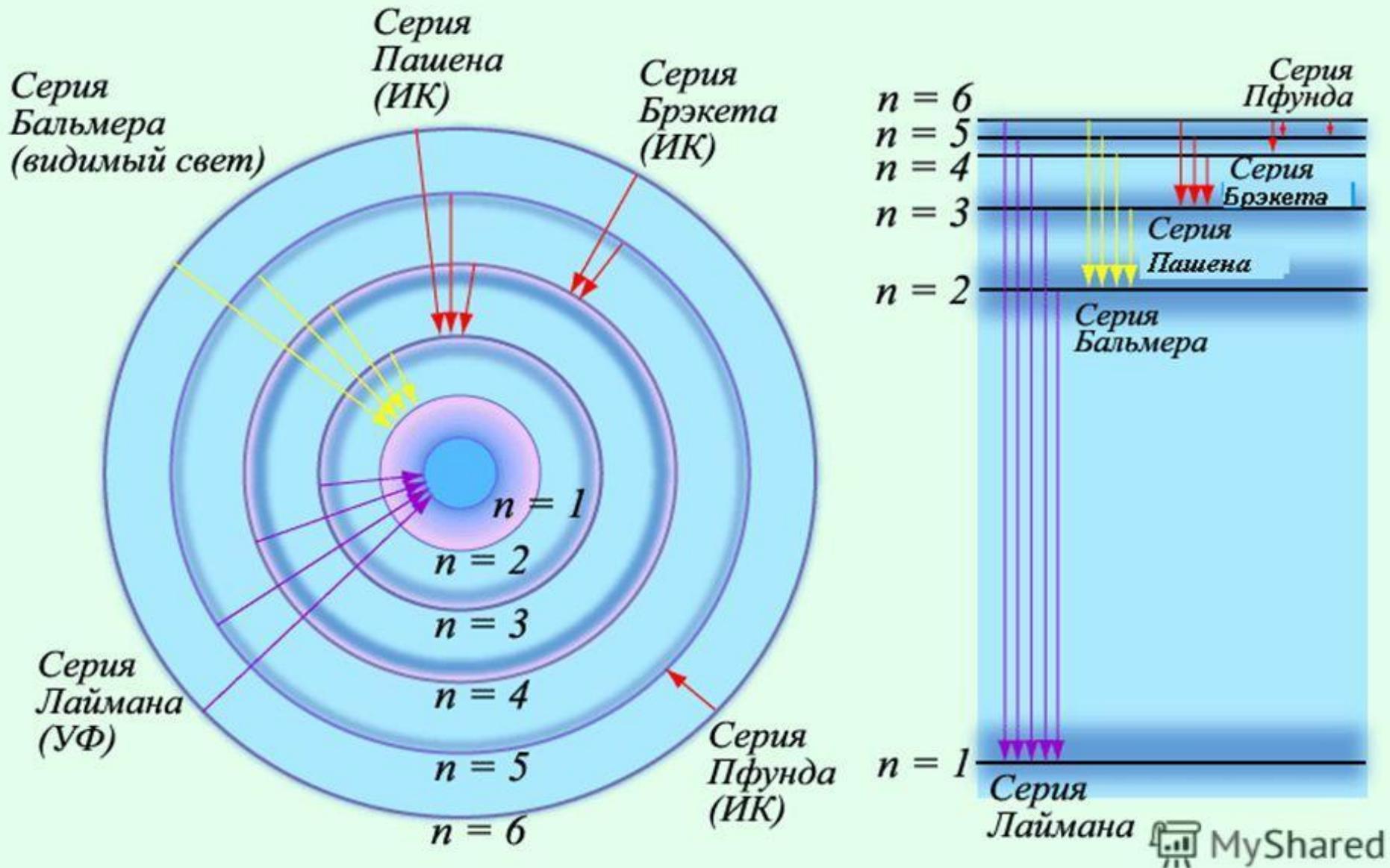
ν - частота

\hbar - постоянная Планка ($\hbar = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с);

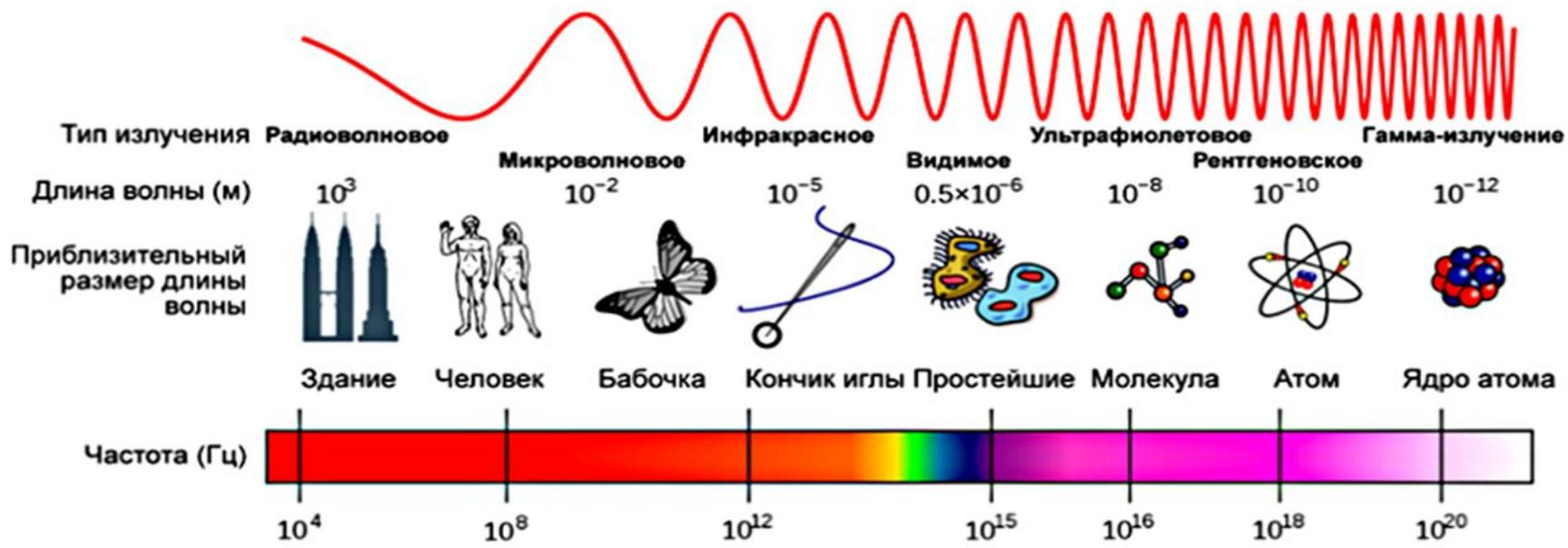
E_m - начальный уровень, E_n - конечный.



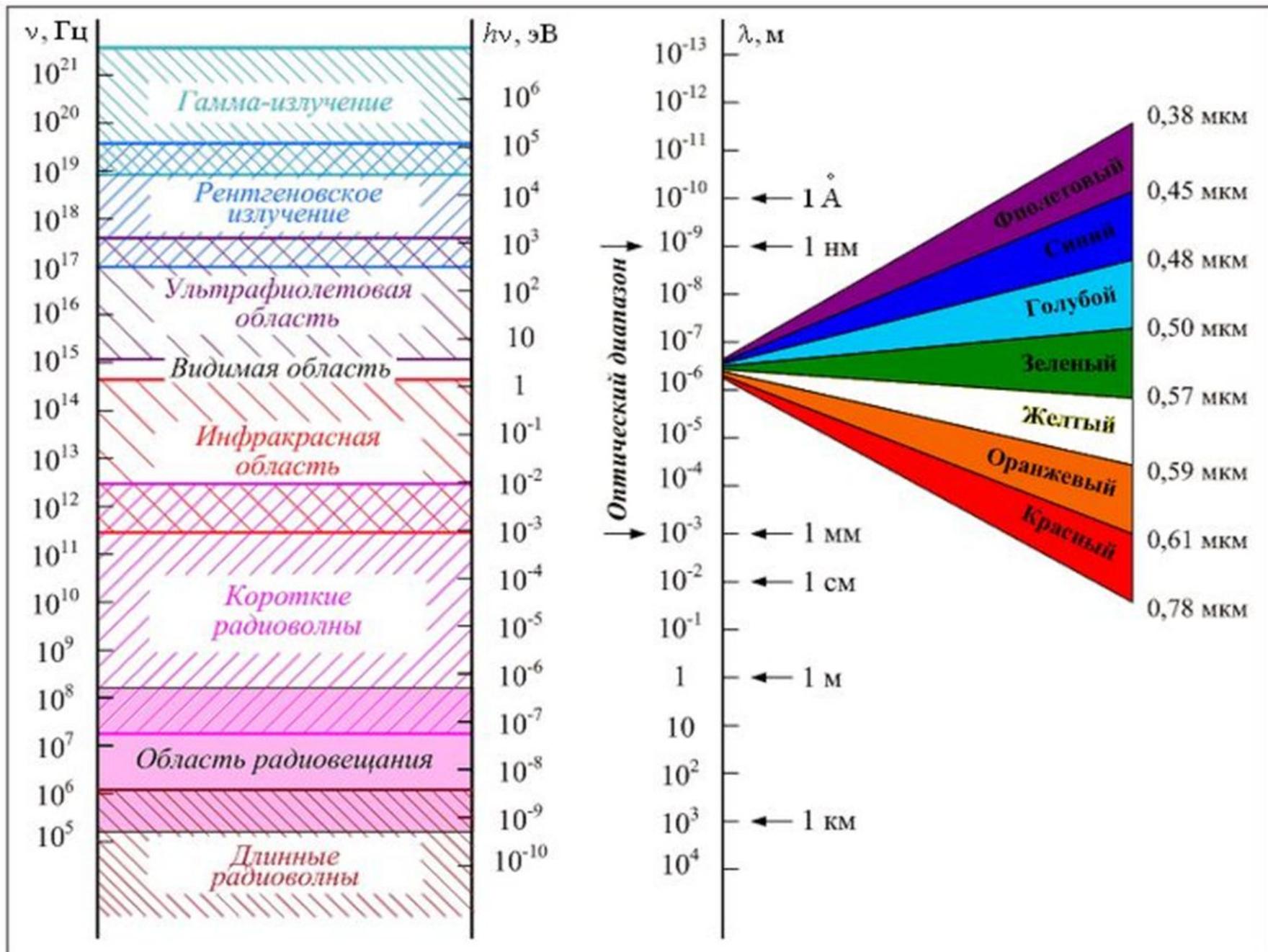
Модель атома водорода по Бору



Шкала электромагнитных волн



Шкала электромагнитных волн



Открытие рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение было открыто Вильгельмом

Конрадом Рентгеном. Изучая экспериментально катодные

лучи, 8 ноября 8 ноября 1895 года он заметил, что

находившийся вблизи катодно-лучевой трубки картон, покрытый бариумом, начинает светиться в тёмной комнате.

Поскольку катодные лучи не проходят через чёрную бумагу и не способны вызывать флюоресценции, существуют какие-то новые, неизвестные лучи.



Открытие рентгеновского излучения

За открытие рентгеновских лучей Рентгену в 1903 году была присуждена первая Нобелевская премия по физике. Свой вклад в известность Рентгена внесла также знаменитая фотография руки [Альберта фон Кёлликера](#), которую он опубликовал в своей статье. В других странах используется предпочитаемое Рентгеном название — X-лучи.



Открытие рентгеновского излучения

8 лет до открытия X – лучей [Никола Тесла](#) в дневниковых записях зафиксировал результаты исследования тормозного излучения, однако не придал серьёзное значение этим наблюдениям. После открытия Рентгена, Никола Тесла, используя свое устройство, сделал снимок своей ноги и отправил коллеге вместе с поздравлениями.



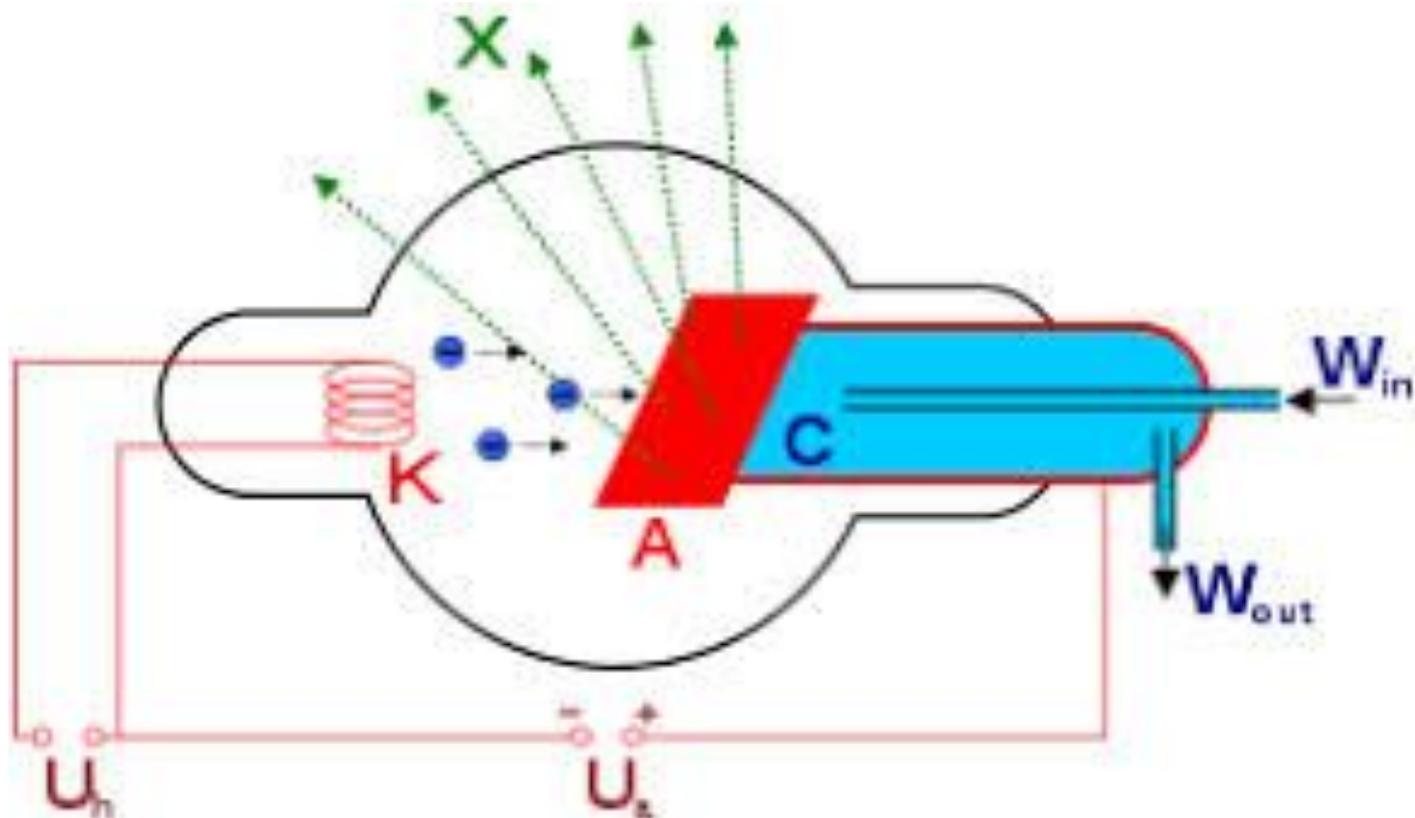
Катодно-лучевая трубка

Катодно-лучевая трубка, которую Рентген использовал в своих экспериментах, была разработана [Й. Хитторфом](#) трубка, которую Рентген использовал в своих экспериментах, была разработана Й. Хитторфом и [В. Круксом](#).



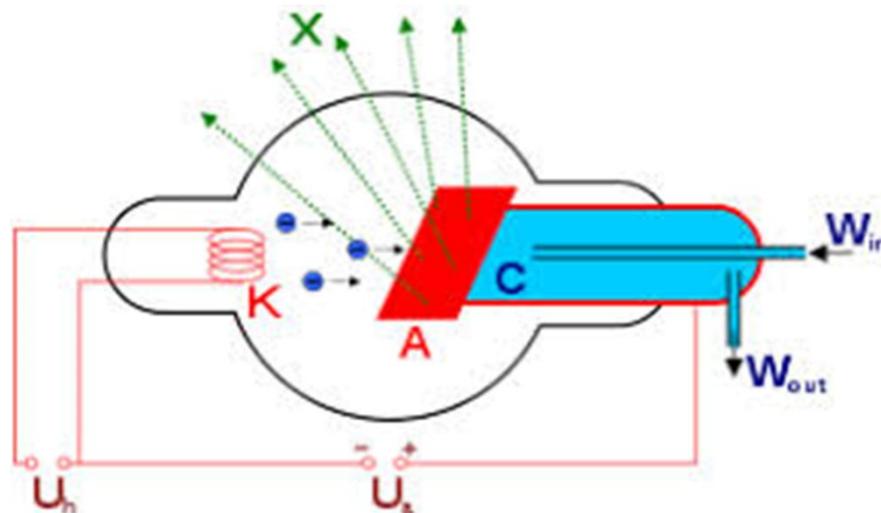
Рентгеновское излучение

Схематическое изображение рентгеновской трубки: К — катод, А — анод, С — теплоотвод, U_h — напряжение накала катода, U_a — ускоряющее напряжение, W_{in} — впуск водяного охлаждения, W_{out} — выпуск водяного охлаждения, X — рентгеновские лучи



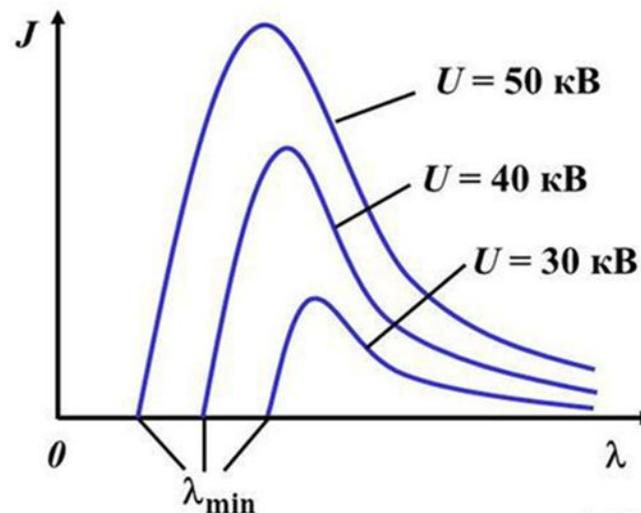
Механизм рентгеновского излучения

Электроны, испущенные катодом ускоряются под действием разности электрических потенциалов между анодом и катодом и ударяются об анод и резко тормозятся. С движущимся электрическим зарядом связано магнитное поле, индукция которого зависит от скорости электрона. При торможении уменьшается магнитная индукция и появляется электромагнитная волна. При торможении электронов лишь часть энергии идет на создание фотона рентгеновского излучения, другая часть расходуется на нагревание анода. Так как соотношение между этими частями случайно, то при торможении большого количества электронов образуется непрерывный спектр рентгеновского излучения. Оно характеризуется разнообразием длин волн, которое может быть представлено *сплошным (непрерывным) спектром*.



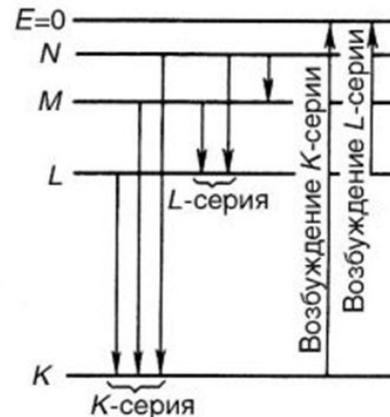
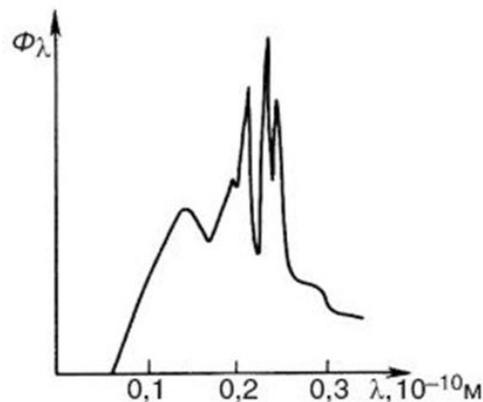
Тормозное рентгеновское излучение

Зависимость потока рентгеновского излучения от длины волны λ (спектры) при разных напряжениях в рентгеновской трубке: $U_1 < U_2 < U_3$. Рентгеновские лучи не могут иметь энергию большую, чем кинетическая энергия образующих их электронов. Наименьшая длина волны рентгеновского излучения соответствует максимальной кинетической энергии тормозящихся электронов. Чем больше разность потенциалов в рентгеновской трубке, тем меньшие длины волны рентгеновского излучения можно получить.



Характеристическое рентгеновское излучение

Характеристическое рентгеновское излучение имеет не сплошной, а *линейчатый спектр*. Этот тип излучения возникает, когда быстрый электрон, достигая анода, проникает во внутренние орбиты атомов и выбивает один из их электронов. В результате появляется свободное место, которое может быть заполнено другим электроном, спускающимся с одной из верхних атомных орбит. Такой переход электрона с более высокого на более низкий энергетический уровень вызывает рентгеновское излучение определенной длины волны. Поэтому характеристическое рентгеновское излучение имеет *линейчатый спектр*. Частота излучения зависит от структуры электронных орбит атомов анода. При этом испускается рентгеновское излучение с характерным для материала анода спектром энергий, частоты определяются законом Мозли: $\nu = A (Z - B)$, где Z — атомный номер элемента анода, A и B — константы для определённого значения главного квантового числа n электронной оболочки.



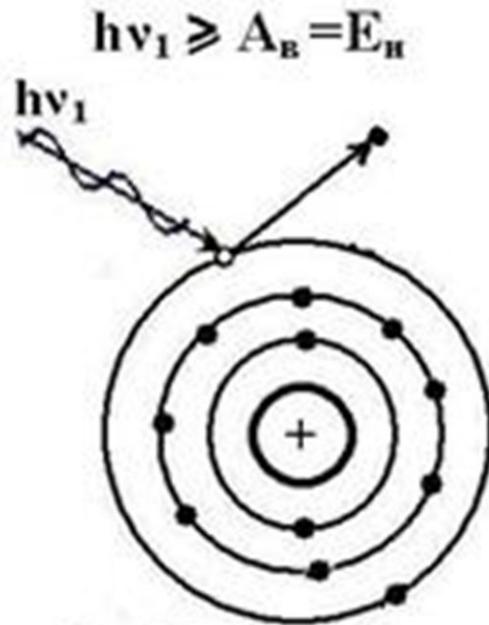
Свойства рентгеновских лучей

Проникающая способность, зависит от плотности тканей (рентгенодиагностика). Флюоресцирующее свойство - способность вызывать свечение некоторых химических веществ (рентгеноскопия). Фотохимическое свойство - способность вызывать почернение плёнки (рентгенография). Биологическое свойство используют в лучевой терапии для лечения, повреждающее действие вызывает необходимость защиты. Интенсивность рентгеновских лучей экспоненциально убывает в зависимости от пройденного пути в поглощающем слое ($I = I_0 e^{-kd}$, где d — толщина слоя, k коэффициент зависит от $Z^3 \lambda^3$, где Z — атомный номер элемента, λ — длина волны). Поглощение происходит в результате фотоэффекта и рассеивания.



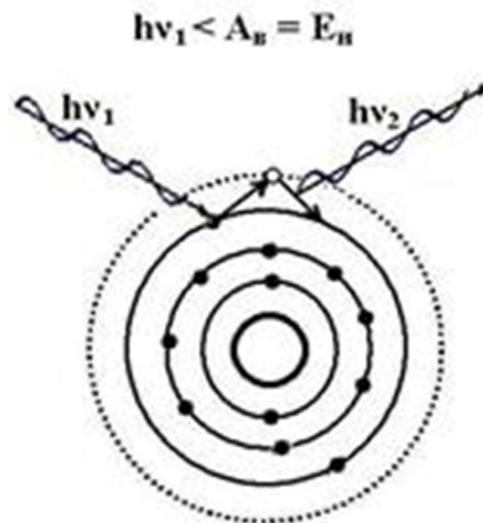
Фотоэффект

При выбивании фотоном электрона из оболочки атома, необходимо чтобы энергия фотона была больше работы выхода электрона из вещества. Фотон рентгеновского излучения взаимодействует с валентным электроном вещества, отдает ему свою энергию. Электрон получив энергию оставляет вещество, часть полученной энергии затрачивается на совершение работы выхода из вещества, а оставшаяся часть энергии преобразуется в кинетическую энергию свободного электрона $h\nu_1 = E_{\text{и}} + mv^2/2$. Таким образом в результате фотоэффекта атом вещества превращается в положительный ион и появляется свободный электрон, фотон исчезает.



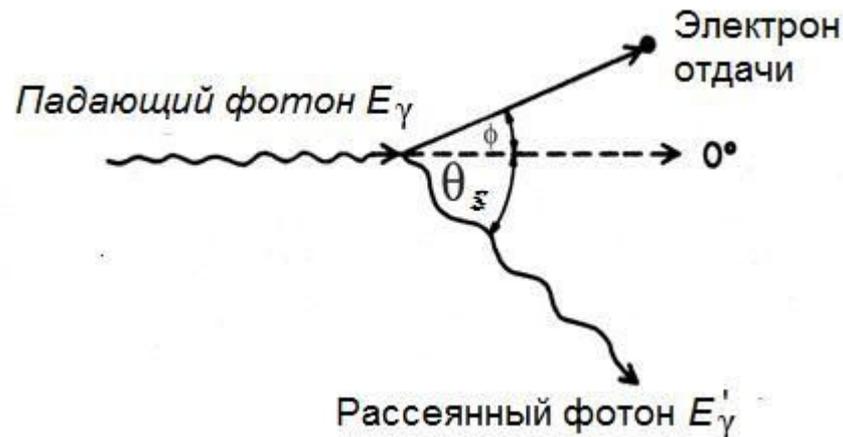
Когерентное рассеивание

Если энергия падающего рентгеновского фотона $h\nu_1$ меньше работы выхода электрона из вещества $h\nu_1 < E_{\text{и}}$ фотон рентгеновского излучения, встретившись с валентным электроном вещества, отдает ему свою энергию и возбуждает его, в результате электрон переходит на более удаленную орбиту, где не может быть дольше чем 10^{-10} секунд. Он возвращается на свою прежнюю орбиту и излучает энергию $h\nu_2$ в виде электромагнитного излучения рентгеновского диапазона. Когерентным называется потому равны энергии $h\nu_2 = h\nu_1$ и частоты первичного и вторичного излучения $\nu_2 = \nu_1$. Таким образом при когерентном рассеянии в атоме вещества изменений не происходят, излучение изменяет только направление распространения, поэтому называется рассеянием.



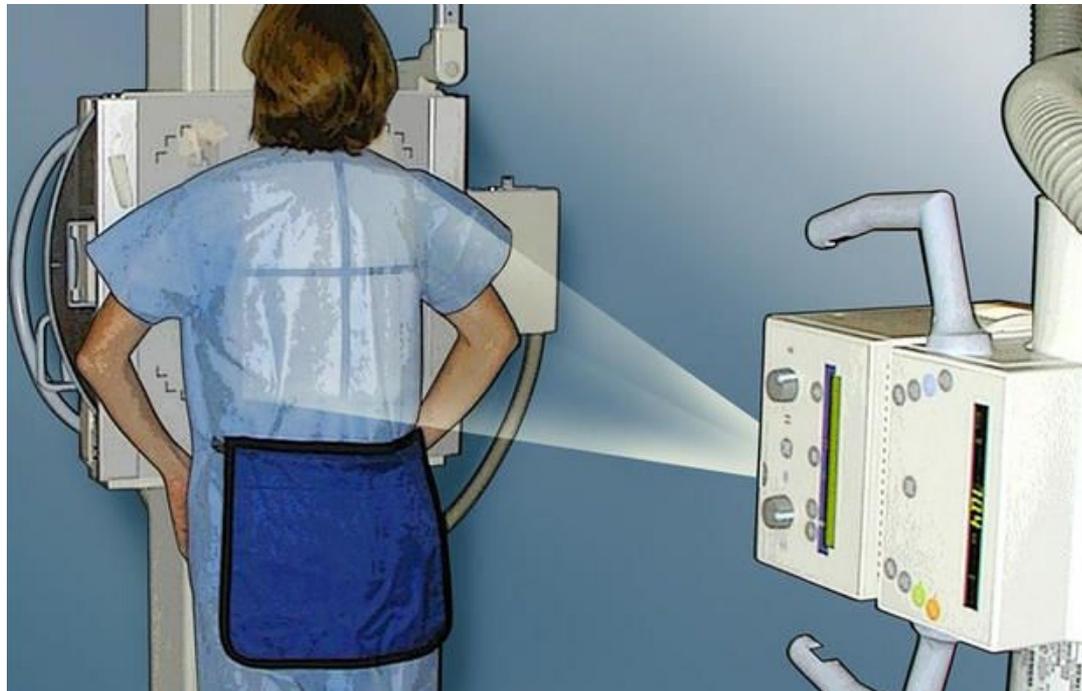
Некогерентное комптоновское рассеяние

При комптоновском рассеянии фотоны в результате взаимодействия со "свободным" электроном передают ему часть своей энергии и сами отклоняются от направления своего первоначального движения на угол θ_s . С увеличением угла рассеяния θ_s энергия, уносимая рассеянным фотоном уменьшается, длина волны увеличивается, а энергия, передаваемая электрону отдачи, возрастает.



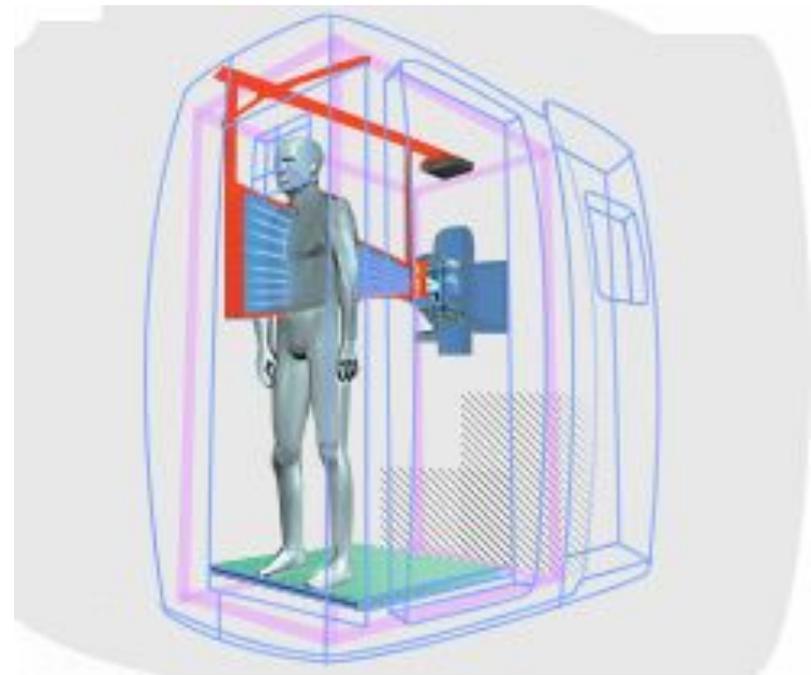
Рентгеноскопия

Костная ткань обладает наибольшей плотностью, а значит, и поглощающей способностью, поэтому при рентгенологическом исследовании даёт затемнение высокой интенсивности. Паренхиматозные органы также выглядят в виде затемнения, но они в 2 раза меньше задерживают рентгеновские лучи, и затемнение имеет среднюю интенсивность. Воздух не задерживает лучи и создаёт просветление. Рентгеноскопия даёт возможность провести обследование функционирования органов человека. Серьезным минусом этого способа исследования является сравнительно большая степень облучения пациента во время сеанса.



Флюорография

Флюорография представляет собой выполнение снимка теневого изображения с просвечивающего экрана. Пациент при таком методе диагностики находится между источником излучения и плоским экраном из люминесцентного вещества. Рентгеновские лучи пройдя сквозь тело человека по разному засвечивают пленку.



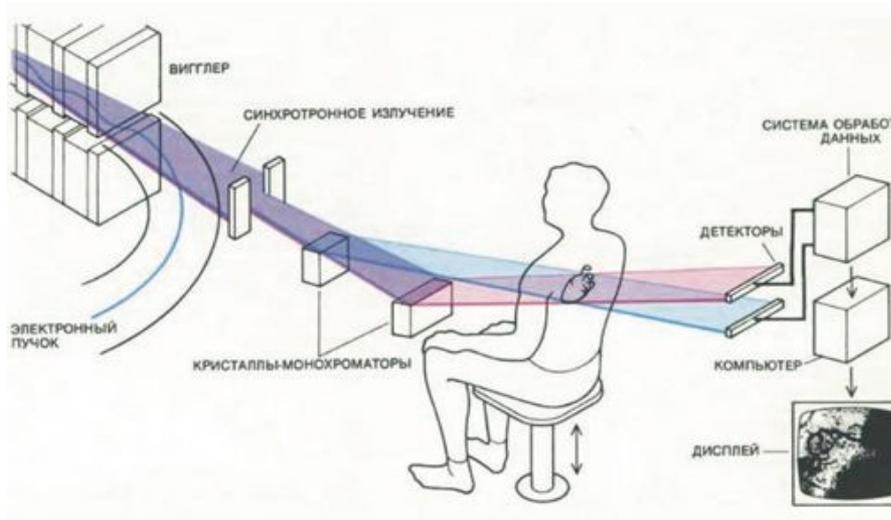
Рентгенография

Объект находится между источником X-лучей и фотопленкой, функция которой — зафиксировать изображение, несущее данные о положении дел органа, именно в этот момент. Повторные рентгенографии предоставляют возможность следить за изменениями в больном органе. Этот способ диагностики очень эффективен в травматологии и стоматологии.



Компьютерная томография

Работа современных томографов построена на следующем принципе: большой пучок X-лучей в форме веера перекрывает объект исследования и проходит через определенные органы тела человека. Результат фиксируется датчиками. Продолжительность процедуры составляет не более 10 с. Томография имеет множество плюсов в сравнении с другими методами рентгенодиагностики. КТ содержит высокое качество картинки на экране компьютера, что позволяет увидеть самые незначительные изменения. Еще одним существенным преимуществом метода можно назвать уменьшение дозы облучения, которую пациент получает во время процедуры.



Открытие радиоактивности



Изображение

фотопластинки

*Беккереля, которая была
засвечена излучением солей
урана. Ясно видна тень
металлического
мальтийского креста,
помещённого между
пластинкой и солью урана.*

Радиоактивность

Радиоактивность - самопроизвольный распад неустойчивых ядер некоторых атомов, сопровождающийся испусканием ионизирующего излучения (радиации).

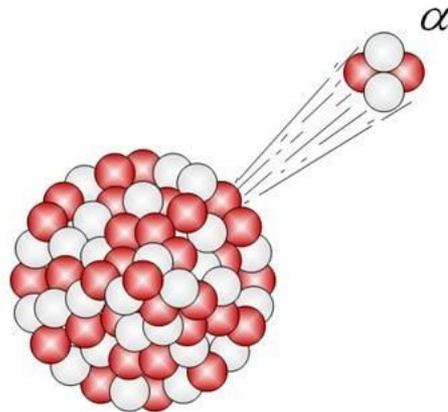
Ионизирующее излучение - поток элементарных частиц или квантов, энергия которых достаточно велика, чтобы вызвать ионизацию атомов и молекул в облучаемом веществе. Основные виды ионизирующего излучения: альфа-частицы, бета-лучи, гамма-лучи, рентгеновские лучи, нейтроны.



Альфа-излучение

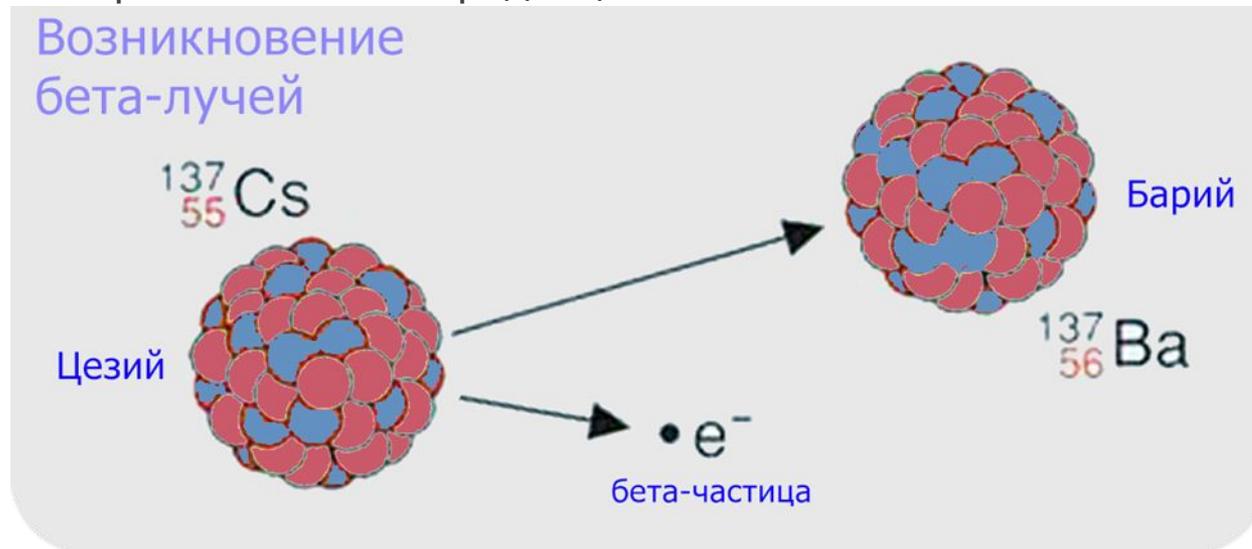
Это поток тяжелых, положительно заряженных α частиц, которыми являются ядра атомов гелия (два нейтрона и два протона). α частицы излучаются при распаде более сложных ядер, например, при распаде атомов урана, радия, тория. α частицы обладают большой массой и излучаются с относительно невысокой скоростью в среднем 20 тыс. км/с, что примерно в 15 раз меньше скорости света. Поскольку α частицы очень тяжелые, то при контакте с веществом, частицы сталкиваются с молекулами этого вещества, начинают с ними взаимодействовать и теряют свою энергию, поэтому проникающая способность α частиц не велика и их способен задержать даже простой лист бумаги. Однако α частицы несут в себе большую энергию и при взаимодействии с веществом вызывают значительную ионизацию атомов. А в клетках живого организма, помимо ионизации, α излучение разрушает ткани, приводя к различным повреждениям живых клеток. Из всех видов радиационного излучения, α излучение обладает наименьшей проникающей способностью, но последствия облучения живых тканей данным видом радиации наиболее тяжелые и значительные по сравнению с другими видами излучения.

При попадании радиоактивных α частиц внутрь организма, например, с воздухом, водой или пищей, а также через порезы или ранения, данные радиоактивные элементы разносятся током крови по организму, накапливаются в тканях и органах, оказывая на них мощное воздействие. Поскольку некоторые виды радиоактивных изотопов, излучающих α частицы имеют продолжительный срок жизни, то попадая внутрь организма, они способны вызвать в клетках серьезные изменения и привести к перерождению тканей и мутациям. *Организм человека не способен нейтрализовать, переработать, усвоить или утилизировать, большинство радиоактивных изотопов, попавших внутрь организма.*



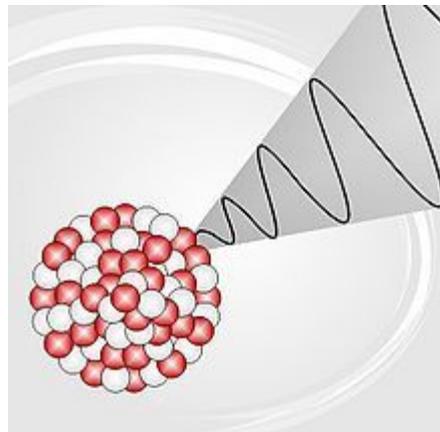
β излучение

При **β излучении**, происходит превращение нейтрона в протон или протона в нейтрон, при этом превращении происходит излучение электрона или позитрона (античастица электрона), в зависимости от вида превращения. Скорость этих излучаемых частиц приближается к скорости света и примерно равна 300 000 км/с. Имея изначально высокую скорость и малые размеры, бета излучение обладает более высокой проникающей способностью чем α излучение, но обладает в сотни раз меньшей способностью ионизировать вещество. Бета излучение с легкостью проникает сквозь одежду и частично сквозь живые ткани, но при прохождении через более плотные структуры вещества, например, через металл, начинает с ним интенсивно взаимодействовать и теряет большую часть своей энергии передавая ее элементам вещества. Металлический лист в несколько миллиметров может полностью остановить бета излучение. Если α излучение представляет опасность только при непосредственном контакте с радиоактивным изотопом, то β излучение в зависимости от его интенсивности, уже может нанести существенный вред живому организму на расстоянии несколько десятков метров от источника радиации.



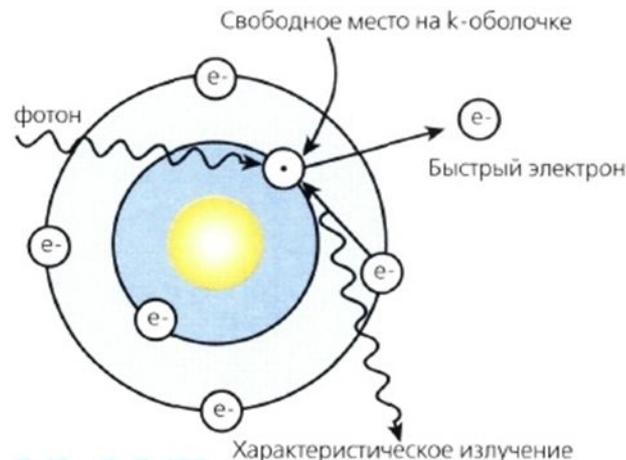
Гамма излучение

Гамма-лучи - кванты электромагнитного излучения высокой энергии с длиной волны короче 0,01 нм. Способны распространяться на большие расстояния. Гамма излучение сопровождает процесс распада атомов вещества, это энергетическое электромагнитное излучение в виде фотонов. Гамма лучи излучаются ядром со скоростью света. Когда происходит радиоактивный распад атома атомы вновь образованных веществ находятся в энергетически нестабильном (возбужденном) состоянии. Когда силы взаимодействия уравниваются, нейтроны и протоны в ядре приходят к стабильному состоянию, а излишки энергии выбрасываются атомом в виде гамма излучения. Гамма излучение обладает высокой проникающей способностью и с легкостью проникает сквозь одежду, живые ткани, сложнее через плотные структуры вещества. Чтобы остановить гамма излучение потребуется значительная толщина стали или бетона. Но при этом гамма излучение в сто раз слабее оказывает действие на вещество чем бета излучение и десятки тысяч раз слабее чем альфа излучение. Основная опасность гамма излучения - это его способность преодолевать значительные расстояния и оказывать воздействие на живые организмы за несколько сотен метров от источника гамма излучения.



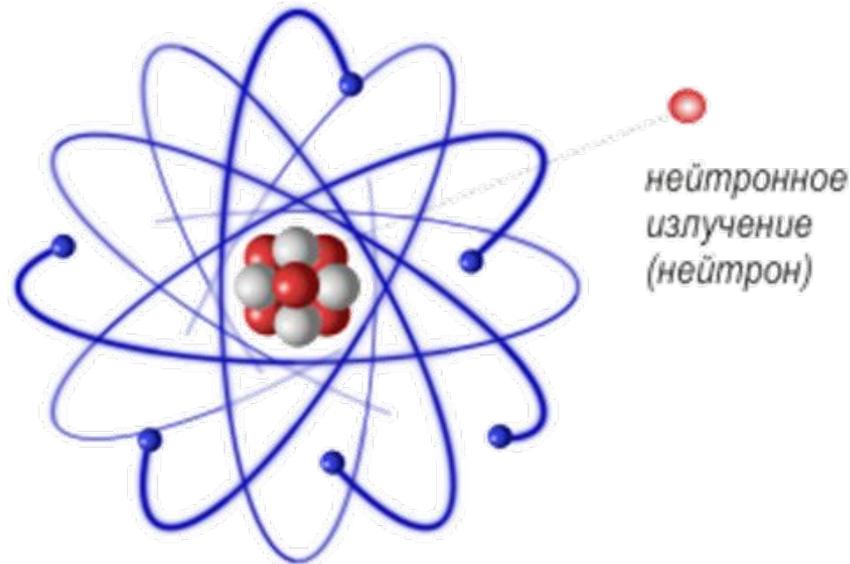
Рентгеновское излучение

Рентгеновские лучи - кванты электромагнитного излучения с длиной волны от 0,01нм. до 100 нм. Это энергетическое электромагнитное излучение в виде фотонов, возникающие при переходе электрона внутри атома с одной орбиты на другую. Рентгеновское излучение сходно по действию с гамма излучением, но обладает меньшей проникающей способностью, потому что имеет большую длину волны.



Нейтронное излучение

Нейтронное излучение - это техногенное излучение, возникающие в различных ядерных реакторах и при атомных взрывах. Не обладая зарядом, нейтронное излучение сталкиваясь с веществом, слабо взаимодействует с элементами атомов, поэтому обладает высокой проникающей способностью. Остановить нейтронное излучение можно с помощью материалов с высоким содержанием водорода (вода, полиэтилен). Нейтронное излучение при прохождении через биологические ткани, причиняет клеткам серьезный ущерб, так как обладает значительной массой и более высокой скоростью чем альфа излучение.



Закон радиоактивного распада

$T_{1/2}$ - период полураспада ...

$$t=0$$

$$N_0$$

$$t_1 = T_{1/2}$$

$$N = \frac{N_0}{2}$$

$$t_2 = 2 T_{1/2}$$

$$N = \frac{N_0}{2^2}$$

...

$$t_n = n T_{1/2}$$

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

$$n =$$

$$\frac{t}{T_{1/2}}$$

⇒

$$N = N_0 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}}$$

Единицы радиоактивности

Радиоактивное излучение возникает при распаде атомных ядер.

Радиоактивность – это количество ядерных распадов, происходящих в образце вещества за одну секунду. Измеряется в **беккерелях**:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$$



Дозиметрия

Доза ионизирующего излучения — количество энергии ионизирующей радиации, поглощенной единицей массы любой облучаемой среды. **Мощность дозы** — доза излучения в единицу времени. **Дозиметрия** — это измерение дозы или ее мощности.

Основная задача дозиметрии — определение дозы излучения в различных средах и в тканях живого организма.

Значение дозиметрии:

- для количественной и качественной оценки доз ионизирующих излучений при внешнем и внутреннем облучении организма
- для обеспечения безопасности при работе с радиоактивными веществами
- для обнаружения источников излучения.

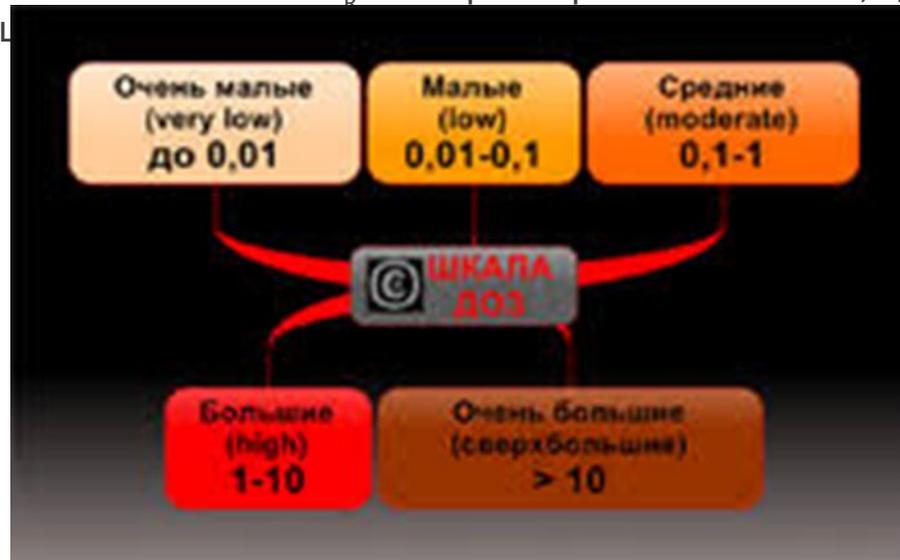


Дозы облучения

Экспозиционная доза (X) — количественная характеристика поля источника ионизирующего излучения (гамма или рентгеновского), характеризующая величину ионизации сухого воздуха при атмосферном давлении. Мощность экспозиционной дозы — величина, выраженная в мР/ч или мкР/ч.

Поглощенная доза (D) — количество энергии, поглощаемое единицей массы облучаемого вещества. Системная единица поглощенной дозы. 1 Дж/кг = 1 Гр (Грей)

Эквивалентная доза (HTR) — мера выраженности биологического эффекта облучения. При расчете эквивалентной дозы используют взвешивающие коэффициенты как множители поглощенной дозы: $H_{TR} = \sum W_R * D_{TR}$, где D_{TR} — средняя поглощенная доза от излучения R в ткани или органе T; W_R — взвешивающий коэффициент для излучения R: фотоны любых энергий -1, электроны любых энергий -1, альфа-частицы - 20, нейтроны с энергией: менее 10 кэВ - 5, от 10 кэВ до 100 кэВ - 10, от 100 кэВ до 2 МэВ - 20, от 2 МэВ до 20 МэВ -10, более 20 МэВ - 5. Так как W_R — безразмерный множитель, единица для эквивалентной дозы та же, что и для поглощенной.



Дозы облучения



Уровни радиоактивного облучения

Результаты воздействия радиоактивного облучения в различных дозах:



Дозы радиационного облучения, которые влияют на здоровье или ведут к летальному исходу

Зиверт (Зв) — единица эквивалентной дозы излучения в системе СИ*

1 Зв = 100 Бэр**

* Международная система единиц

** Бэр — единица эквивалентной дозы любого вида ионизирующего излучения

Наиболее вероятные эффекты при кратковременном облучении

- ▶ **10000 мЗв (10 Зв)** — смерть в течение нескольких недель
- ▶ **Между 2000 и 10000 мЗв (2 - 10 Зв)** — острая лучевая болезнь с вероятным фатальным исходом
- ▶ **1000 мЗв (1 Зв)** — риск появления раковых заболеваний многими годами позже

Нормальный радиационный фон

3 мЗв/в год — естественные природные источники ионизирующего излучения, включая мощность дозы почти в 2 мЗв/в год от радона в воздухе. Эти уровни радиации близки к минимальным дозам, получаемым всеми людьми на планете

Типичный радиационный фон

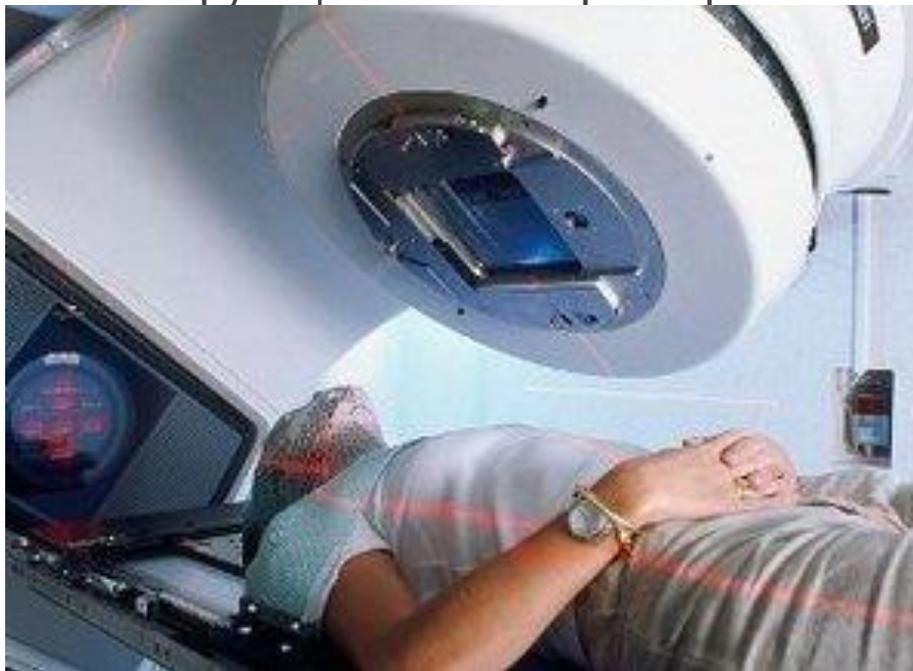
0,3 - 0,6 мЗв/в год — искусственные источники излучения, главным образом медицинские

Фоновая радиация

0,05 мЗв/в год — уровень, требуемый по нормам безопасности, вблизи ядерных электростанций. Фактическая доза вблизи ядерных объектов намного меньше

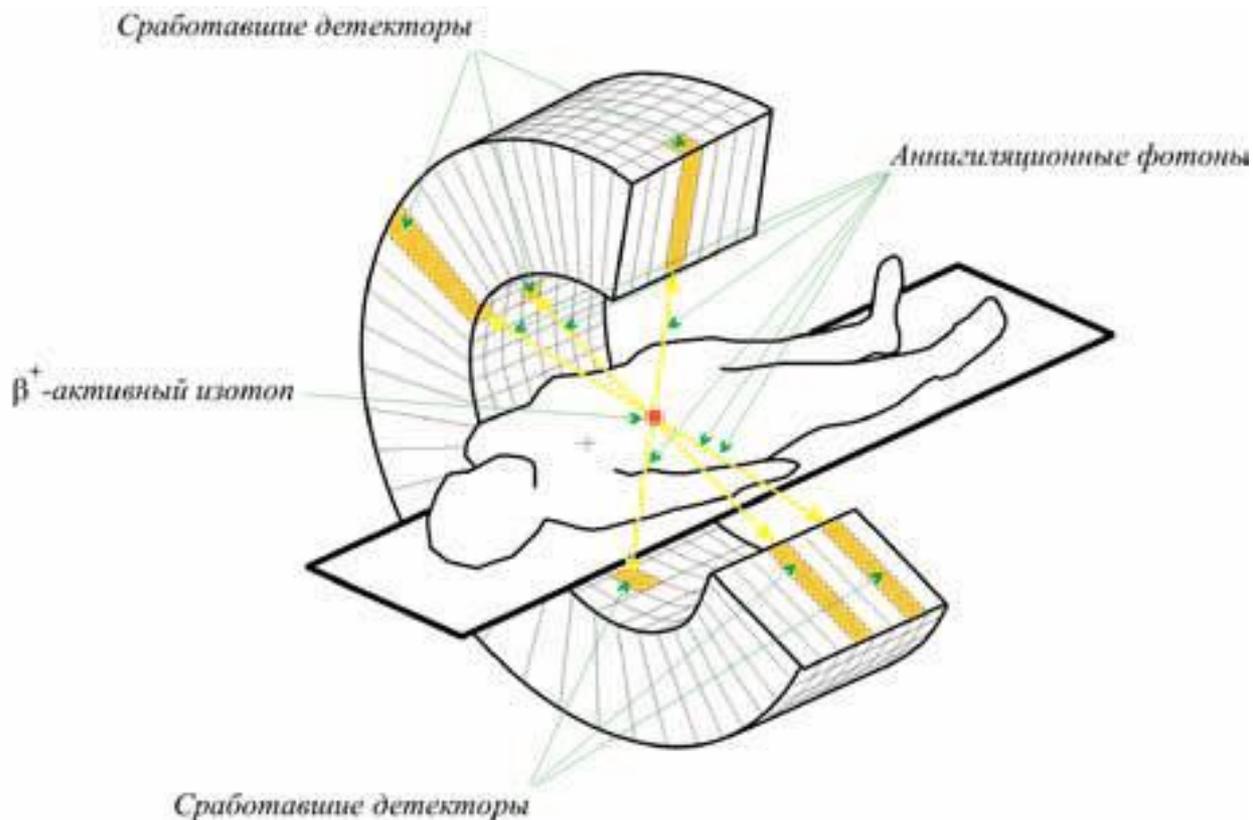
Радиация в медицине

Радиотерапия (или лучевая терапия) — это лечение ионизирующими излучениями. Применяется главным образом для воздействия на опухоли. Однако лучевая терапия может быть использована при лечении других заболеваний (воспалительных, маститах, панариции, гидрадените, экземе, нейродермите и др.). К этому виду терапии обращаются, когда другие методы лечения оказываются безуспешными. Радикальное лечение предусматривает полное уничтожение, как первичного очага опухоли, так и возможных метастазов. Паллиативное лечение преследует цель задержать рост и развитие опухоли, продлить жизнь больному. Симптоматическое лечение назначается, чтобы снять какие-либо тяжелые проявления опухолевого роста, например, сдавливание опухолью прилежащих органов с развитием тяжелых функциональных расстройств.



Радиация в медицине

Некоторые радиоактивные ядра при распаде испускают позитроны. Такой позитрон быстро тормозится в веществе и аннигилирует с одним из электронов среды, образуя два гамма-кванта, разлетающихся в противоположных направлениях. Поэтому одновременное срабатывание двух из окружающих пациента детекторов будет означать, что распавшееся радиоактивное ядро находилось на линии, соединяющей эти два детектора. Эта диагностическая методика основанная на методе совпадений носит название позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ, англ. PET).



Родоновые ванны

Родоновые воды – минеральные воды различного состава, содержащие радиоактивный газ – радон. Оптимальная концентрация радона должна быть около 40 нКи/л.

- В 1900 году, на конгрессе в Лиссабоне П. Кюри и А.Бошар доложили о лечебном применении радоновых вод.

В настоящее время в мире известно около 300 радоновых курортов

Наиболее известные:

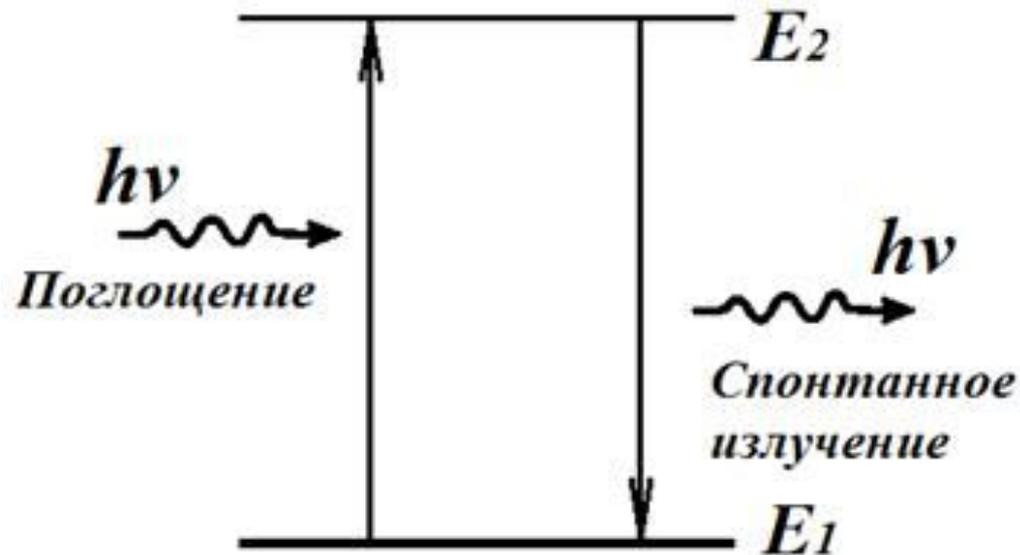
- Гаштейн (Австрия), Бад-Брамбах (Германия), Киссинген (Германия), Мисаса (Япония), Момин Проход (Болгария), Яхимов (Чехия), Люшон (Франция) Ангано (Италия), Хмельник (Украина), Цхалтубо (Грузия),

В России: Пятигорск, Алтайский край, Читинская область, Иркутская область, Красноярский край



Спонтанное излучение

Всякое возбужденное состояние атома неустойчиво, и всегда существует вероятность его самопроизвольного перехода в более низкое энергетическое состояние с испусканием кванта электромагнитного излучения. Такой переход называют спонтанным (самопроизвольным). Он носит нерегулярный, хаотический характер. Все обычные источники дают свет в результате спонтанного излучения. Таков первый механизм испускания (электромагнитного излучения). В рассмотренной двухуровневой схеме испускания света никакого усиления излучения добиться не удастся. Поглощенная энергия $\hbar\nu$ выделяется в виде кванта с той же энергией $\hbar\nu$ и можно говорить о термодинамическом равновесии: процессы возбуждения атомов в газе всегда уравновешены обратными процессами излучения.



Энергетические уровни атома водорода

При объединении атомов происходит размытие верхних узких энергетических уровней в энергетические зоны разрешенных энергий

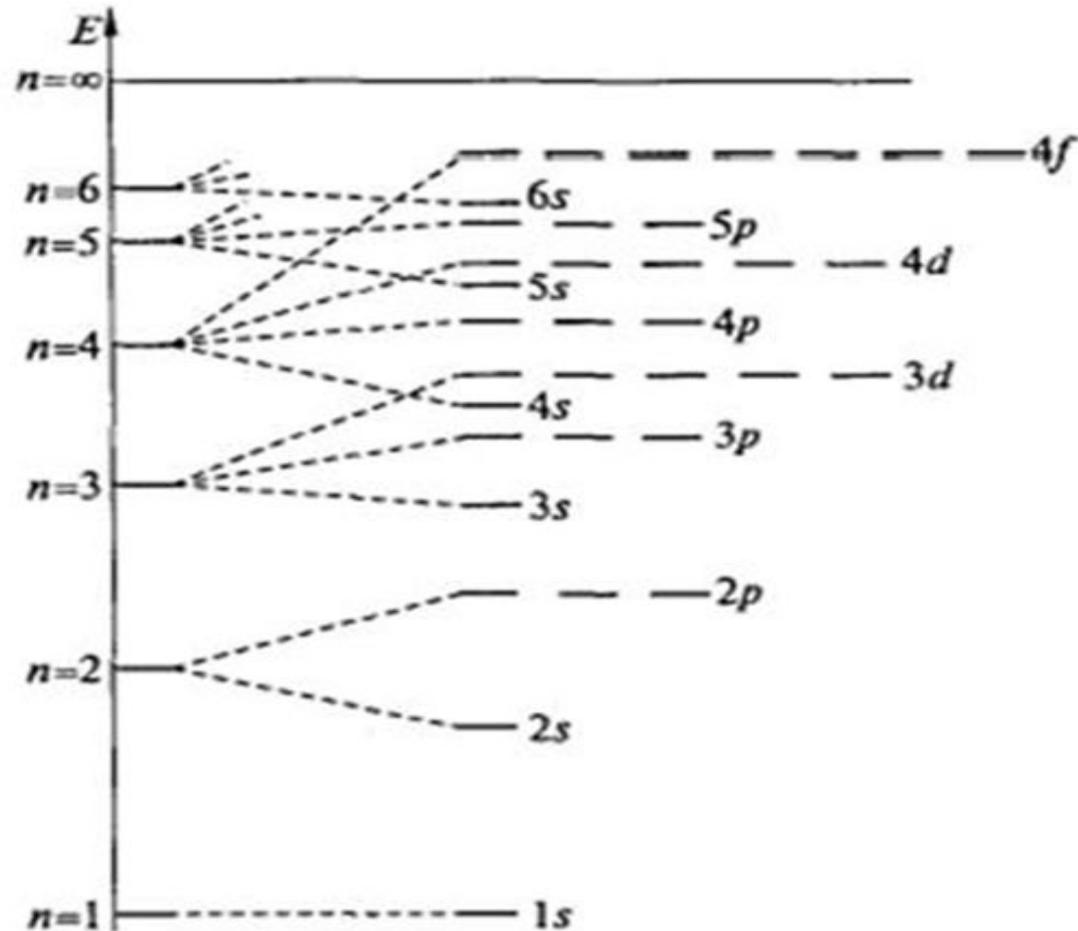
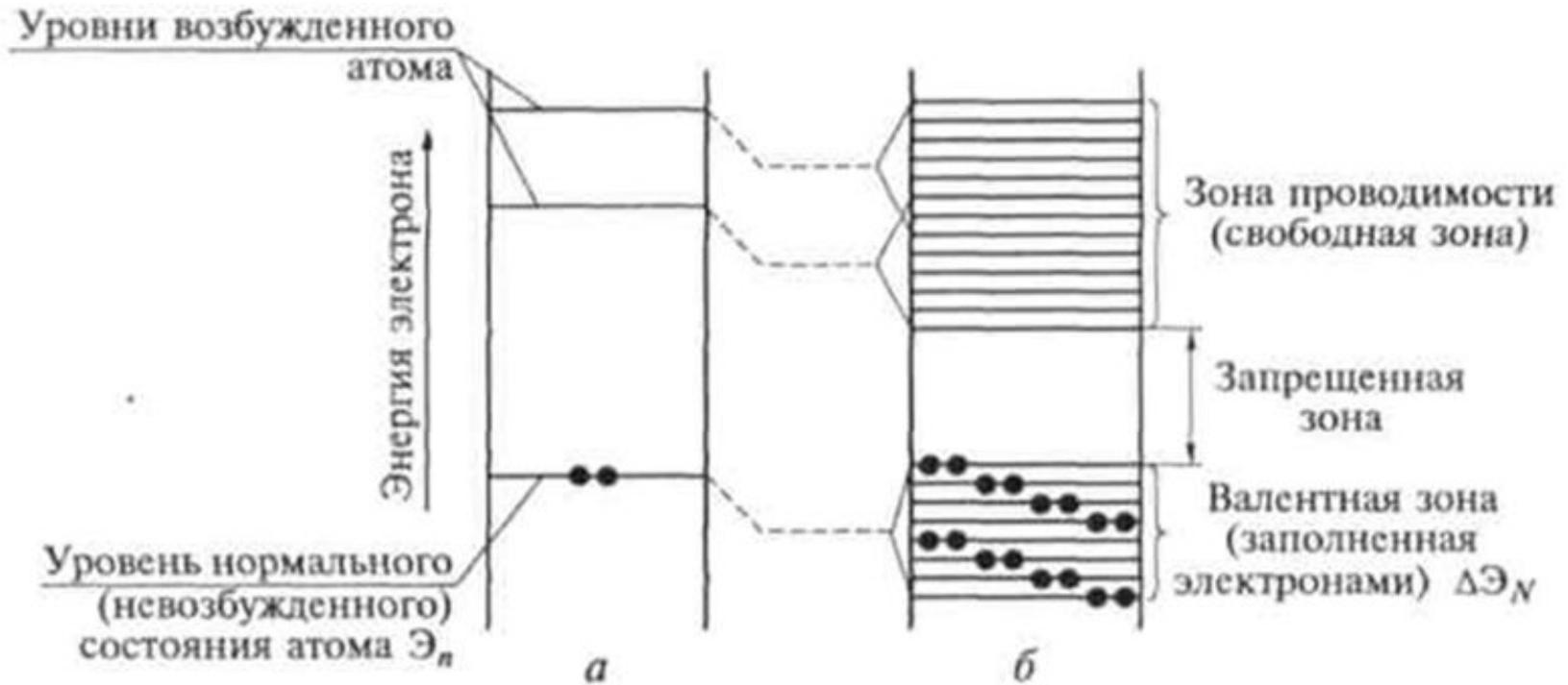


Схема расположения энергетических уровней

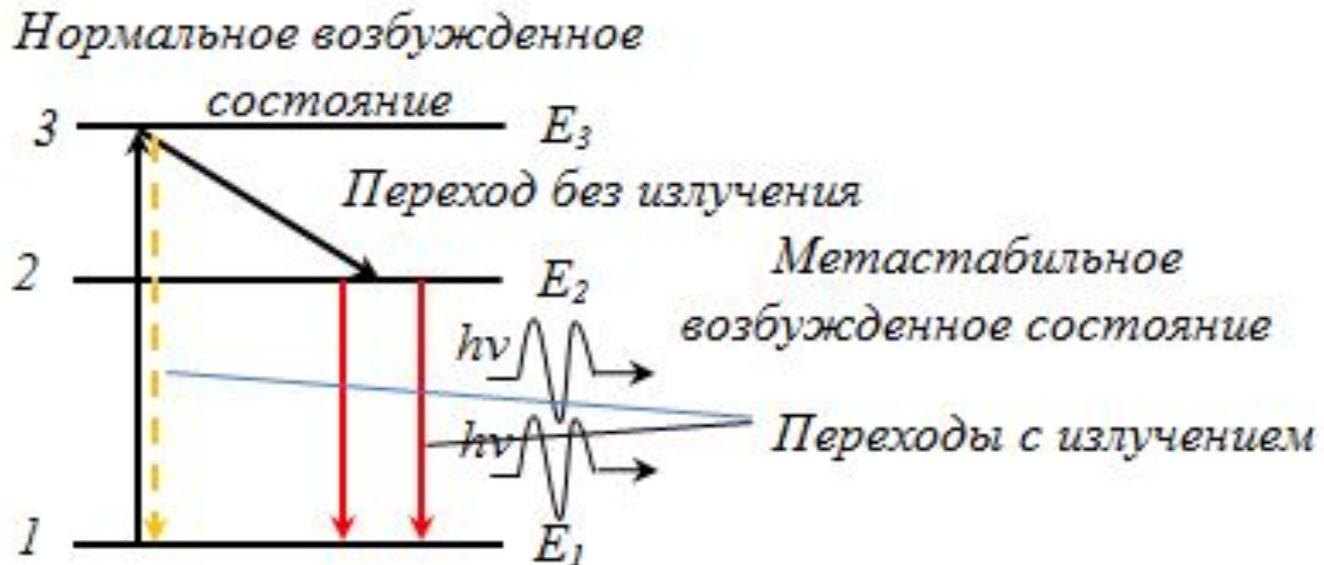


а) уединенного атома

б) неметаллического твердого тела

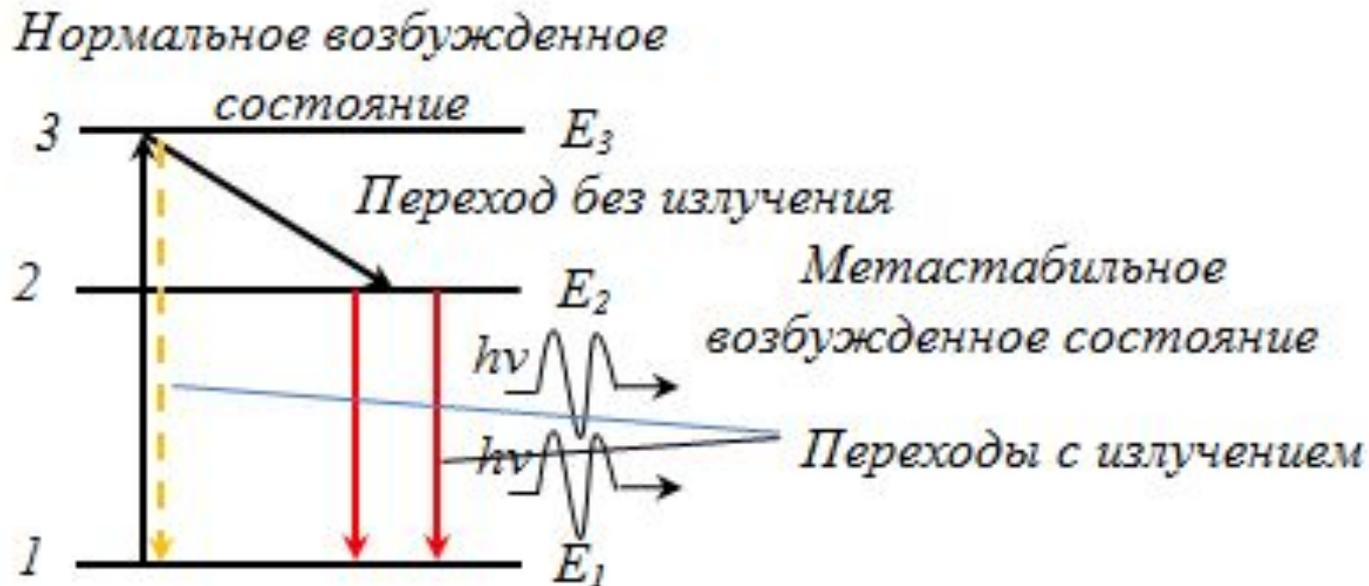
Энергетические уровни

В атомах вещества при термодинамическом равновесии на каждом последующем возбужденном уровне находится меньше электронов, чем на предыдущем. Если подействовать на систему возбуждающим излучением с частотой, попадающей в резонанс с переходом между уровнями 1 и 3 (схематично $1 \rightarrow 3$), то атомы будут поглощать это излучение и переходить с уровня 1 на уровень 3. Если интенсивность излучения достаточно велика, то число атомов, перешедших на уровень 3, может быть весьма значительным и мы, нарушив равновесное распределение населенностей уровней, увеличим населенность уровня 3 и уменьшим, следовательно, населенность уровня 1.



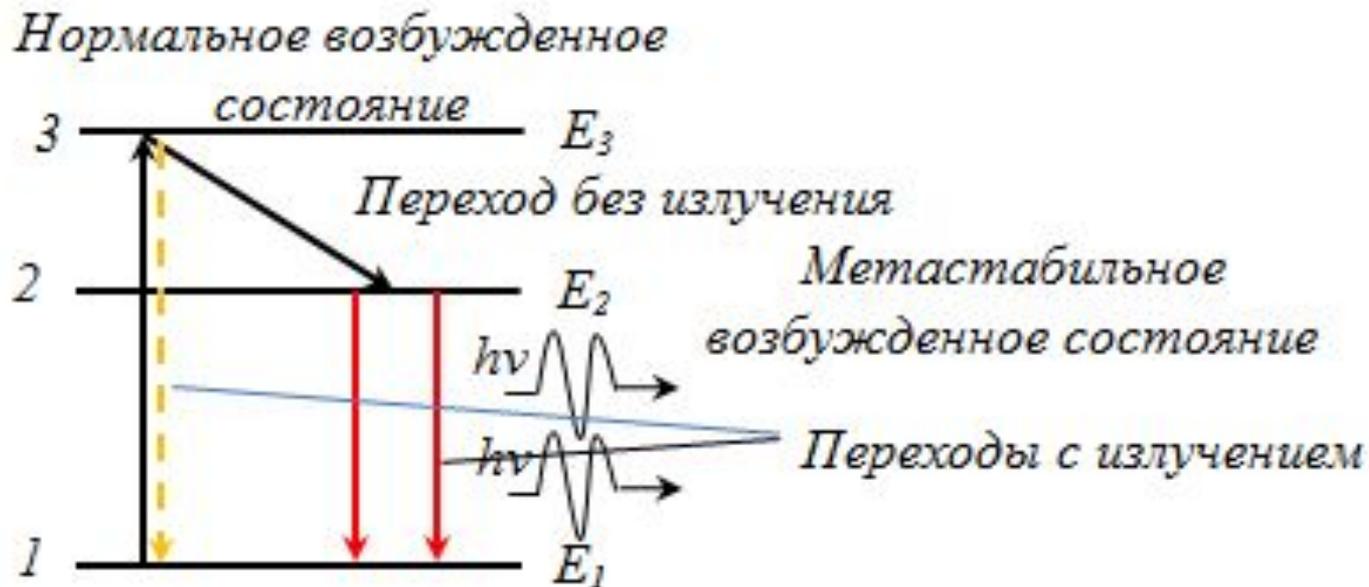
Энергетические уровни

С верхнего третьего уровня возможны переходы $3 \rightarrow 1$ и $3 \rightarrow 2$. Оказалось, что переход $3 \rightarrow 1$ приводит к испусканию энергии $E_3 - E_1$, а переход $3 \rightarrow 2$ не является излучательным: он ведет к заселению промежуточного уровня 2 (часть энергии электронов при этом переходе отдается веществу, нагревая его). Этот второй уровень называется метастабильным, и на нем в итоге окажется атомов больше, чем на первом. Поскольку атомы на уровень 2 поступают с основного уровня 1 через верхнее состояние 3, а обратно на основной уровень возвращаются с “большим запаздыванием”, то уровень 1 “обедняется”.



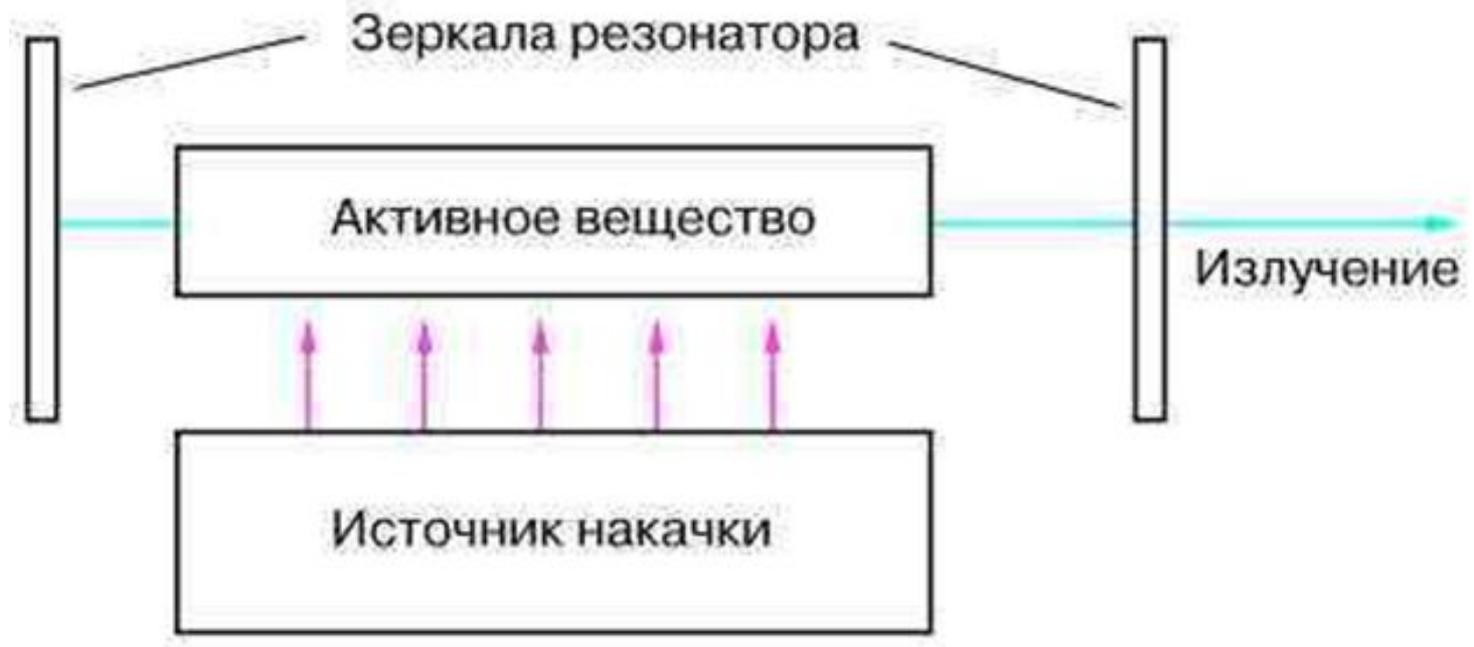
Энергетические уровни

В результате и возникает инверсия, т.е. обратное инверсное распределение населенностей уровней. Инверсия населенностей энергетических уровней создается интенсивным вспомогательным излучением, называемым излучением накачки и приводит в конечном итоге к индуцированному (вынужденному) излучению.

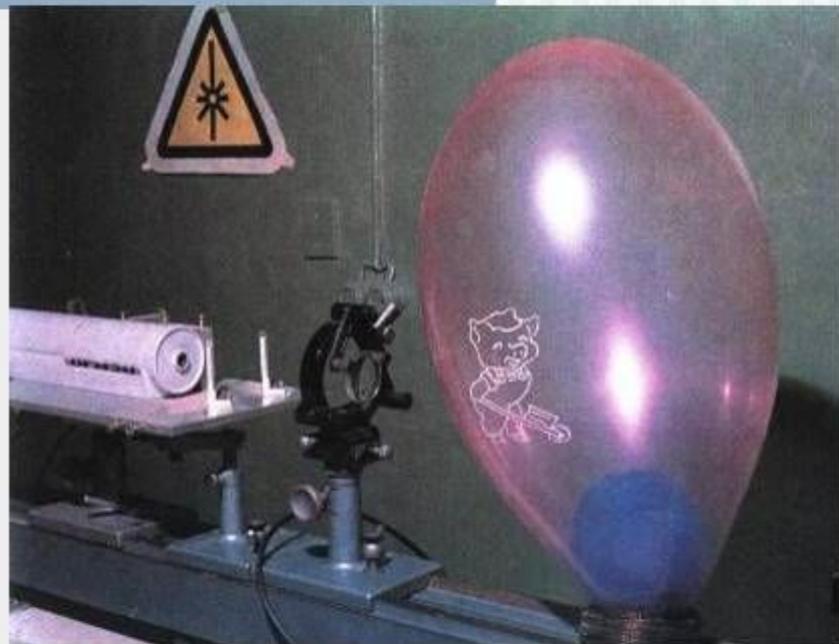
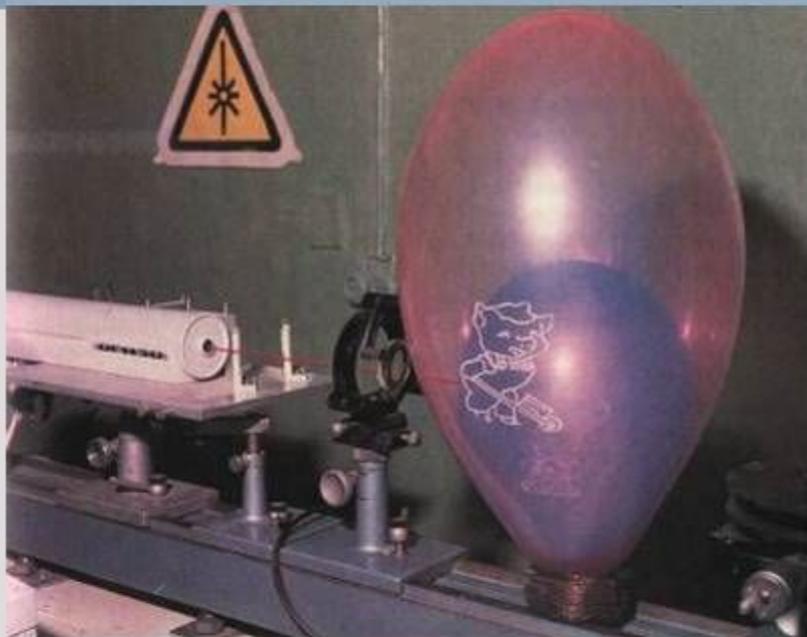


Устройство лазера

Рабочее тело – это наиболее важная составляющая лазера. Оно как раз и является телом, в котором находятся атомы, излучающие когерентные фотоны. Для того, чтобы процесс излучения когерентных фотонов произошел, рабочее тело подвергается энергетической накачке, которая приводит, грубо говоря, к тому, что большая часть атомов, из которых состоит рабочее тело, перешли в возбужденное энергетическое состоянии с общим знаменателем. В этом состоянии переход к обратному – основному - не возбужденному состоянию произойдет, если через атом пройдет фотон, соответствующий по своей энергии разнице между этими двумя состояниями атома.



Применение лазеров в медицине

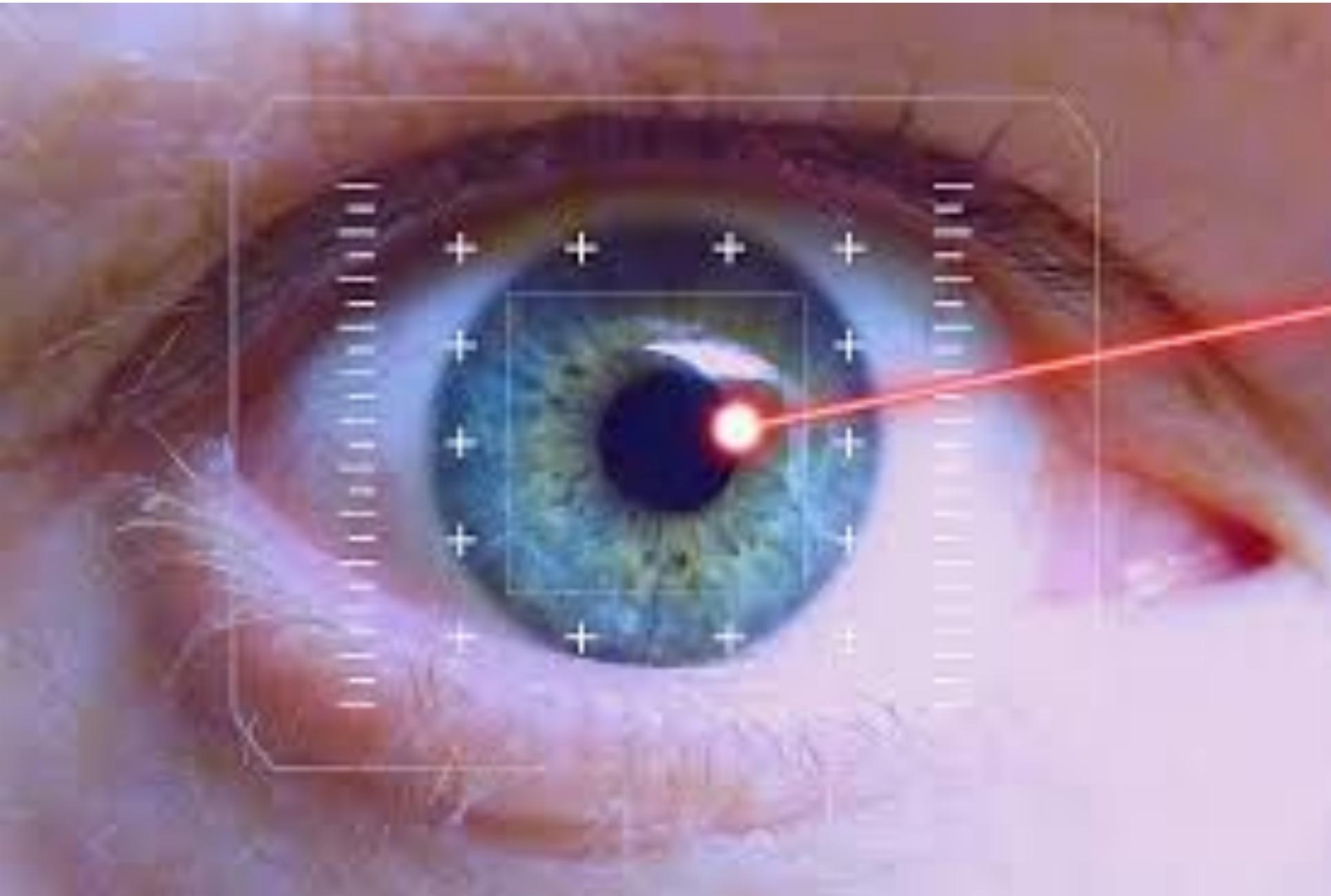


Красный луч рубинового лазера свободно проходит сквозь оболочку красного шарика и поглощается синим, прожигая его. Поэтому при хирургической операции световой луч воздействует на стенку кровеносного сосуда, «не замечая» самой крови.

Лазеры в медицине



Лазеры в медицине



Лазеры в медицине



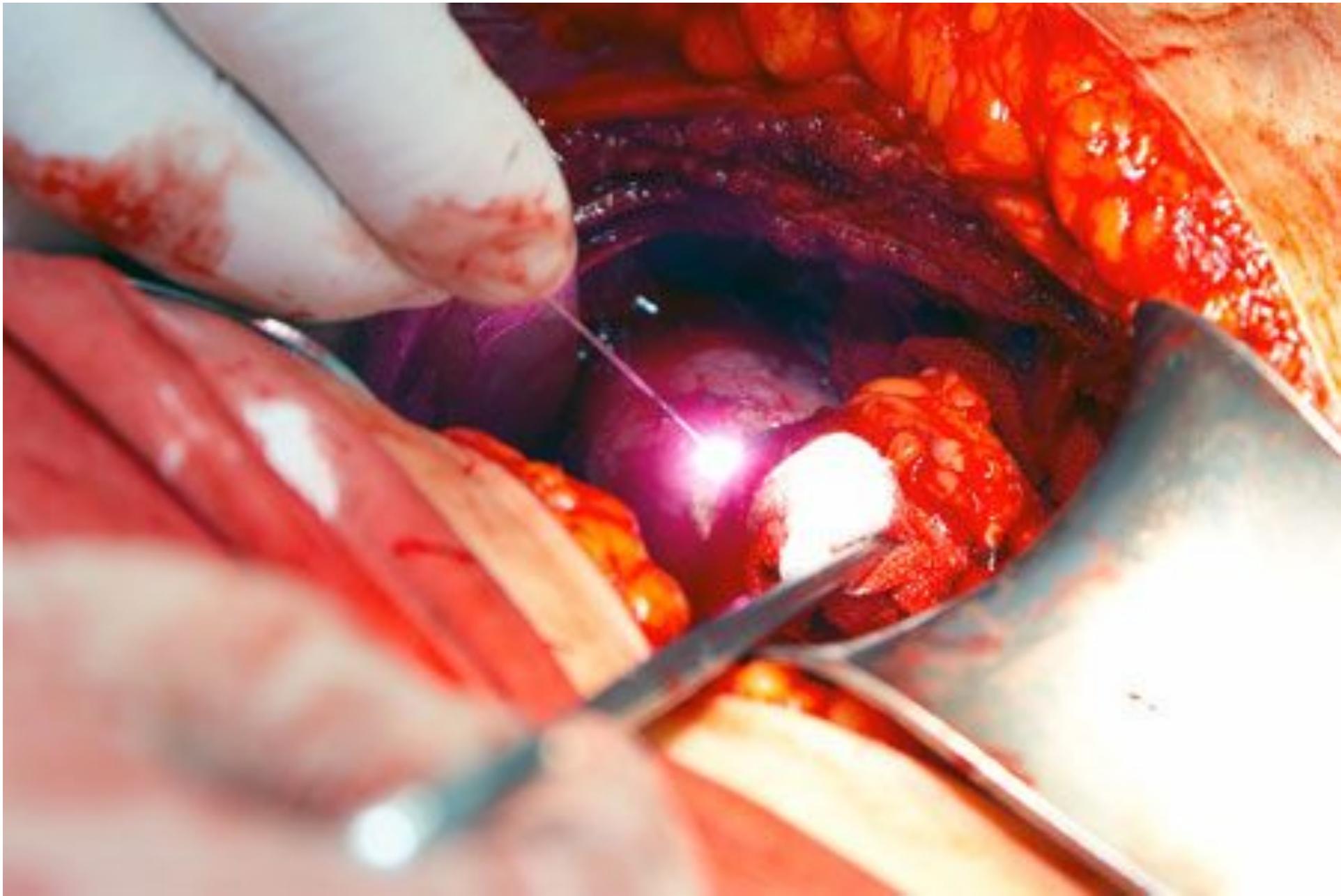
Лазеры в медицине



Лазеры в медицине



Лазеры в медицине



Спасибо за
внимание!