



Алматинский Онкологический Центр отделение лучевой терапии

Строение материи (модель атома), радионуклиды,
колебательные движения. Неионизирующее и
ионизирующее излучение

Лучевой терапевт PhD Ишкинин Евгений Иванович
Медицинский физик: Датбаев Каиргельды Даулетович

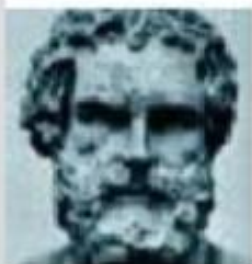


Казакский Национальный Университет имени Аль - Фараби
Специальность 7M05311-Ядерная медицина 7M05317 Ядерная медицина (МИФИ)
Название дисциплины - Лучевая терапия

Существует не одна модель строения атомов

Демокрит
460 до н.э

Дальтон
1803 г



Томсон
1897



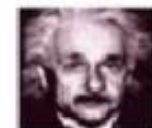
Резерфорд
1912



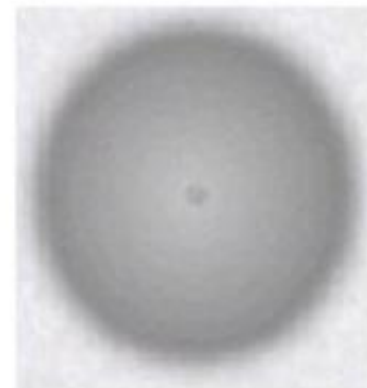
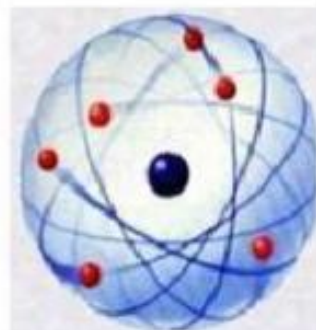
Бор
1913



Современная
квантовая
модель, с 1930 г



Атом-
неделим
ый



ОТКРЫТИЯ, ПОЛОЖИВШИЕ НАЧАЛО СОВРЕМЕННОЙ АТОМИСТИКЕ

- Открытие 8 ноября 1895 года лучей, обладающих чрезвычайно сильной проникающей способностью (немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген). Эти лучи были названы рентгеновскими.
- Открытие 1 марта 1896 года французским ученым Антуаном Анри Беккерелем явления радиоактивности.
- В апреле 1897 года английский физик Джозеф Джон Томсон доказал существование электрона – материальной частицы, являющейся носителем элементарного отрицательного заряда.
- 14 декабря 1900 года немецкий физик Макс Планк выдвинул свою гипотезу квантов: энергия испускается и поглощается веществом не непрерывно, а определенными порциями – квантами. Появилась на свет знаменитая формула Планка: $E = h\nu$.



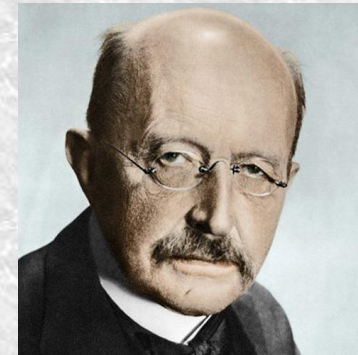
В.К. Рентген (1845-1924)



А.А. Беккерель (1852-1908)



Дж.Дж. Томсон (1856-1940)

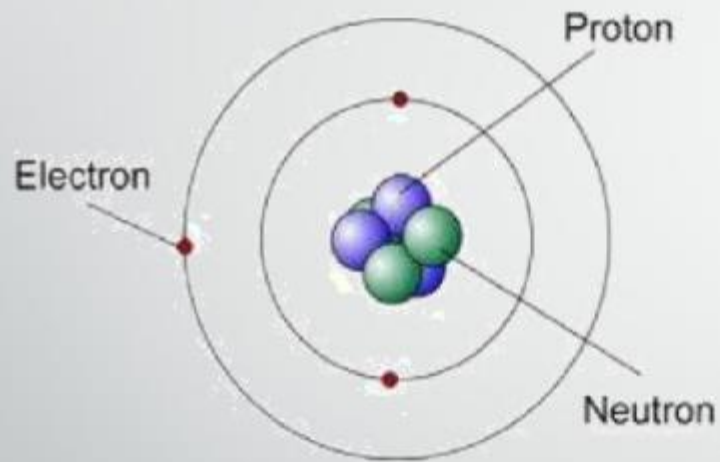


М. Планк (1858-1947)

Предпосылки открытия электрона

- Мысль о существовании элементарного электрического заряда зародилась еще в XVIII веке, т.е. задолго до его открытия.
- В трудах Б.Франклина, В. Вебера, О. Моссотти, Г. Вебера и др. указывалось на возможность существования элементарного заряда.
- Это предположение подтверждалось открытием в 1830 г. М.Фарадеем законов электролиза, согласно которым для получения 1 г-экв любого вещества требуется одно и то же количество электричества, а также, что заряд каждого иона равен целому кратному элементарного заряда.
- В 1891 г. Г. Стони ввел термин «электрон». Он писал: «В каждом химическом атоме может быть несколько элементарных зарядов. Эти заряды, которые удобно назвать электронами, не могут быть отделены от атомов, но они обнаруживаются, когда атомы образуют химические соединения».

Атом Дальтона

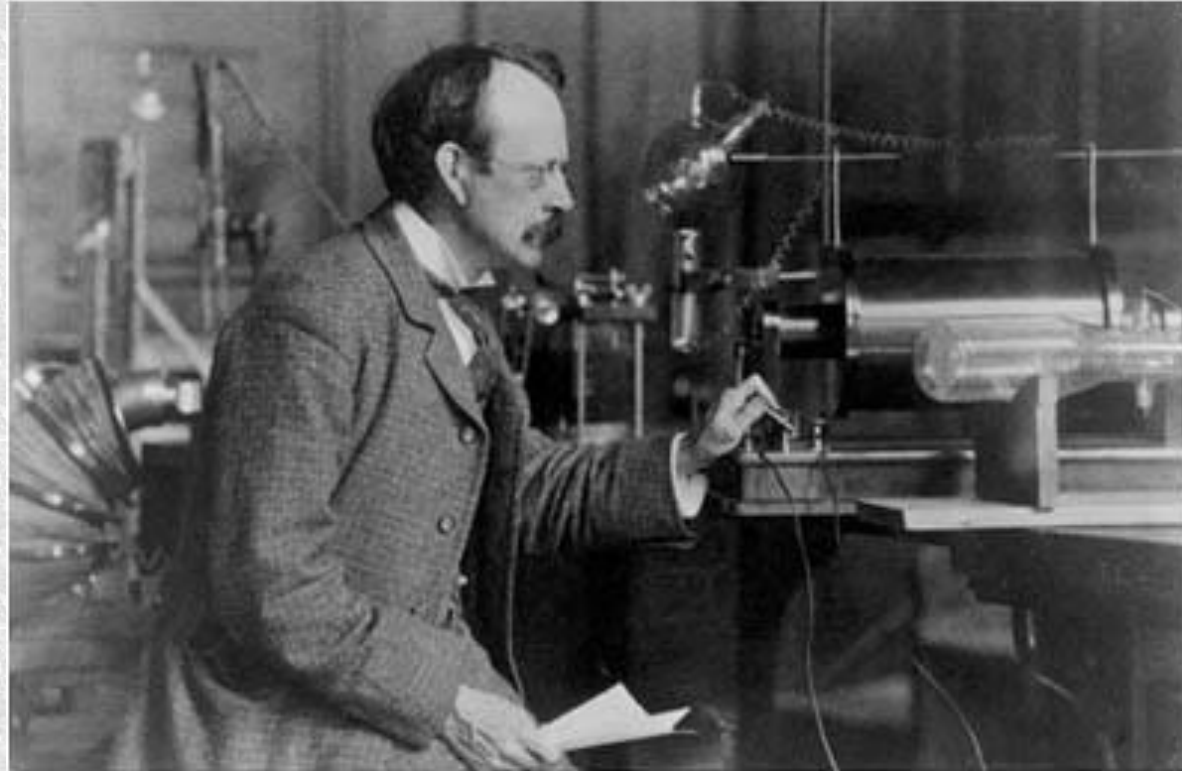


Новое представление об атоме появилось лишь в 1803 году, когда английский химик Джон Дальтон начал развивать научное определение атома. Он основывался на идеи древних греков в описании атомов как маленьких, твердых, неделимых сфер, как и у греческих философов, у Дальтона атомы одного элемента идентичны друг другу. Последний пункт по-прежнему является в значительной степени верным, исключением являются изотопы различных элементов, которые отличаются по числу нейтронов. Однако, так как нейтрон не был обнаружен до 1932 года, мы, вероятно, можем простить Дальтону эту ошибку.

Дальтон также придумал теорию о том, как атомы объединяются, образуя соединения, а также представил первый набор химических символов для известных элементов.

История открытия электрона

(Джозеф Джон Томсон, 1897 год)

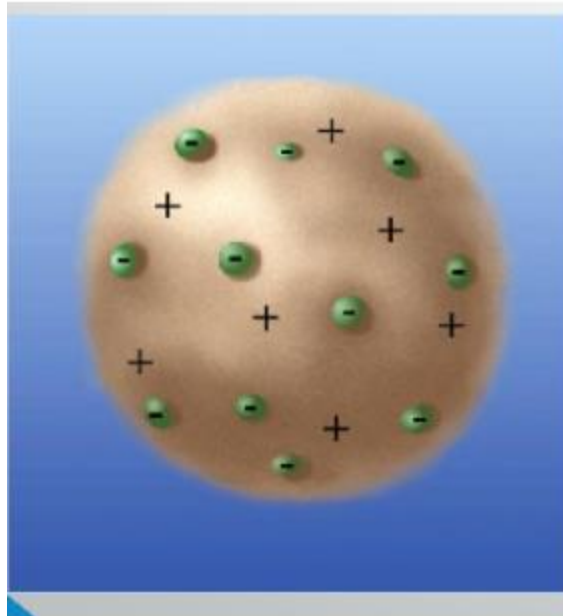


Джозеф Джон Томсон в своей
лаборатории (Кавендиш, 1890 год)



Атом Томсона

Вплоть до XIX века ученые предполагали, что атом является неделимым. Однако все изменилось после того, как Джозеф Томсон в 1897 году открыл электрон – стало понятно, что ученые ошибались. Обе модели атома Томсона и Резерфорда были выдвинуты в начале прошлого столетия.



Первой появилась модель У. Томсона, который высказывал предположение о том, что атом является сгустком материи, имеющей положительный электрический заряд. Внутри этого сгустка находятся равномерно распределенные электроны – именно поэтому данная модель была названа «кексовой». Ведь согласно ей электроны в материи располагаются подобно изюминкам в кексе. Другое неофициальное название модели – «Пудинг с изюмом».

ОПЫТ ТОМСОНА НА КАТОДНЫХ ЛУЧАХ



РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ОПЫТЕ ТОМСОНА

- Результаты измерений не зависели от типа газа, в котором проходил разряд. Это означает, что открытые частицы (электроны) входят в состав атомов любого газа.
- Томсон рассчитал отношение заряда электрона к его массе:

$$e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг.}$$

Учитывая важность исследований Томсона, его признали первооткрывателем электрона.

За это открытие в 1906 году Томсон получил Нобелевскую премию по физике



Медаль лауреата Нобелевской премии с изображением Альфреда Нобеля

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОНА



Роберт Милликен (1868-1953)

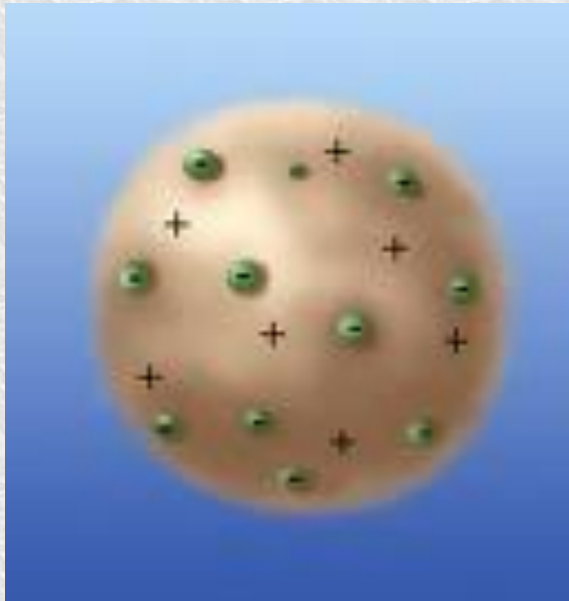
- В 1909 году американский физик, лауреат Нобелевской премии Роберт Милликен измерил заряд электрона. Опыт заключался в изучении поведения заряженных капель масла в электрическом поле конденсатора.
- Милликен повторял эксперимент, изменяя напряжение, и пришел к выводу, что размеры отрицательного заряда всегда приобретают одни и те же значения. Наименьшее из них - это и был заряд одного электрона.

$$\text{заряд электрона} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\text{масса электрона} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/г}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Модели строения атома.

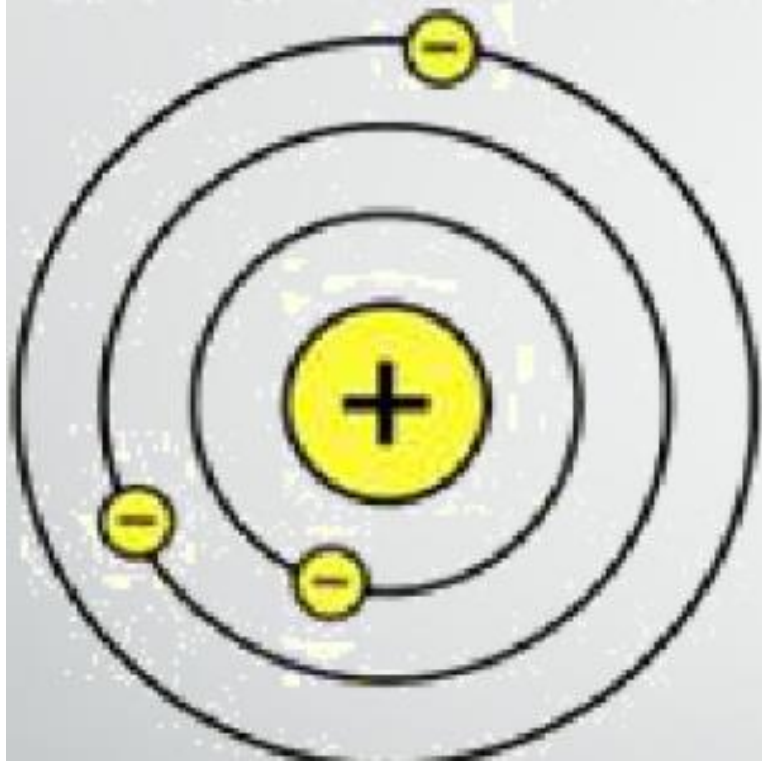
Джозеф Джон Томсон предложил одну из первых моделей строения атома (1903 г.)



1. Атом – шар, по всему объёму которого равномерно распределён положительный заряд.
2. Внутри шара находятся электроны.
3. Положительный заряд шара компенсируется суммарным отрицательным зарядом электронов, поэтому заряд атома в целом равен нулю.

МОДЕЛЬ ТОМСОНА НУЖДАЛАСЬ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКЕ:
необходимо было выяснить действительно ли положительный заряд распределён по всему объёму атома с постоянной плотностью.

Атом Резерфорда



В начале XXв. опытами по облучению тонкой фольги α -частицами Э. Резерфорд определил структуру атома. Он показал, что атом имеет планетарную модель, то есть состоит из плотного положительно заряженного ядра, вокруг которого обращается рыхлая электронная оболочка.



**Лауреат Нобелевской премии
Эрнест Резерфорд (1871-1937).**

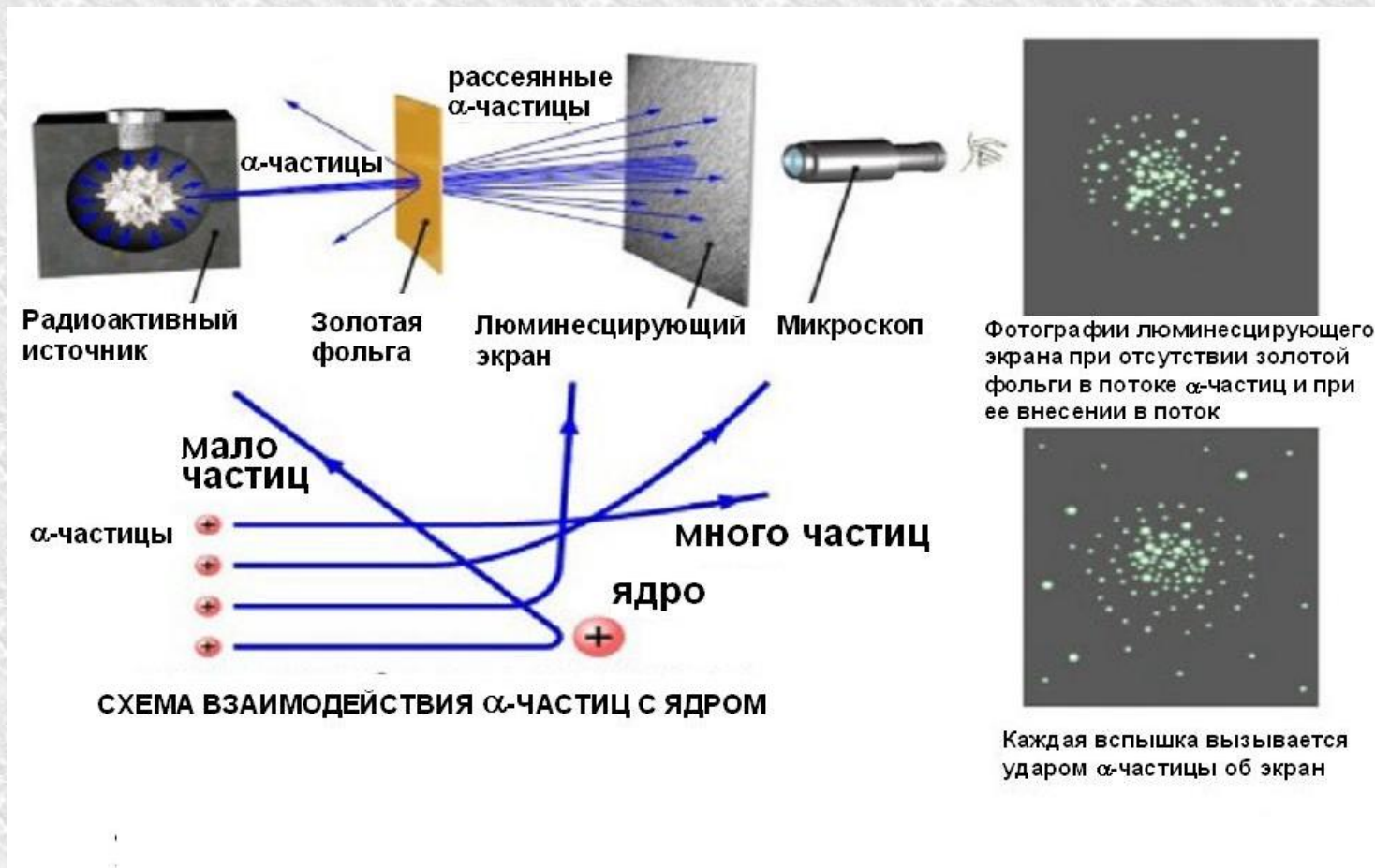
В 1911 году Эрнест Резерфорд совместно со своими сотрудниками провел эксперимент по исследованию состава и строения атомов.

Идея опыта Резерфорда:

Бомбардировать атомы альфа-частицами.

- Альфа-частицы возникают при распаде радия.**
- Альфа-частица является ядром атома гелия и состоит из двух протонов и двух нейтронов.**
- Масса альфа-частицы в 7350 раз больше массы электрона.**
- Электрический заряд альфа-частицы в 2 раза больше заряда электрона.**
- Скорость альфа-частиц около 15 000 км/с.**

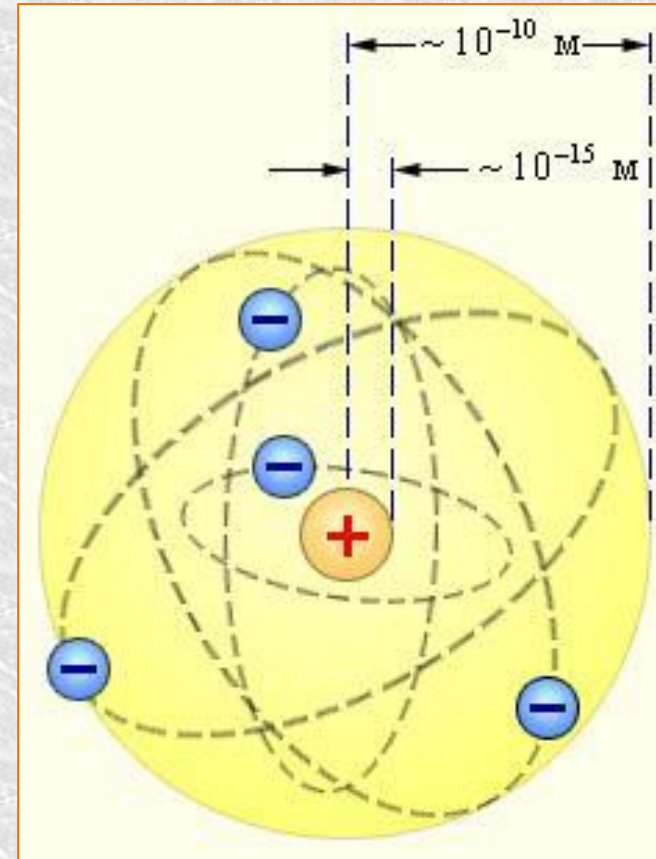
ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА



- В отсутствие фольги на экране появлялся светлый кружок напротив канала с радиоактивным веществом.
- Когда на пути пучка альфа-частиц помещали фольгу, площадь пятна на экране увеличивалась.
- Помещая экран сверху и снизу установки, Резерфорд обнаружил, что небольшое число альфа-частиц отклонилось на углы около 90° и более.
- Лишь ничтожная доля частиц отражалась назад.

Выводы из опыта Резерфорда по рассеянию альфа-частиц :

- Существует атомное ядро очень малых размеров, в котором сконцентрирована почти вся масса атома и весь положительный заряд.
- Вокруг ядра по замкнутым орбитам вращаются отрицательно заряженные частицы - электроны.
- Отрицательный заряд всех электронов распределён по всему объёму атома.



Ядерная (планетарная) модель атома

ПОСТУЛАТЫ БОРА (1913)



Лауреат Нобелевской премии
Нильс Бор (1885-1962)

Первый постулат:

Атомы имеют ряд стационарных состояний соответствующих определенным значениям энергий: $E_1, E_2 \dots E_n$. Находясь в стационарном состоянии, атом энергии не излучает, несмотря на движение электронов.

Второй постулат:

В стационарном состоянии атома электроны движутся по стационарным орбитам, для которых выполняется квантовое соотношение:

$$mvr = nh/2\pi,$$

где $mvr = L$ - момент импульса, $n=1,2,3,\dots$, h - постоянная Планка.

Третий постулат:

Излучение или поглощение энергии атомом происходит при переходе его из одного стационарного состояния в другое. При этом излучается или поглощается порция энергии (*квант*), равная разности энергий стационарных состояний, между которыми происходит переход:

$$\Delta E = h \cdot \nu = E_m - E_n$$

Недостатки планетарной модели атома:

Планетарная модель атома является противоречивой: движущийся с центростремительным ускорением электрон должен излучать электромагнитную энергию и, потеряв энергию полностью, должен упасть на ядро, а атом – прекратить свое существование.

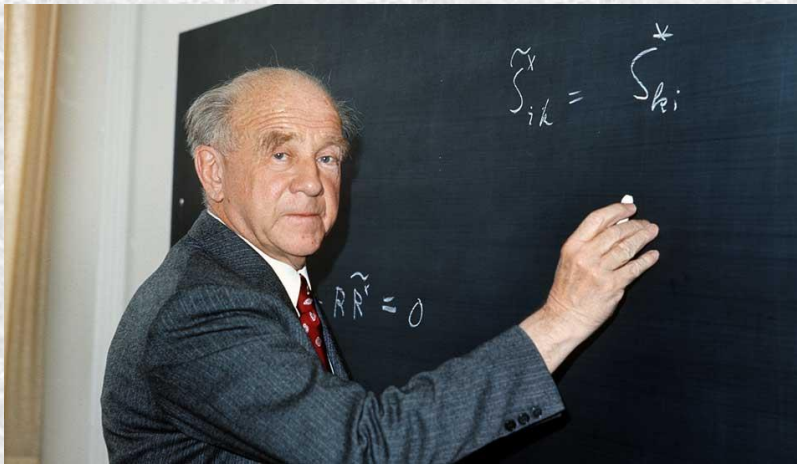
* * *

На самом деле атомы устойчивы и существуют десятки тысяч лет без изменений. Поэтому модель атома Резерфорда-Бора не получила должного применения, а строгое объяснение строения атома стало возможным только в рамках квантово-механических представлений.

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ АТОМА

Принцип неопределенности и соотношение неопределенности Гейзенберга

У микрочастицы в принципе невозможно одновременно измерить значение ее координаты и соответствующей проекции импульса



Вернер Гейзенберг (1901-1976)

$$\underline{\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \hbar}$$

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ АТОМА

Волновая функция электрона (Макс Борн, 1926)

$\psi = \psi_{x,y,z}$ – волновая функция
 $|\psi|^2$ – вероятность нахождения электрона в
данной точке атомного пространства

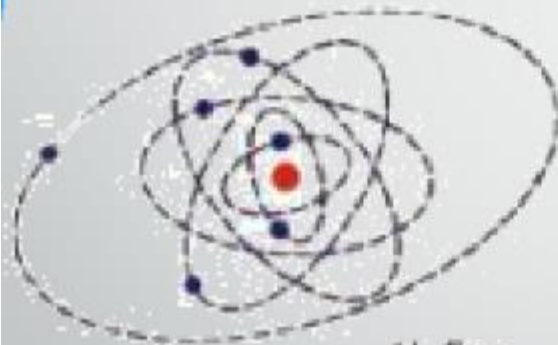


Макс Борн (1882-1970)

Часть пространства вокруг
ядра, где вероятность
нахождения электрона
максимальна ($\geq 90\%$),
называется **атомной орбиталью**
(АО).

Атом Бора

В 1913 г. Н. Бор предложил свою теорию строения атома, не отрицая при этом полностью предыдущие представления. В основу своей теории Бор положил два постулата.



Н. Бор

Первый постулат говорит о том, что электрон может вращаться вокруг ядра только по определенным стационарным орбитам. Находясь на них, он не излучает и не поглощает энергию.

Второй постулат говорит о том, что при переходе с одной орбиты на другую электрон поглощает или выделяет квант (порцию) энергии.

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ АТОМА



Лауреат Нобелевской премии
Эрвин Шрёдингер (1887-1961)

Уравнение Шрёдингера:

$$\frac{\hbar^2}{8\pi^2m} \Delta\psi + (E-U)\psi = 0$$

$$\Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}$$

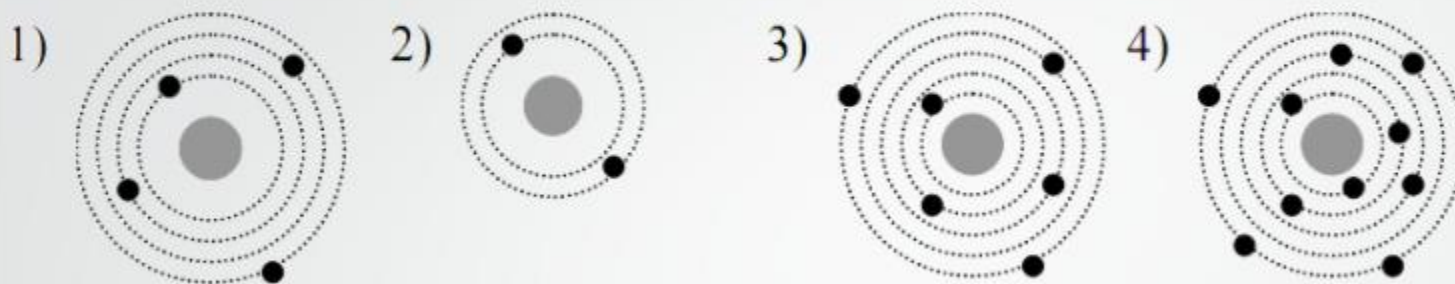
E – полная энергия частицы

U – потенциальная энергия частицы

ψ – волновая функция (или пси-функция)

$\psi^2(x,y,z)$ – вероятность обнаружить частицу
в точке с координатами x , y и z

Атом Шредингера

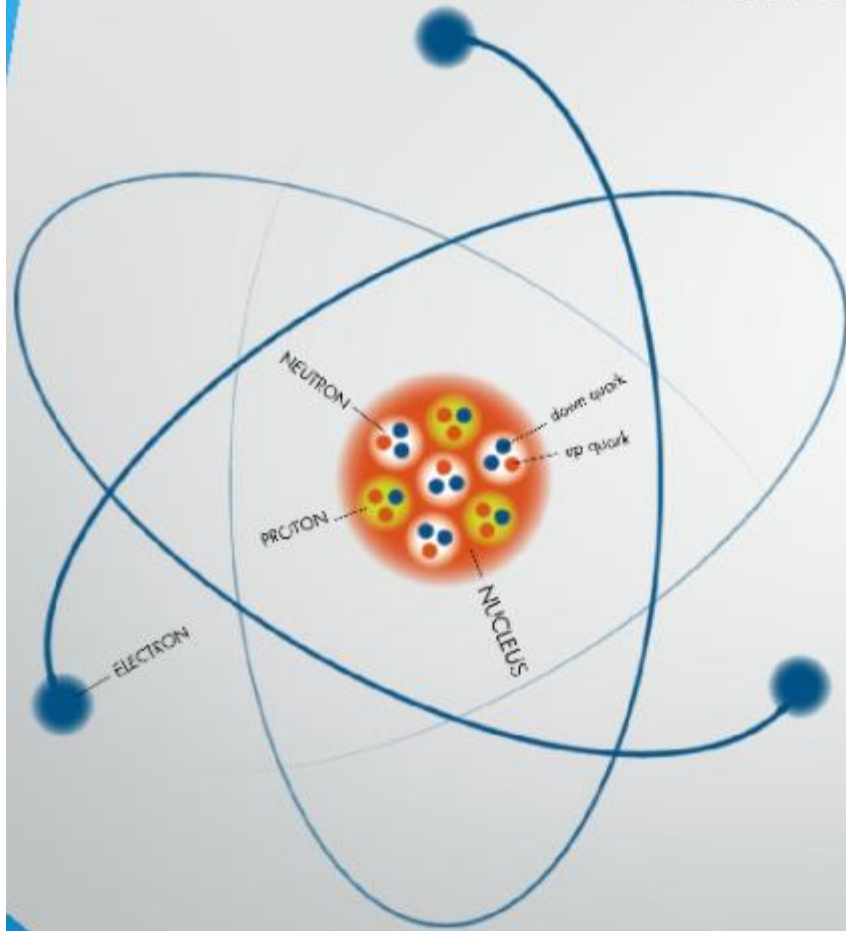


Его модель демонстрирует ядро, окруженное облаками электронной плотности. Эти облака являются облаками вероятности;

хотя мы не знаем точно где электроны в тот или иной момент времени, мы знаем в каких заданных областях пространства они вероятно могут находиться. Эти участки пространства называются электронными орбитами.

Становится понятно, почему в средней школе уроки химии зачастую не приводят эту модель, хотя это модель считается наиболее точной!

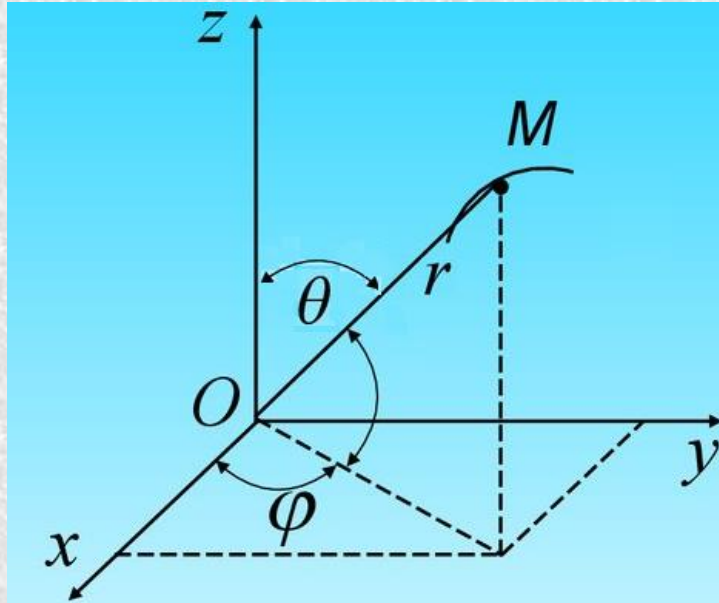
Атом Чедвика



Уже после Шредингера, в 1932 году английский физик Джеймс Чедвик (ученик Эрнеста Резерфорда) обнаружил существование нейтрона, завершая нашу картину субатомных частиц, составляющих атом.

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ АТОМА

Сферическая система координат



Формулы перехода к декартовым координатам:

$$x = r \sin \theta \cos \phi, \quad y = r \sin \theta \sin \phi, \quad z = r \cos \theta$$

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ АТОМА

Волновая функция электрона в сферической системе координат

$$\Psi(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r) Y_{lm}(\theta, \varphi)$$

$R_{nl}(r)$ - радиальная часть волновой функции

$Y_{lm}(\theta, \varphi)$ - угловая часть волновой функции
)

n, l, m – квантовые числа

КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ

Главное квантовое число n определяет энергетический уровень электрона в атоме и принимает значения $1, 2, 3 \dots \infty$.

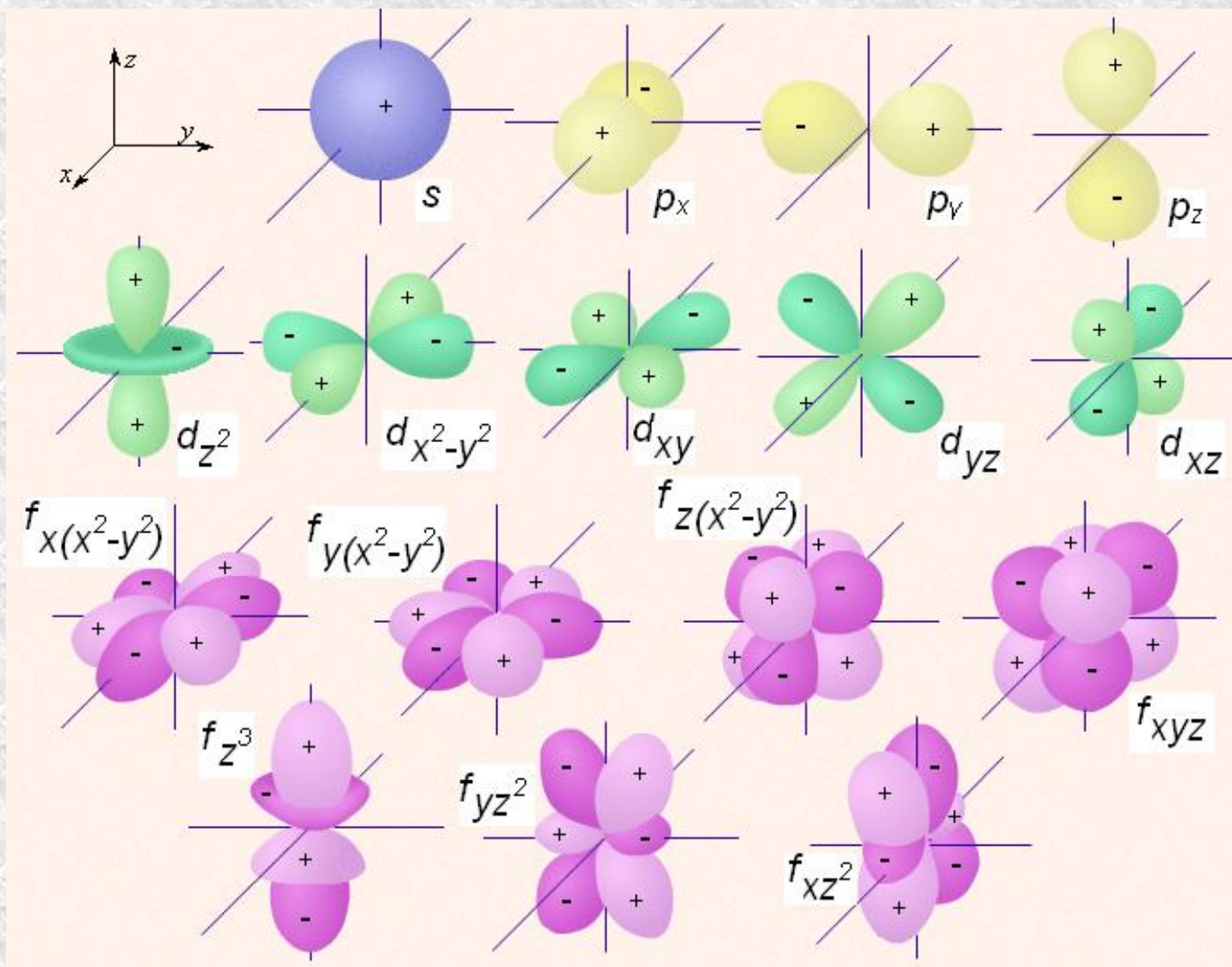
Орбитальное квантовое число l характеризует форму орбиталей и принимает значения $0, 1, 2 \dots n - 1$.

$l = 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ \dots$
Обозначение: $s \ p \ d \ f \ g \ \dots$

Квантовое число m_l называют магнитным. Оно определяет пространственное расположение атомной орбитали и принимает целые значения от $-l$ до $+l$ через ноль, то есть $2l + 1$ значений.

Орбитальное квантовое число l	Магнитное квантовое число m_l	Число орбиталей с данным значением l $2l + 1$
0 (s)	0	1
1 (p)	-1, 0, +1	3
2 (d)	-2, -1, 0, +1, +2	5
3 (f)	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	7

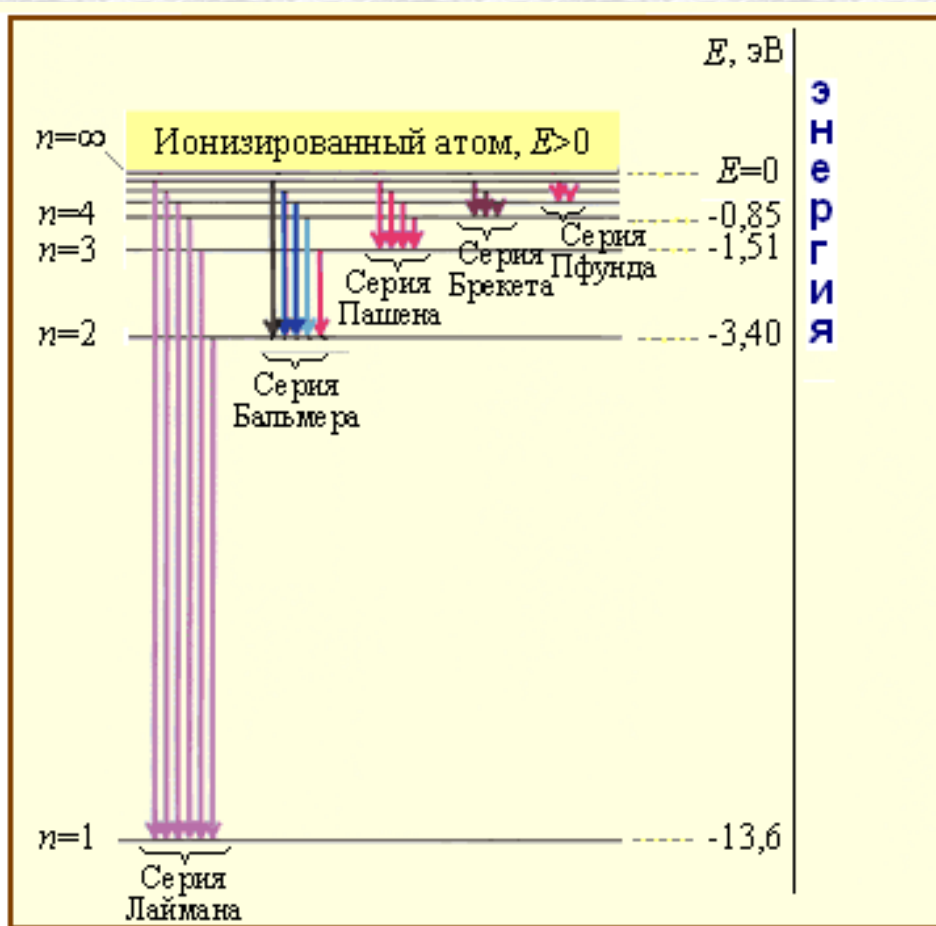
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФОРМА АТОМНЫХ ОРБИТАЛЕЙ



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ АТОМА ВОДОРОДА

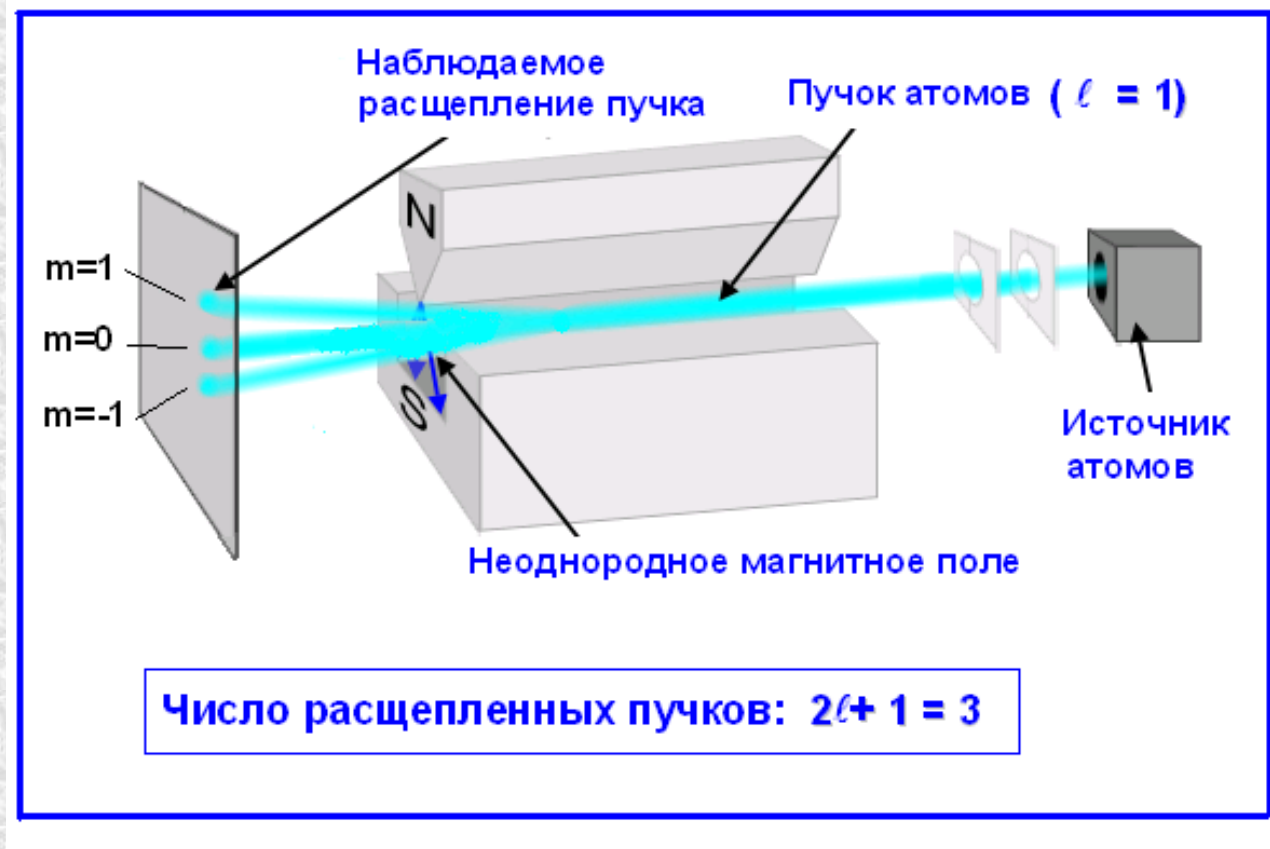
$$\textcircled{*} E = -\frac{2\pi^2me^4}{n^2h^2} \text{ или } E = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{ эВ}$$

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка

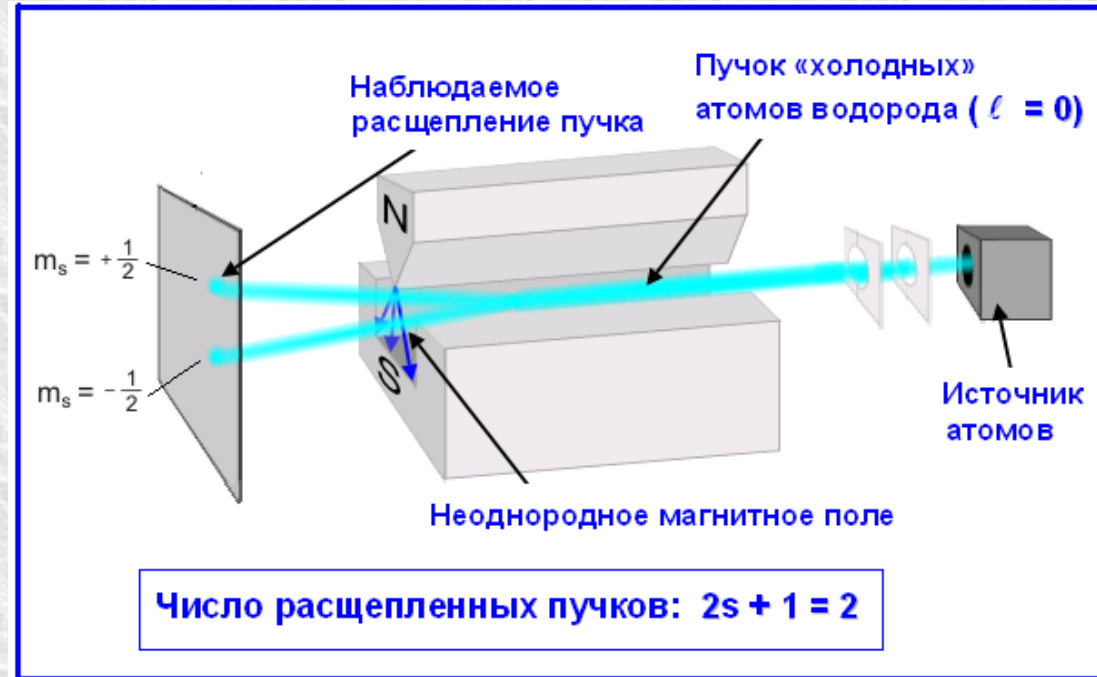


ЭЛЕКТРОННЫЙ СПИН

Опыт Штерна-Герлаха (1922)

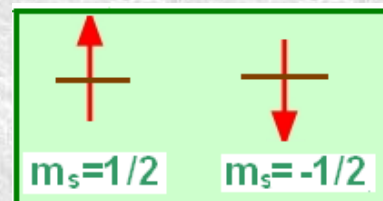


Опыт Гаудсмита-Уленбека (1925)



Гаудсмит и Уленбек сделали вывод о наличии у электрона внутреннего механического момента, который назвали спином (spin – кружение, верчение). По числу расщепленных пучков (два) был сделан вывод, что значение спинового квантового числа $s=1/2$. Они ввели понятие магнитного спинового квантового числа m_s , которое может принимать два значения:

$m_s=1/2$ (спин вверх) и $m_s=-1/2$ (спин вниз).

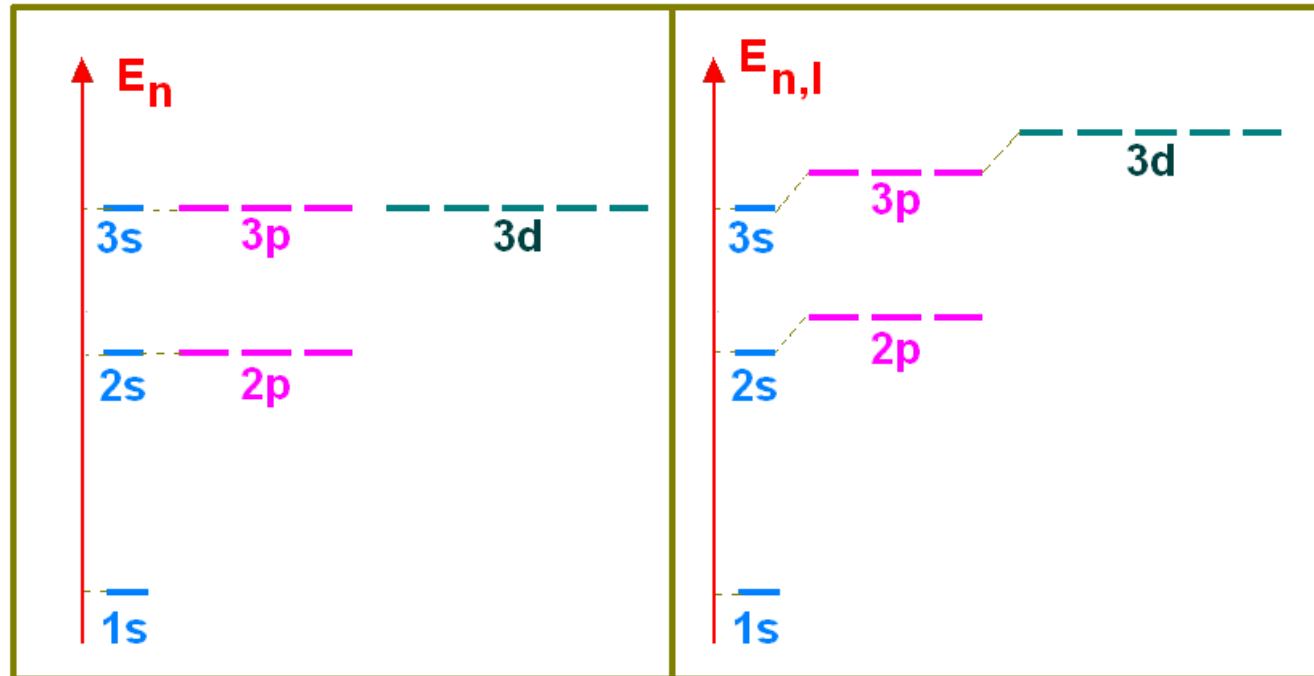


Таким образом, квантовое состояние электрона в атоме определяется набором четырёх квантовых чисел:

Название	Символ	Возможные значения
Главное квантовое число	n	1, 2, 3, ... ∞
Орбитальное квантовое число	ℓ	0, 1, 2, 3, ... $n-1$
Магнитное квантовое число	m_ℓ	0, ± 1 , ± 2 , ... $\pm \ell$
Магнитное спиновое квантовое число	m_s	$-\frac{1}{2}$, $+\frac{1}{2}$

Многоэлектронный атом

Энергии атомных орбиталей



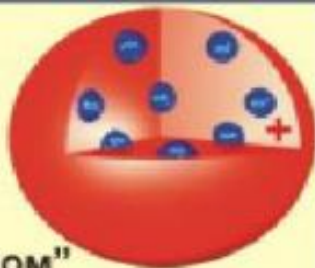
В атоме водорода

В многоэлектронном атоме

Порядок заполнения атомных орбиталей электронами:

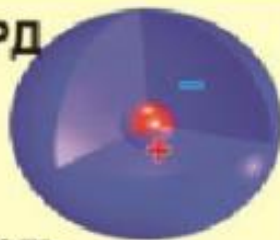
$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f \approx 5d < 6p < 7s < 5f \approx 6d < 7p$

Д. ТОМСОН
1895



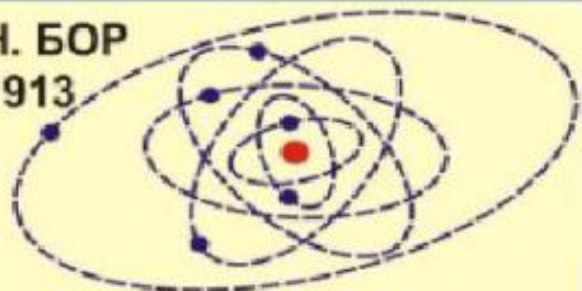
Модель
"Булка с изюмом"

Э. РЕЗЕРФОРД
1911



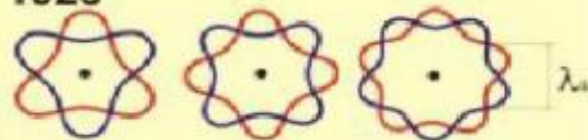
Ядерная модель

Н. БОР
1913



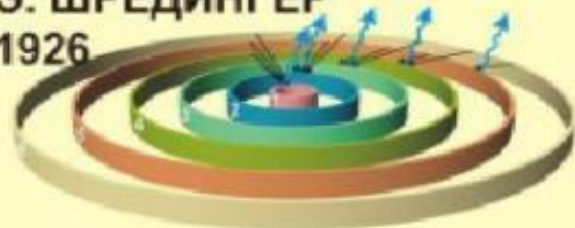
Планетарная модель

Л. ДЕ БРОЙЛЬ
1923

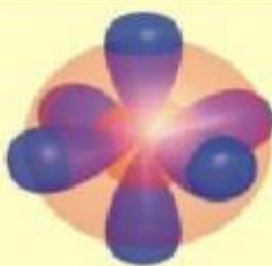


Волновая модель

Э. ШРЕДИНГЕР
1926



Квантово-механическая модель

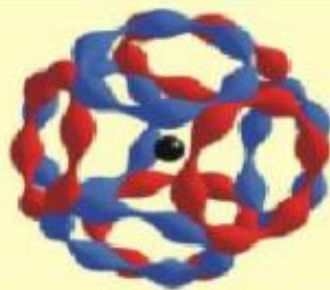


Орбитальная модель

К. СНЕЛЬСОН
1963



Кольцевая модель



Волногранная модель

ПРИНЦИП ПАУЛИ

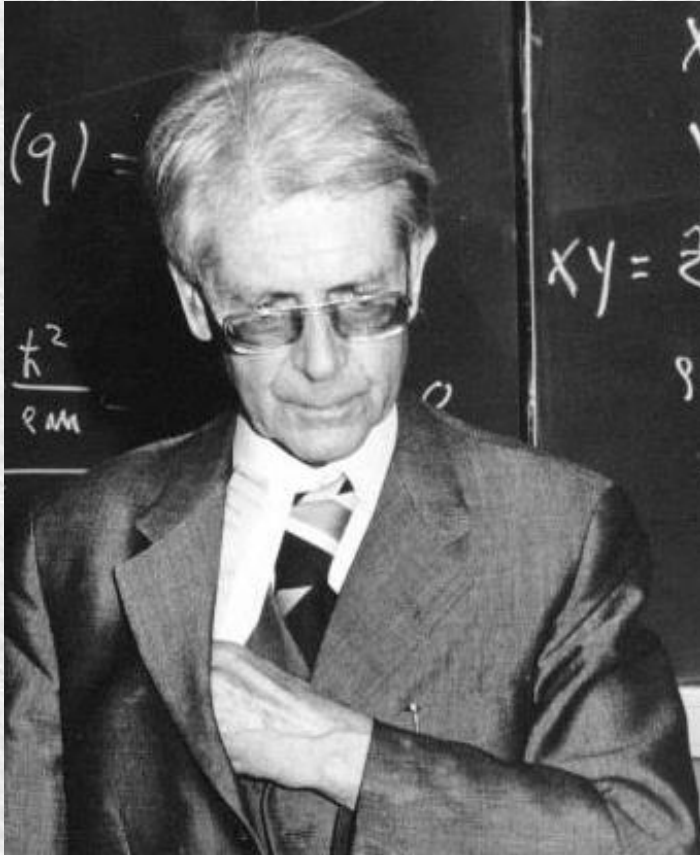


Лауреат Нобелевской премии
Вольфганг Паули (1900-1958)

Принцип Паули (принцип запрета) — один из фундаментальных принципов квантовой механики, согласно которому два электрона не могут одновременно находиться в одинаковом квантовом состоянии. Иными словами, в атоме не может быть двух (и более) электронов с одинаковым набором четырех квантовых чисел n , l , m_l и m_s

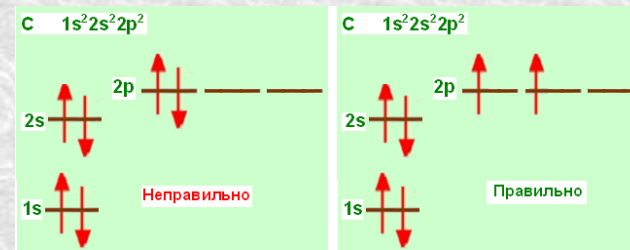


ПРАВИЛО ХУНДА



Фридрих Хунд (1896-1997)

Правило Хунда определяет порядок заполнения орбиталей определённого подслоя и формулируется следующим образом: суммарное значение спинового квантового числа электронов данного подслоя должно быть максимальным.



Электронная конфигурация атома и ее связь с положением атома в Периодической таблице

Электронная конфигурация атома показывает распределение электронов в атоме по атомным орбиталям.



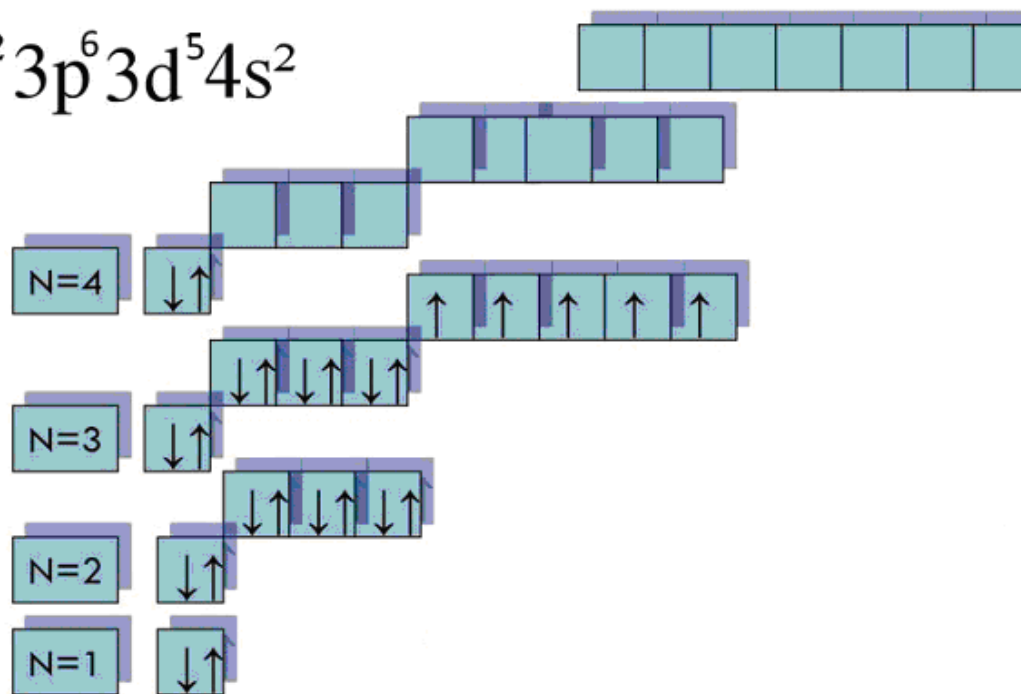
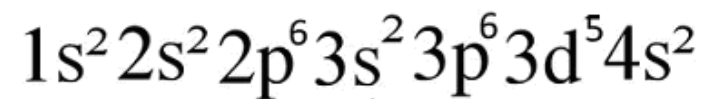
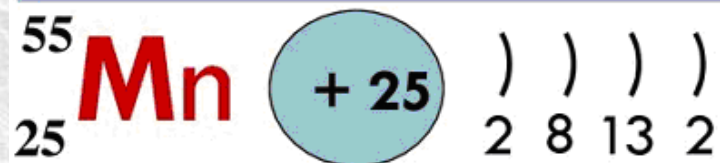
25 – порядковый номер элемента в Периодической таблице, равный заряду ядра в атоме

3d⁵4s² - валентные электроны.

Число валентных электронов (7) совпадает с номером группы в Периодической таблице (VII группа).

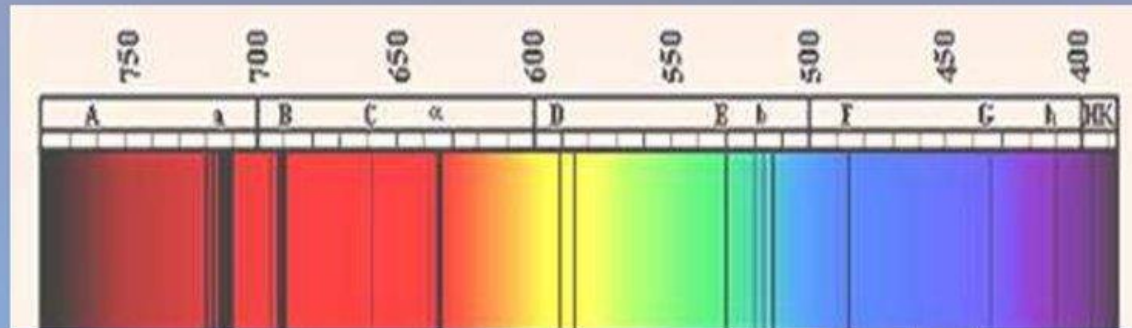
4s² - валентные электроны внешнего уровня. Его главное n=4. Это означает, что Mn находится в 4-ом периоде Периодической таблицы

Электронное строение атома Mn



ПРОИСХОЖДЕНИЕ АТОМНЫХ СПЕКТРОВ

- ЛЕГЧЕ ВСЕГО ВОЗБУЖДАЮТСЯ ЭЛЕКТРОНЫ, КОТОРЫЕ НАХОДЯТСЯ ДАЛЕКО ОТ ЯДРА, (ЛИНИИ ПОЯВЛЯЮТСЯ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ).
- ЕСЛИ ЭЛЕКТРОНЫ НАХОДЯТСЯ БЛИЖЕ К ЯДРУ, ТО ЛИНИИ ПОЯВЛЯЮТСЯ В РЕНТГЕНОВСКОЙ ОБЛАСТИ.
- ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ В У.Ф. ОБЛАСТИ.



АТОМНЫЕ СПЕКТРЫ

Атомные спектры – спектры, получающиеся при излучении свободными или слабо связанными атомами (в газах или парах)

Раскаленные твердые или жидкие тела дают сплошной или непрерывный спектр



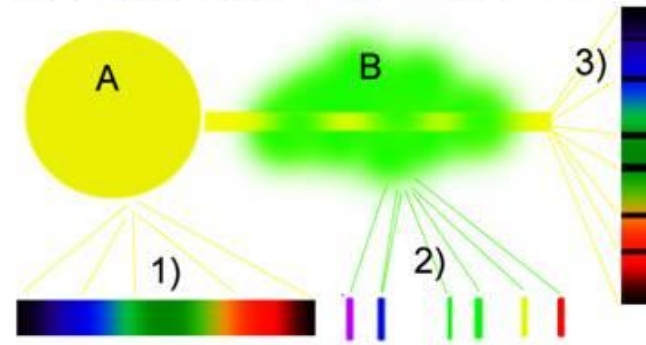
Излучение, испускаемое раскаленными газами и парами, содержит только определенные длины волн (дискретный или линейчатый спектр)



Спектр атома азота



Спектр атома водорода



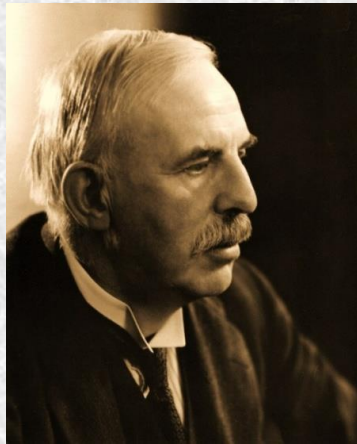
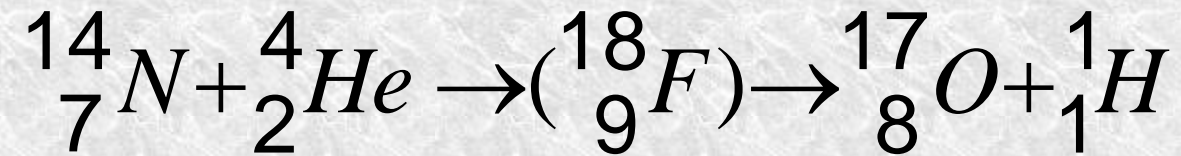
Элементный анализ — качественное обнаружение и количественное определение содержания элементов и элементного состава веществ, материалов и различных объектов. Это могут быть жидкости, твёрдые материалы, газы и воздух. Элементный анализ позволяет ответить на вопрос — из каких атомов (элементов) состоит анализируемое вещество.

Методы элементного анализа

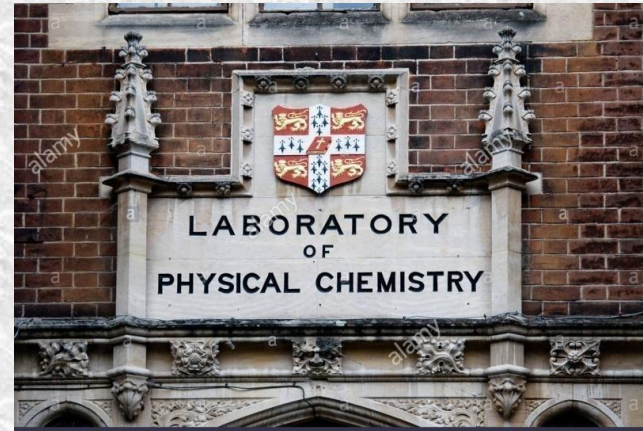
- рентгенофлуоресцентная спектрометрия
- атомно-эмиссионная спектроскопия (в том числе с индуктивно-связанной плазмой)
- атомно-абсорбционная спектрометрия
- масс-спектрометрия
- спектрофотометрия и люминисцентный анализ
- оже-электронная спектроскопия
- электрохимические методы (полярография, потенциометрия, вольтамперометрия и др.)

Ядерные превращения

Первое искусственное превращение элементов произвел в 1919 году английский ученый Эрнест Резерфорд. «Обстреливая» азот альфа-частицами (ядрами гелия), он превратил его в кислород:



Э. Резерфорд



Кавендишская лаборатория в Кембридже

Новые химические элементы, открытые в 21 веке

- ❑ *Оганесон* (2001, ОИЯИ)
- ❑ *Нихоний* (2003, RIKEN)
- ❑ *Московий* (2003, ОИЯИ)
- ❑ *Теннессин* (2009, ОИЯИ)

113 Nh nihonium	115 Mc moscovium
117 Ts tennessine	118 Og oganeson

In indium 114.8	Sn tin 118.7	Sb antimony 121.8	Te tellurium 127.6	I iodine 126.9	Xe xenon 131.3
81 Tl	82 Pb lead 207.2	83 Bi	84 Po polonium	85 At	86 Rn
	114 Fl flerovium	115 Uup ununpentium	116 Lv livermorium	117 Uus ununseptium	118 Uuo ununoctium
66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu

Мировые научные центры, принимавшие участие в открытии химических элементов 21 века



Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия



Ливерморская национальная лаборатория, Калифорния, США



Институт физико-химических исследований (RIKEN), Япония



Университет Лунда, Швеция



Центр по изучению тяжелых ионов им. Гельмгольца, Дармштадт, Германия



Периодическая таблица элементов Д.И. Менделеева

D.I. Mendeleev's Periodic Table of Elements

1	Периодическая таблица элементов Д.И. Менделеева																18																																				
H	He											Ne	Ar	Kr	Xe	Rn																																					
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																				
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe										
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																																					

Лантаноиды Lanthanides

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

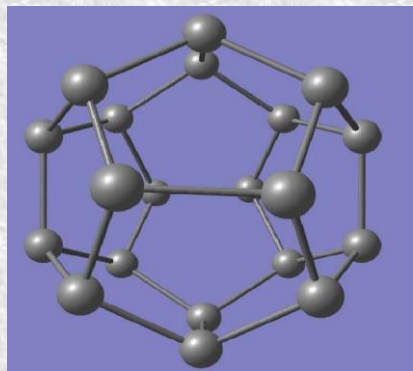
Актиноиды Actinides

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

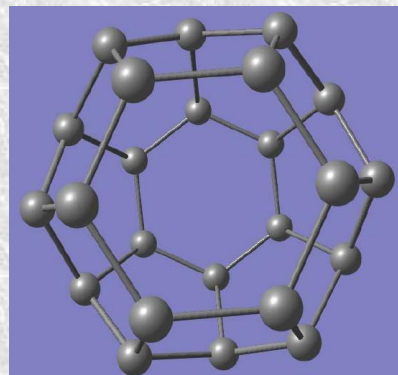
H - символ/ symbol
 A - относительная атомная масса/ relative mass
 Z - заряд ядра/ nuclear charge
 E - электронная конфигурация/ Electron configuration
 I - потенциал ионизации/ Ionization potential, eV
 D - плотность/ density, kg/m³
 T - температура плавления/ melting temperature, °C
 B - температура кипения/ boiling temperature, °C

1 - стабильные элементы
 2 - радиоактивные элементы

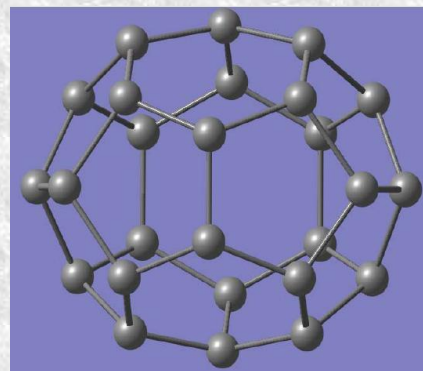
- Nihonium 113(Nh)**
Discovered at RIKEN in 2003
- Flerovium 114(Fl)**
Discovered at JINR in 1999
- Moscovium 115(Mc)**
Discovered at JINR in 2003
- Livermorium 116(Lv)**
Discovered at JINR in 2000
- Tennesine 117(Ts)**
Discovered at JINR in 2009
- Oganesson 118(Og)**
Discovered at JINR in 2001



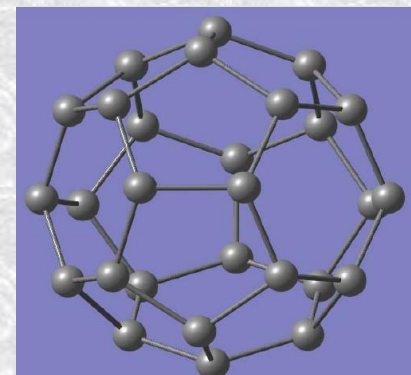
C_{20}



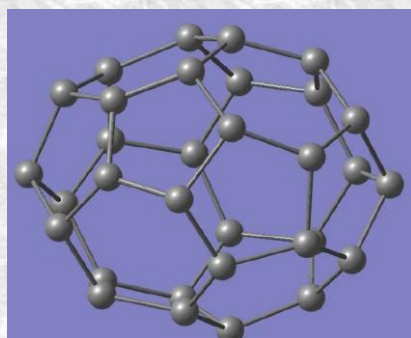
C_{24}



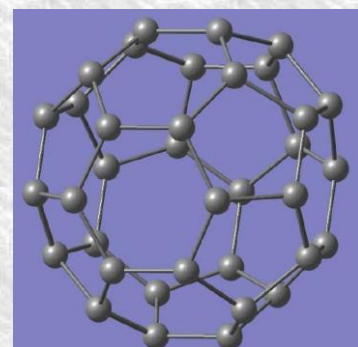
C_{26}



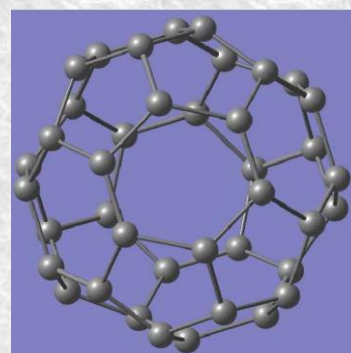
C_{28}



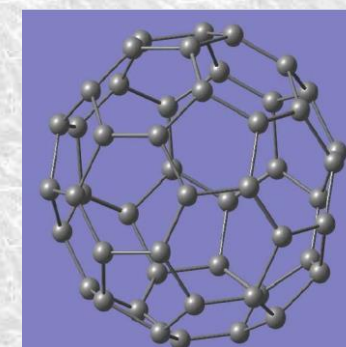
C_{32}



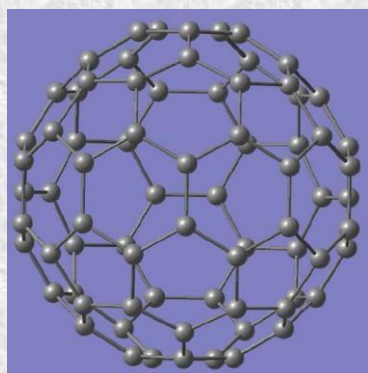
C_{36}



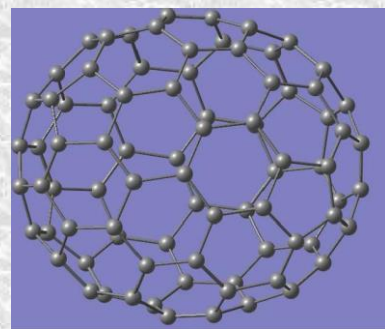
C_{40}



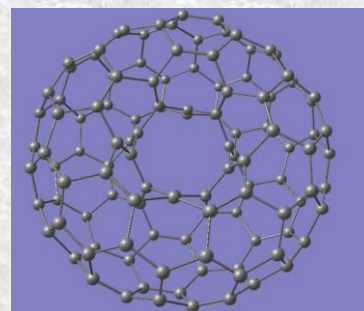
C_{50}



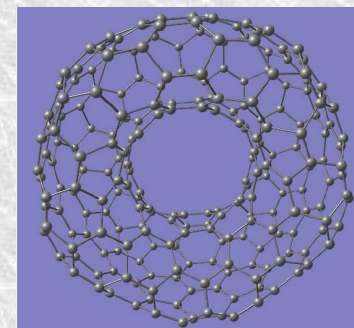
C_{60}



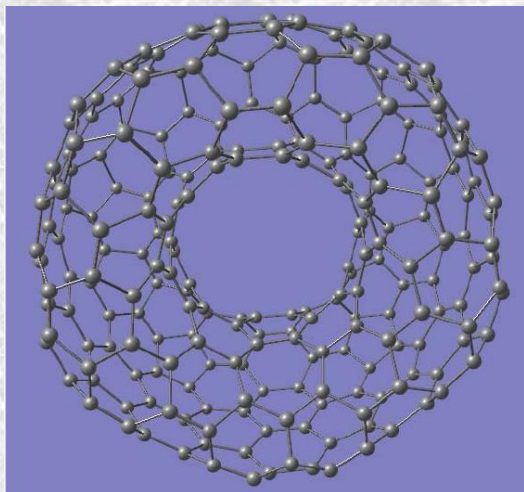
C_{76}



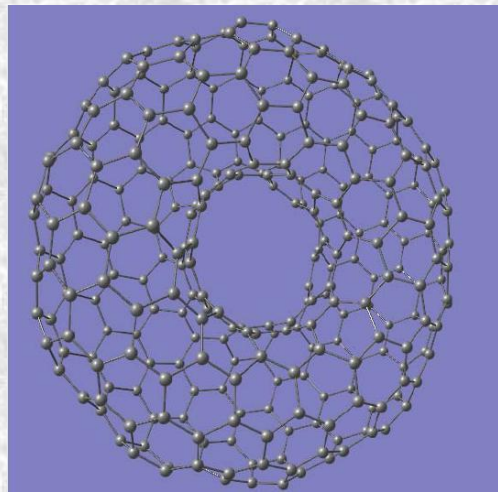
C_{84}



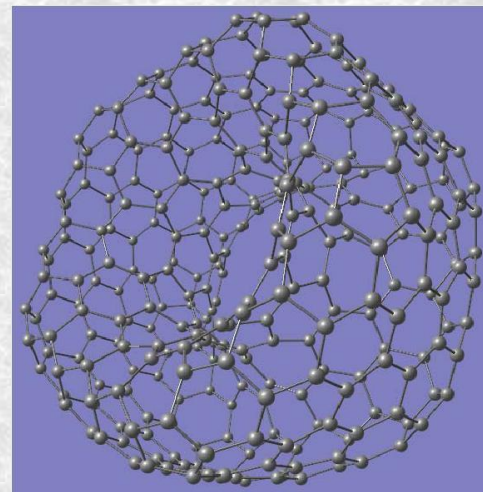
C_{120}



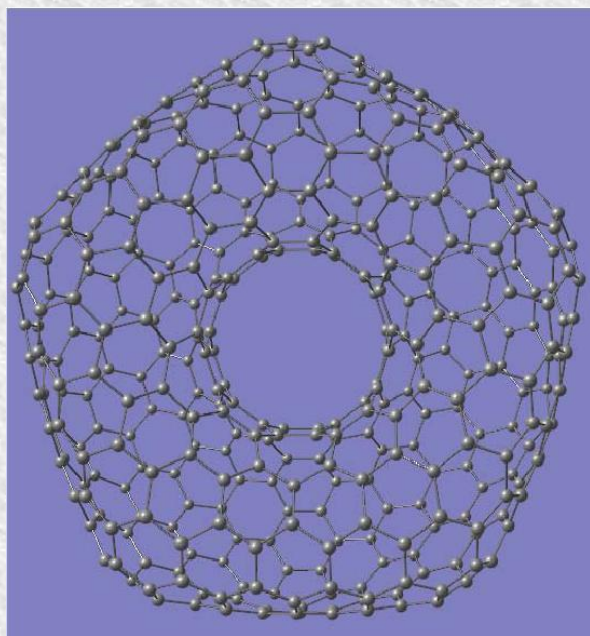
C₂₄₀



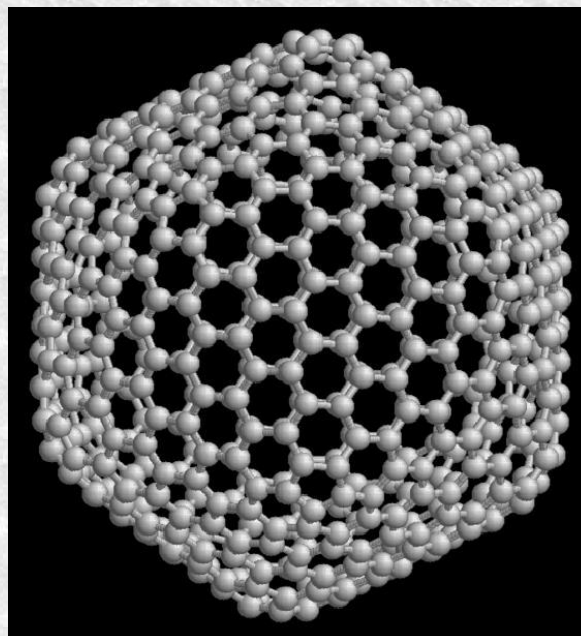
C₃₀₀



C₃₂₀



C₄₀₀



C₅₄₀

Классификация излучений

Излучения

```
graph TD; A[Излучения] --> B[Неионизирующие]; A --> C[Ионизирующие]; C --> D[Прямо ионизирующие (заряженные частицы)]; C --> E[Косвенно ионизирующие (незаряженные частицы)];
```

Неионизирующие

Видимый свет, ультрафиолет,
инфракрасное излучение,
радиоволны...

Ионизирующие

**Прямо ионизирующие
(заряженные частицы)**

*электроны, протоны,
альфа-частицы, тяжелые
ионы*

**Косвенно ионизирующие
(незаряженные частицы)**

фотоны, нейтроны

Классификация излучений

**Ионизирующие
излучения**

```
graph TD; A[Ионизирующие излучения] --> B[Излучения радионуклидов  
Кобальт-60, иридий-192, РФП]; A --> C[Генерируемые  
Рентгенаппараты, ускорители];
```

**Излучения
радионуклидов**
Кобальт-60, иридий-192, РФП

Генерируемые
Рентгенаппараты, ускорители

Ионизирующее излучение взаимодействует с материей, оно передает энергию, которая в данном случае определяется в единицах *поглощенной дозы*

Единицей измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения в системе SI является Грэй (Гр)

При облучении 1 кг вещества дозой 1 грэй веществу передается энергия 1 Дж

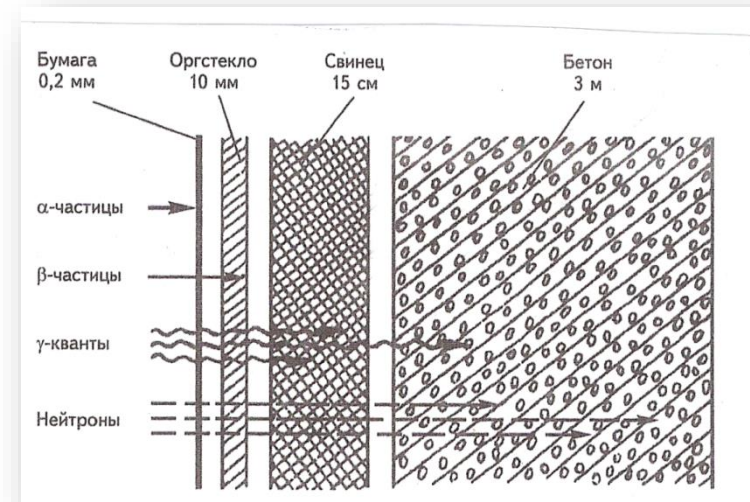
Воздействие ионизирующего излучения на организм человека, общие понятия и величины дозиметрии.

Для того чтобы понять как ионизирующее излучение воздействует на организм человека надо понять, что является ионизирующим излучением.

Ионизирующее излучение – это излучения, взаимодействие которых со средой приводит в конечном счете к ионизации атомов и молекул.

К ионизирующим излучениям относятся: электромагнитное излучение (γ - излучение), потоки α - частиц, электронов и позитронов (β - излучение), нейтронов и других заряженных и нейтральных частиц.

Источником ионизирующего излучения – называется объект, содержащий радиоактивный материал (радиоактивные вещества) или техническое устройство, испускающее или способное испускать (при определенных условиях) *ионизирующее излучение*.



Как же воздействует ионизирующее излучение на организм человека?

Ионизация, создаваемая излучением в тканях, приводит к образованию свободных радикалов, которые вызывают разрушения целостности цепочек макромолекул (белков и нуклеиновых кислот, являющихся основным строительным материалом клеток), что приводит к массовой гибели клеток, а также к канцерогенезу и мутагенезу.



Воздействие ионизирующего излучения на организм человека оценивается величинами поглощенной, эквивалентной или эффективной дозы.

Поглощенная доза (Дп) – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу. Выражается как отношение энергии излучения, поглощённой в данном объёме, к массе вещества в этом объёме. В единицах системы СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название — Грэй (Гр). Используемая ранее внесистемная единица рад равна 0,01 Гр.

Но данная величина (Дп) не отражает биологический эффект облучения. Изучение отдельных последствий облучения живых тканей показало, что при одинаковых поглощенных дозах различные виды радиации производят неодинаковое биологическое воздействие на организм. Обусловлено это тем, что более тяжелая частица (например, протон) производит на единице пути в ткани больше ионов, чем легкая (например, электрон).

Это стоит запомнить

Допустимая доза облучения
< 0,25 Гр

Доза облучения, вызывающая лучевую болезнь

1 - 6 Гр

Смертельная доза облучения
6 - 10 Гр

Воздействие радиации на ткани организма

Время

Процесс

Физические

10^{-15} с

Поглощение энергии, ионизация

Физико-химические

10^{-6} с

Взаимодействие ионов с молекулами, образование свободных радикалов

Химические

секунды

Взаимодействие свободных радикалов с молекулами, клетками, ДНК

Биологические

от минут

до десятков лет

Гибель клетки, изменения в генетических данных, мутации

Виды излучений, применяемые в лучевой терапии

- Рентгеновское излучение
- Гамма-излучение радионуклидов
- Фотоны высоких энергий
- Электроны высоких энергий
- Протоны, ионы
- Нейтроны

В основе физического взаимодействия ионизирующих излучений с облучаемым объектом лежит процесс ионизации молекул.

Ион – молекула, имеющая «+» или «-» заряд.

Возбужденная молекула – молекула с большим запасом энергии.

Свободный радикал – электрически нейтральный атом или молекула с неспаренным электроном во внешней орбите.



Алматинский
Онкологический Центр
отделение лучевой терапии

Источники фотонного и корпускулярного
излучения для лучевой терапии

Лучевой терапевт PhD Ишкинин Евгений Иванович
Медицинский физик: Датбаев Каиргельды Даулетович



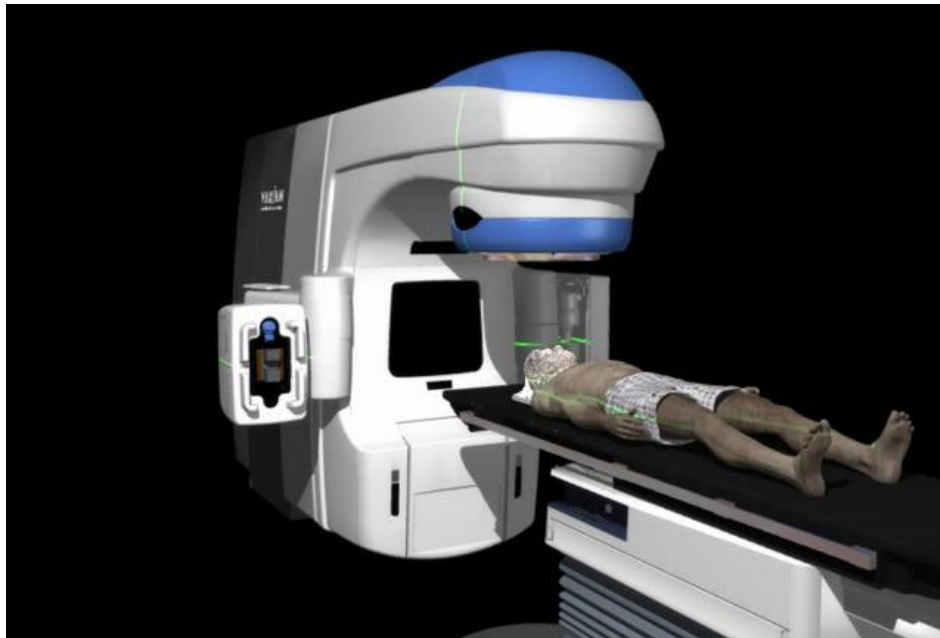
Казакский Национальный Университет имени Аль - Фараби
Специальность 7M05311-Ядерная медицина 7M05317 Ядерная медицина (МИФИ)
Название дисциплины - Лучевая терапия

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ

Дистанционная лучевая терапия

Источник излучения находится на некотором расстоянии от пациента

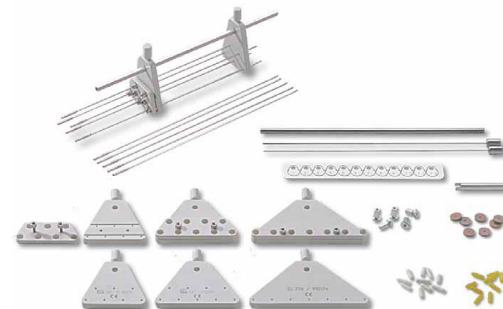
Рентгенотерапевтические аппараты, гамма-аппараты, ускорители



Контактная лучевая терапия (брахитерапия)

Источник помещается в тело пациента
(в контакте с опухолью)

Внутриполостная, внутритканевая, внутрисветная,
поверхностная



Дистанционные гамма-терапевтические аппараты

TERAGAM



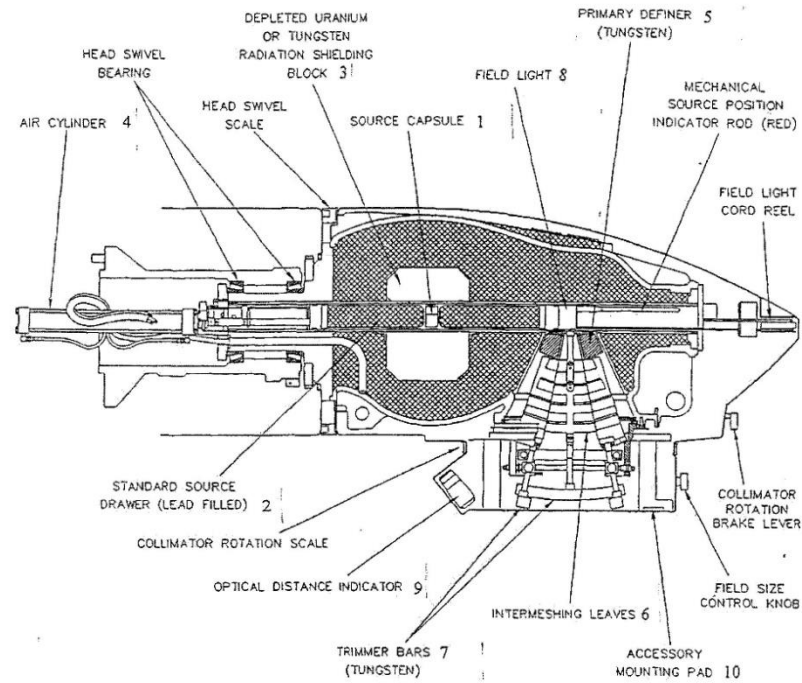
Theratron Equinox™



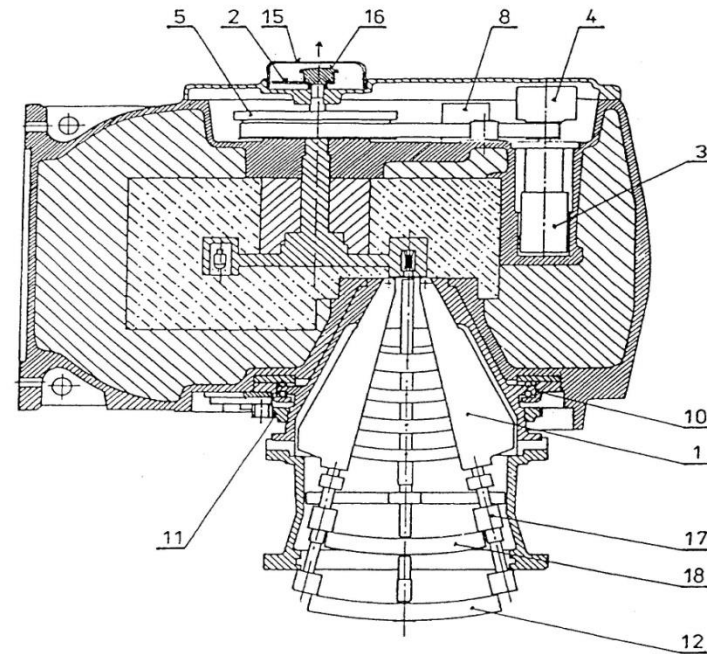
Источники Co-60 высокой активности 6000 - 8000 Ки

Радиационная головка

Theratron



TERAGAM



Линейные ускорители



Varian

Elekta



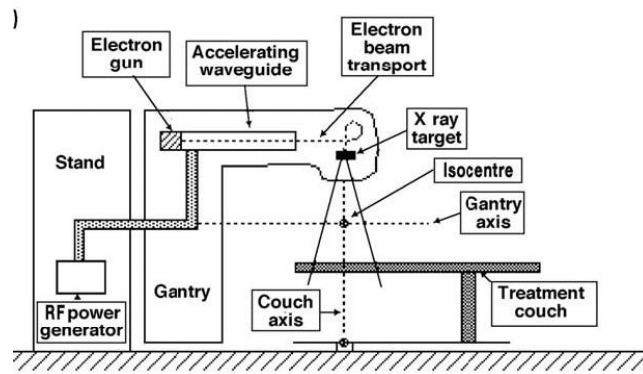
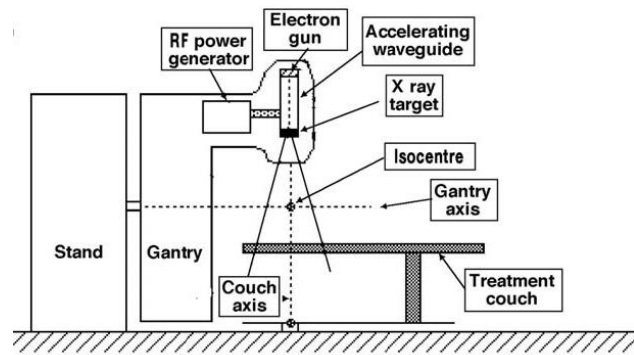
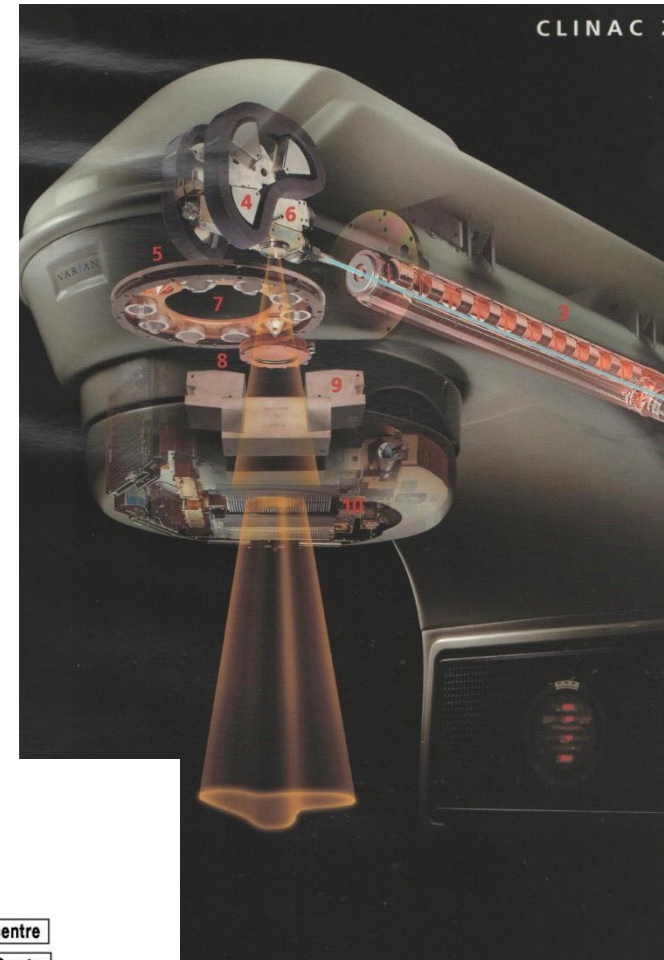
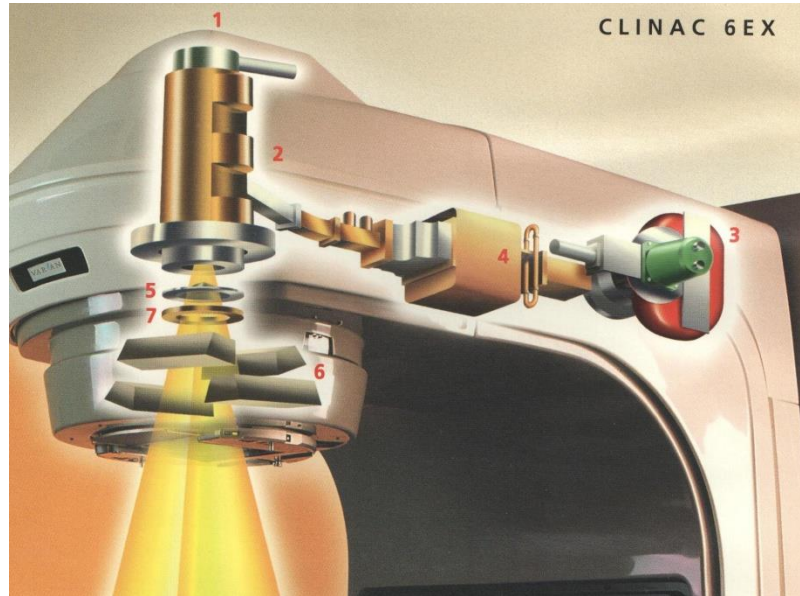
«Большие» ускорители
(высокоэнергетические):

- 2 фотонных пучка
4-6 МэВ и 15 -20 МэВ (обычно 6 и 18 МэВ)
- 5-6 электронных пучков (энергия от 4 до 22 МэВ)

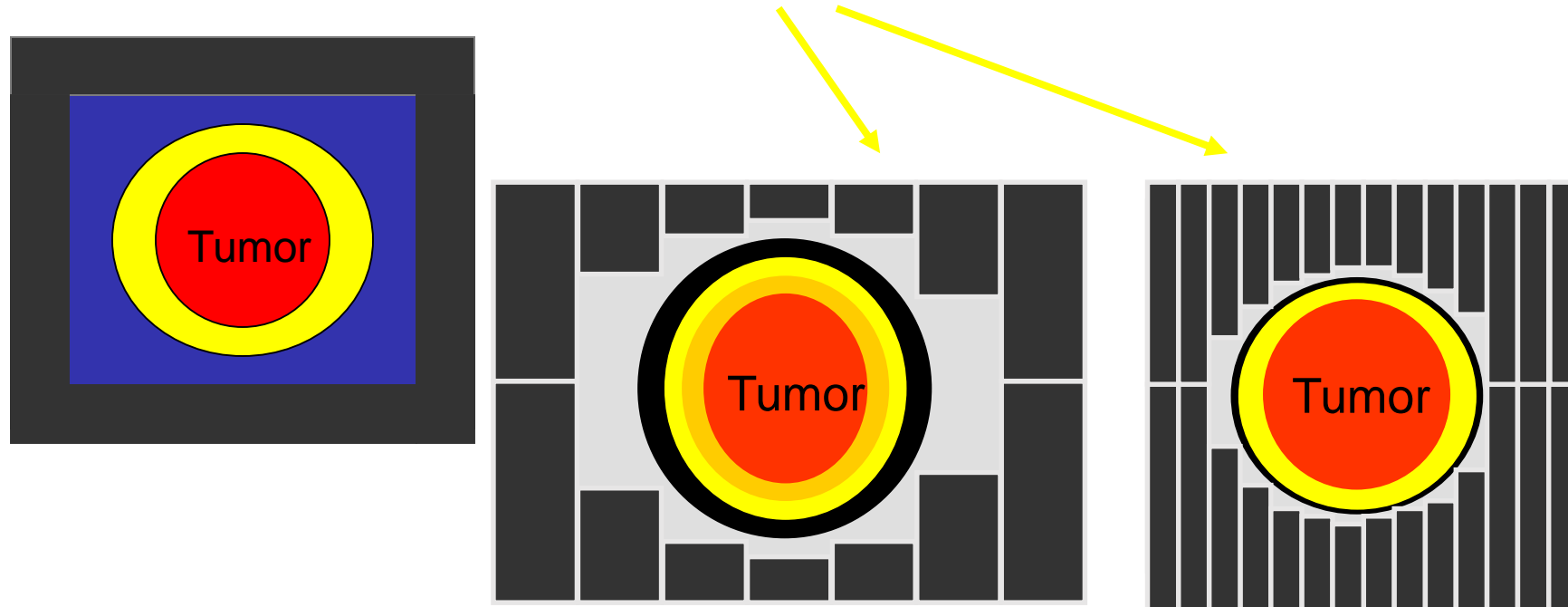
«Маленькие» ускорители
(низкоэнергетические):

- 1 фотонный пучок (4-8 МэВ)

Низко- и высокоэнергетические ускорители



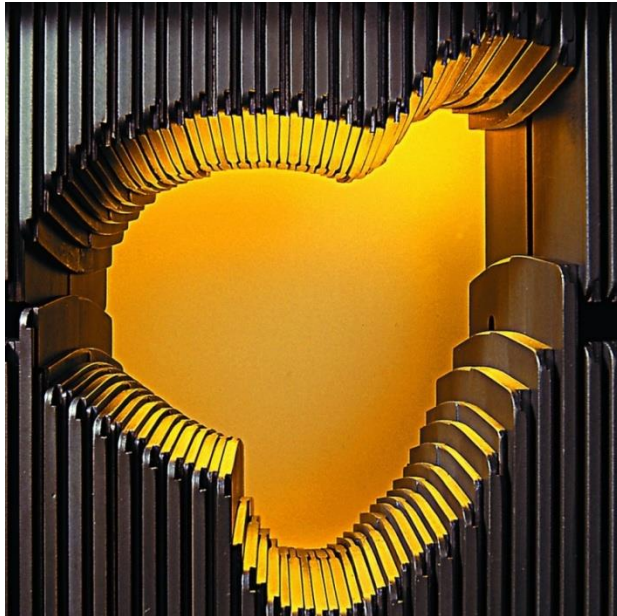
Многолепестковый коллиматор



Формирует пучок излучения соответственно
форме очага

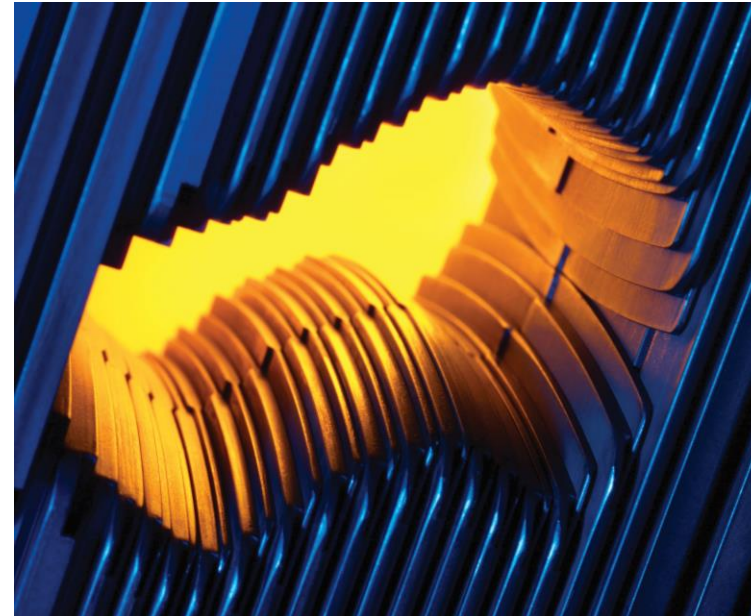
Многолепестковый коллиматор

Millennium™ MLC-120



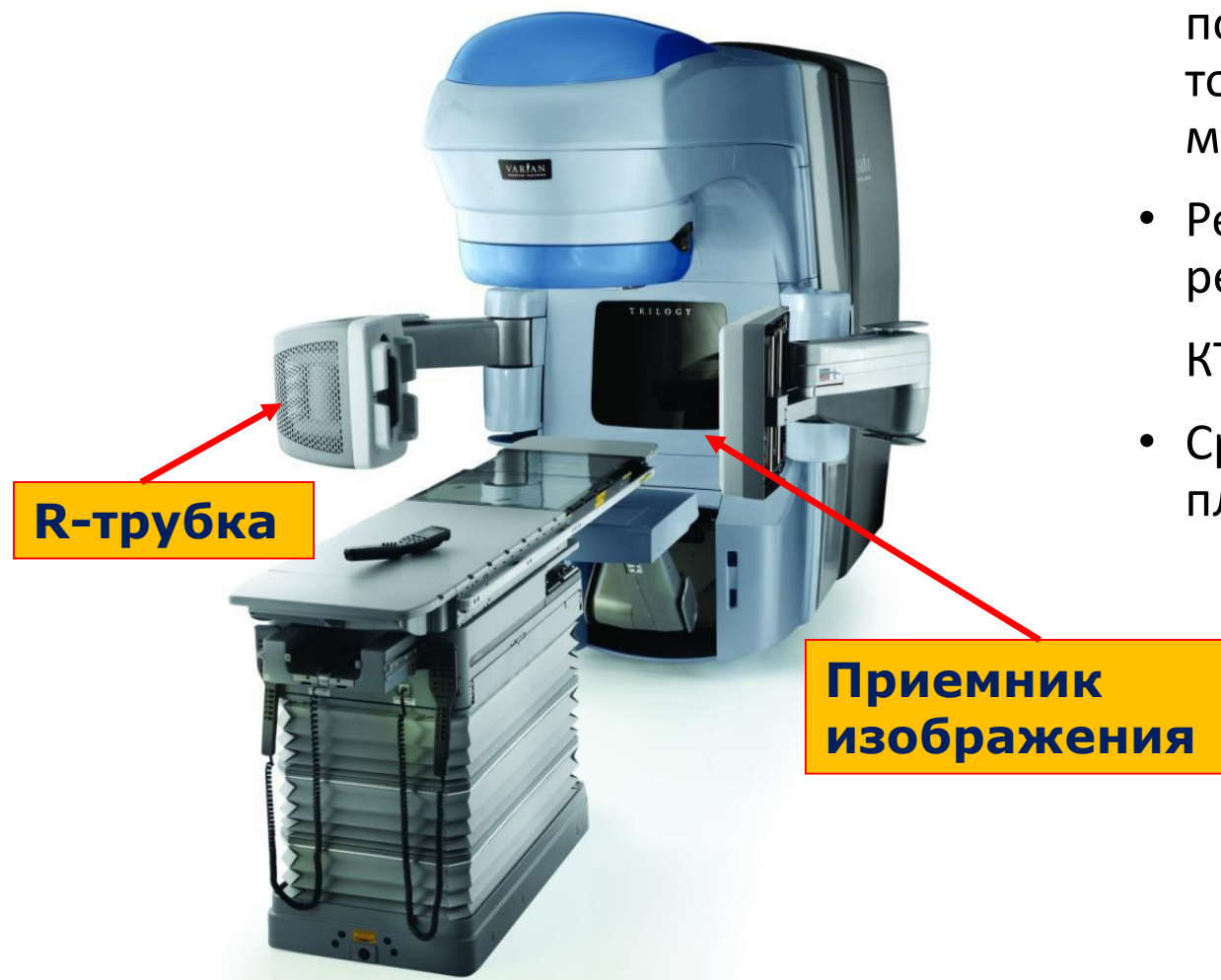
Размер поля: $40 \times 40 \text{ cm}^2$
Центр поля (20 см): 5 mm
Края: 10 mm

High-Definition HD120™ MLC



Размер поля: $40 \times 22 \text{ cm}^2$
Центр поля (8 см): 2.5 mm
Края: 5 mm

Установка рентгеновской системы визуализации On Board Imager (OBI) на ускорителе Clinac-2100C/D



- Для контроля позиционирования пациента и точности подведения пучка к мишени
- Рентгеноскопия, рентгенография, КТ в коническом пучке
- Сравнение полученных КТ с планировочными

Чтобы использовать радиотерапевтическую установку для лечения больных, сначала физики должны сделать измерения всех характеристик радиационных пучков (**клиническая дозиметрия**), ввести данные в компьютерную систему планирования лучевой терапии

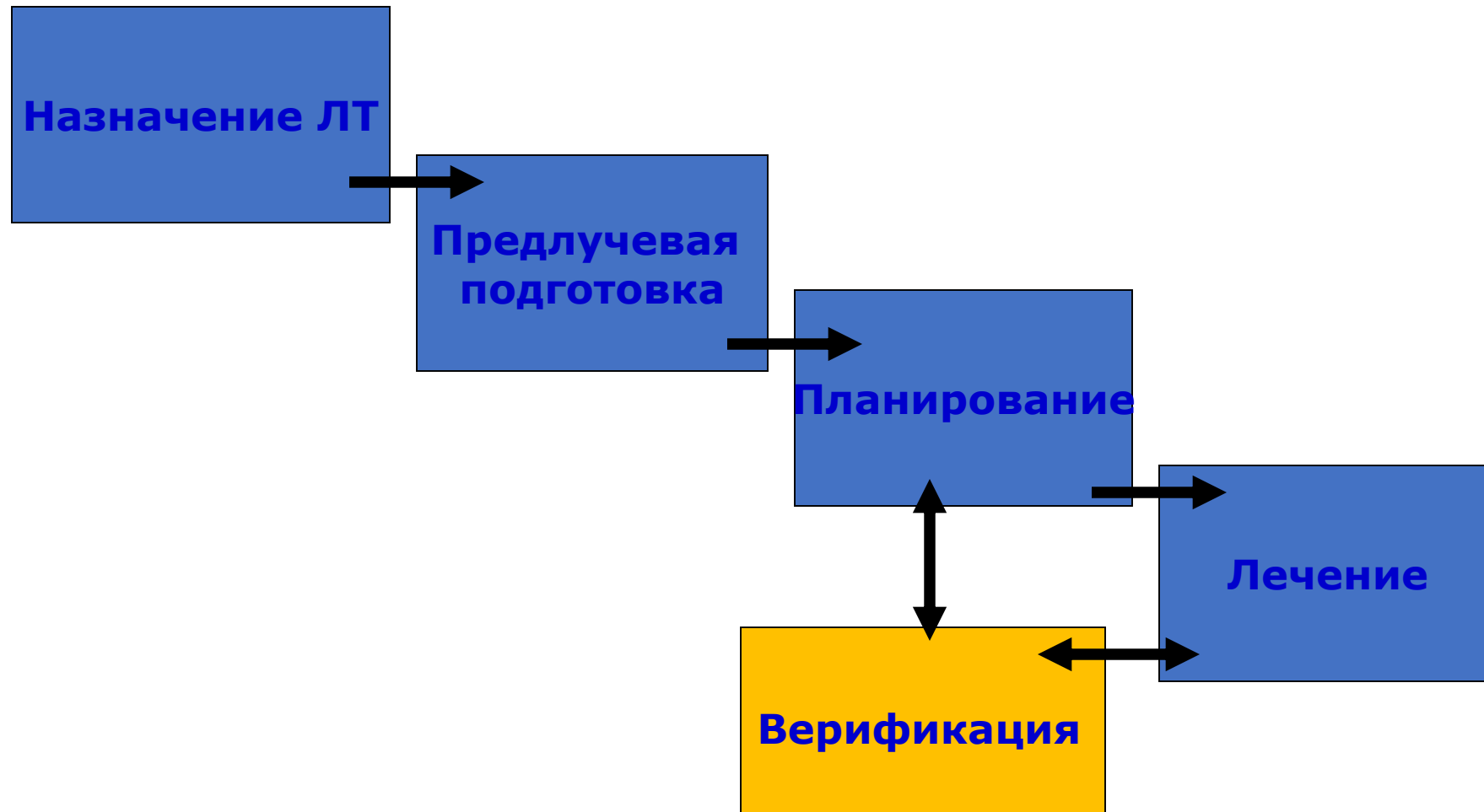
Дозиметрическое оборудование:

- клинические дозиметры
 - ионизационные камеры и другие детекторы излучений
 - фантомы (водные и пластиковые)
 - системы сканирования пучков
 - программное обеспечение
-
- вспомогательные принадлежности (барометр, термометр и др.)

Дозиметрическое оборудование



Последовательность процессов лучевой терапии



В процессе лучевой терапии участвуют

- Врачи радиологи
- Медицинские физики
- Медицинские сестры по обслуживанию лучевых установок (лаборанты, технологи)
- Инженеры

Предлучевая подготовка

- Определение размеров и положения опухоли
- Позиционирование пациента, подбор фиксации
- 2D – вычерчивание топографоанатомической карты
- 3D - получение диагностических изображений (поперечных срезов) – компьютерная томография

Также используется МРТ, ПЭТ, УЗИ, сцинтиграфия (вспомогательные методы)

Предлучевая подготовка – компьютерный томограф или симулятор с КТ



Фиксация пациента для обеспечения точности подведения пучка излучения к очагу



Термопластиковые маски

Подголовники

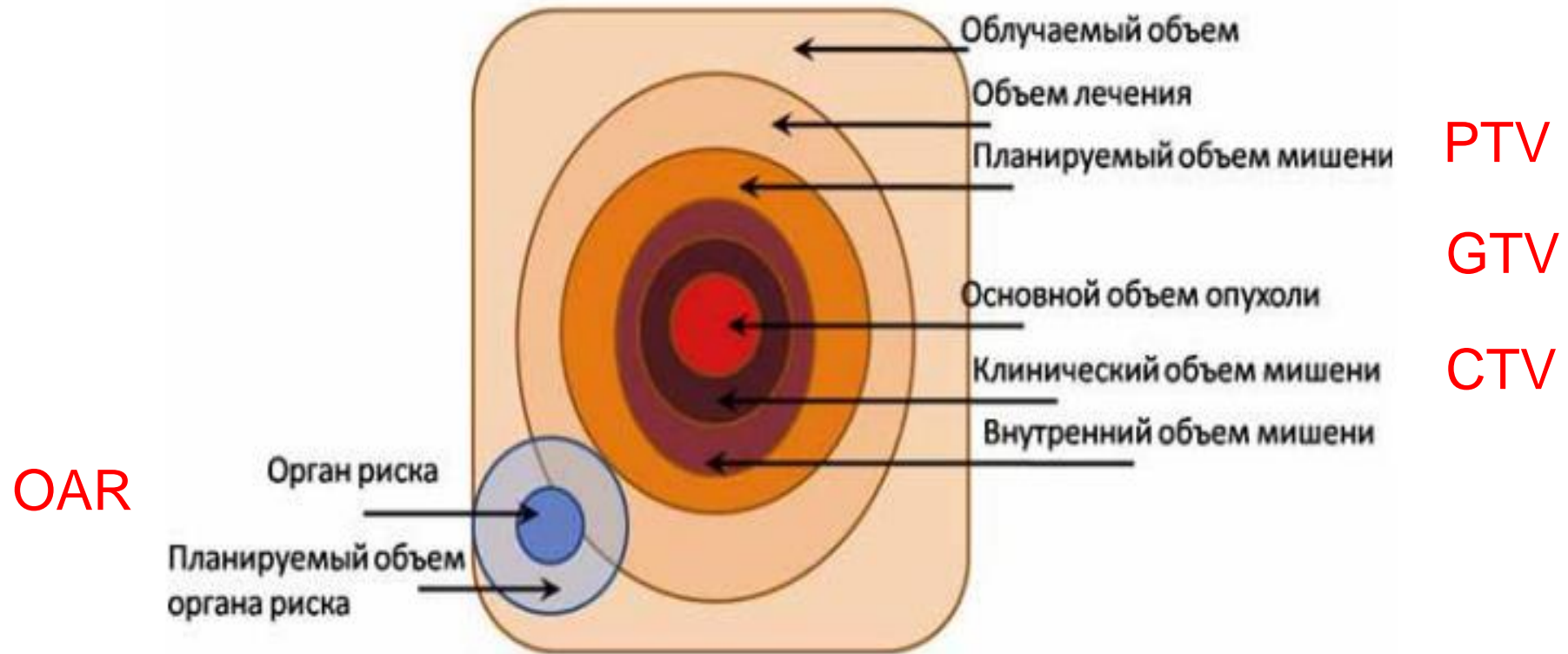
Маммоборд

Вакуумные матрасы

Подставки под ноги



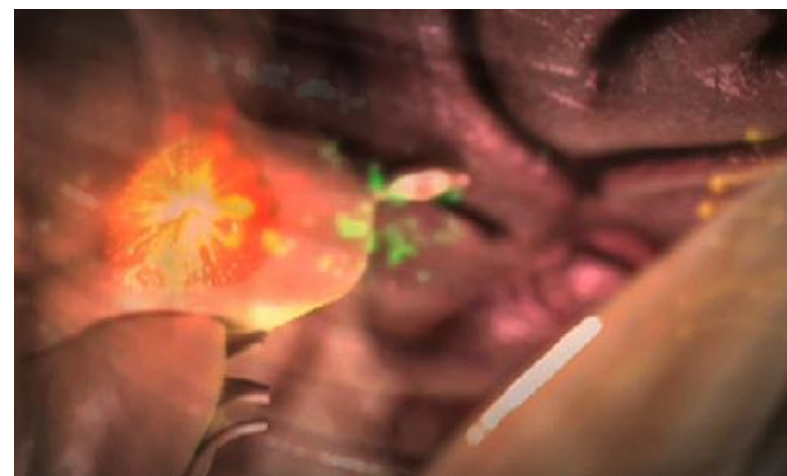
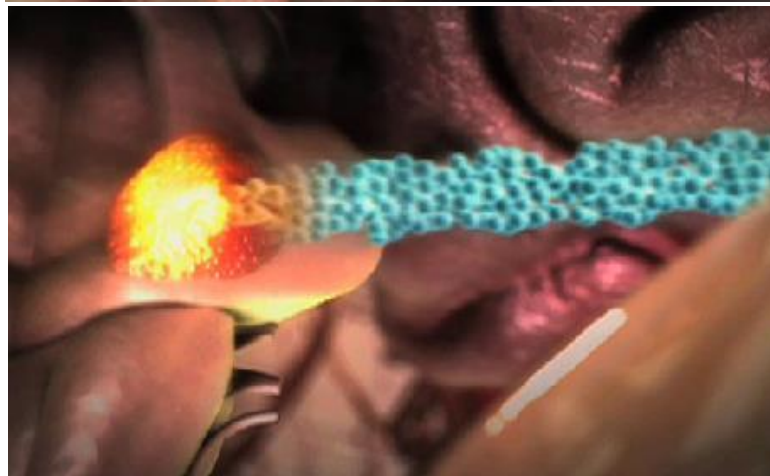
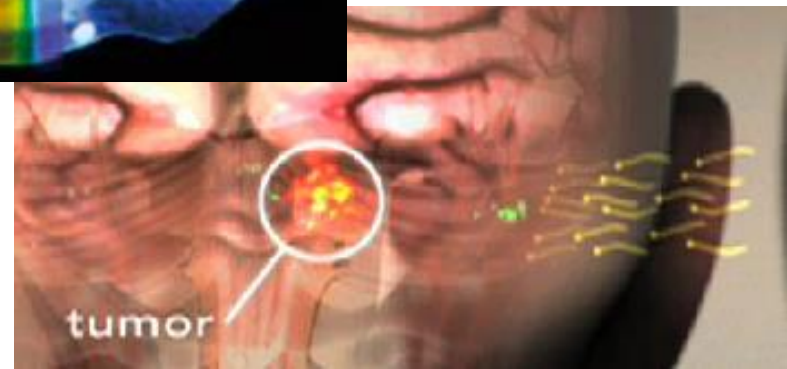
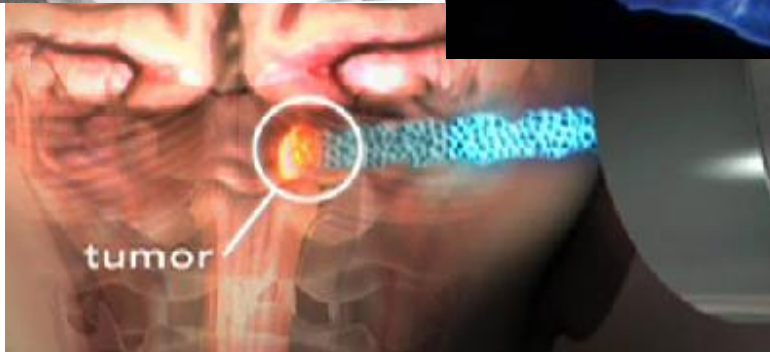
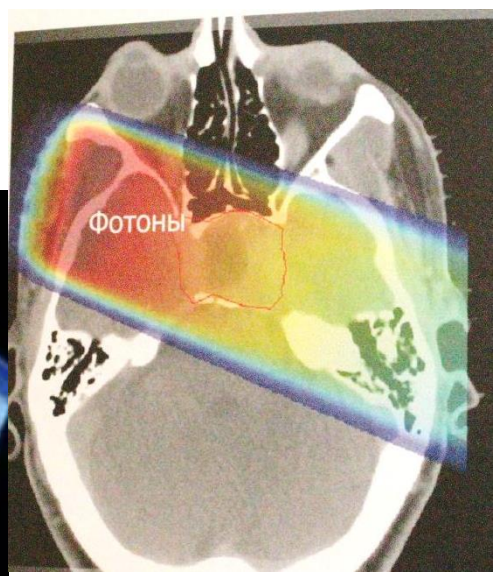
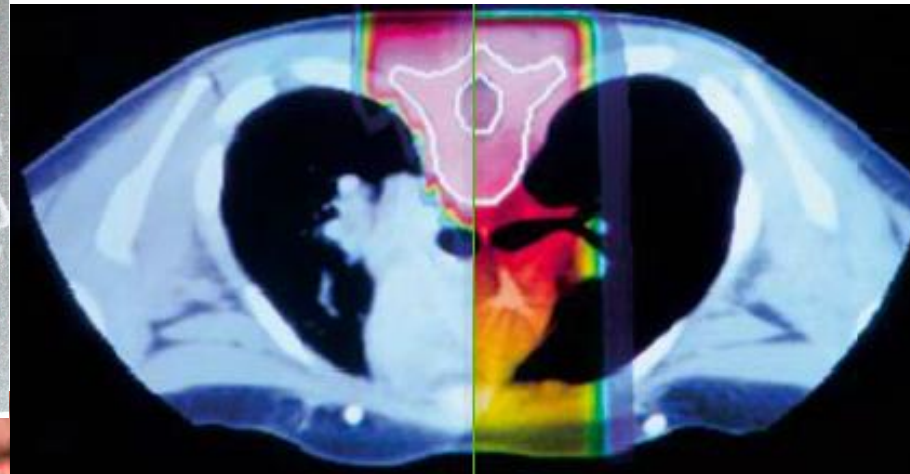
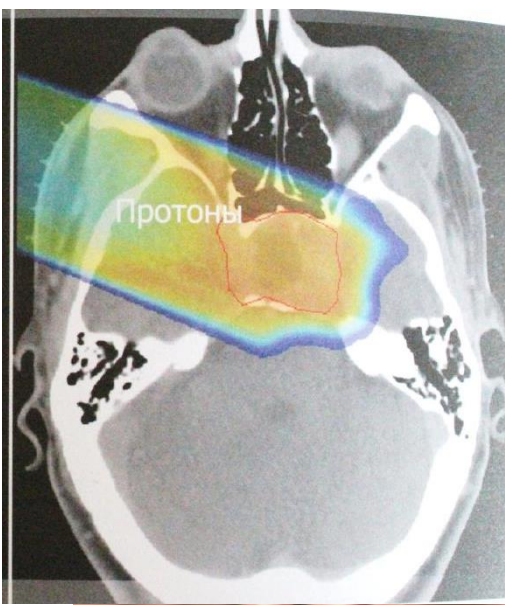
Классификация объемов облучения: GTV, CTV, PTV, OAR



2. Формирование оптимального дозного распределения для подведения предписанной дозы к очагу и минимизации облучения здоровых тканей – **выполняет физик**

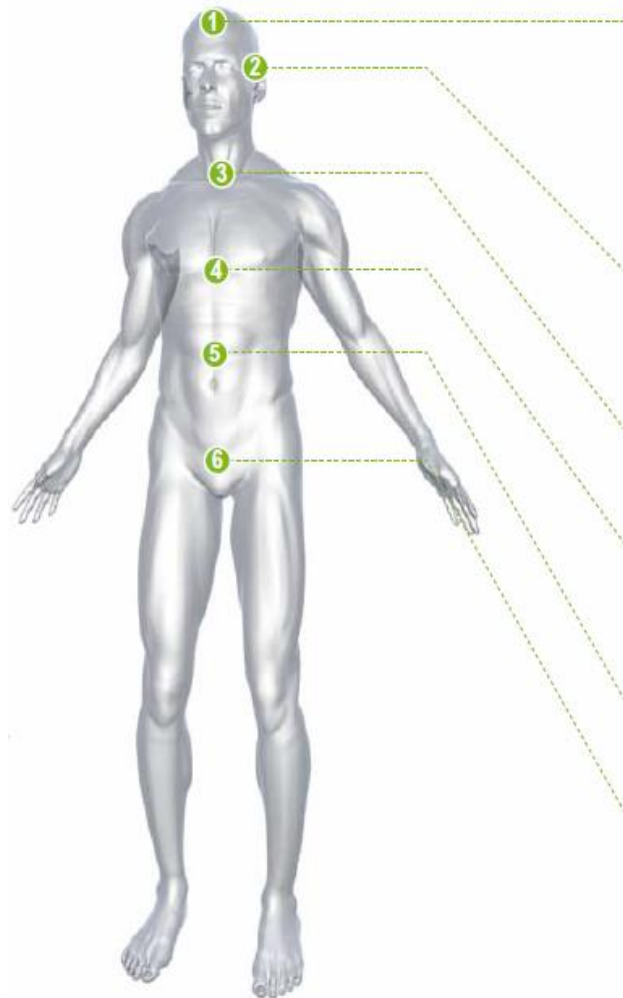
- Выбор излучения (фотоны, электроны), выбор энергии
- Подбор направлений пучков
- Применение МЛК / индивидуальных блоков
- Применение клиновидных фильтров
- Соотношение вкладов (весовых факторов)
- Нормализация

Протоны | фотоны



Показания к применению протонной терапии.

применяется прямо ионизирующее заряженное протонное излучение, особенно когда возможности лечения ограничены, и обычная лучевая терапия представляет риск для пациента (детская онкология, опухоли ЦНС, сложные анатомические области, окруженные жизненно-важными радиочувствительными органами)



1. Центральная нервная система

Глиомы у взрослых низкой и высокой степени дифференцировки детские глиомы, невриномы, Рецидивирующие или неоперабельные менингиомы, краниофарингиомы, хордомы и низкой степени дифференцировки хондросаркомы, артериовенозные мальформации, медуллобластомы, аденомы гипофиза, опухоли затылочного отверстия

2. Глаза и орбита

Увеальная меланома, дегенерация желтого пятна, хориоидальная меланома, ретинобластома, Метастазы хориоидальные, Орбитальная рабдомиосаркома, Гемангиомы хориоидеи, оптические Глиомы

3. Голова и шея

придаточных пазух носа, Первичные и рецидивные карциномы слюнных желез носоглотки, пищевода

4. Грудная клетка

Немелкоклеточный рак легкого, Рак молочной железы, рак параспинальные опухоли, Саркома мягких тканей, Лимфомы

5. Органы желудочно-кишечного тракта и пищеварения

Карцинома пищевода, Рецидивный рак прямой кишки, Рак поджелудочной железы, гепатоцеллюлярный рак

6. Малый таз

Ранние стадии рака простаты, Местно-распространенный рак простаты Местно-распространенный рак шейки матки, Тазовые Саркомы Саркома Юинга, Забрюшинная Саркома, гинекологические Карциномы

Схема дизайна центра протонной терапии



Центр протонной терапии: 3-5 – этажное здание состоящее из 1-2 корпусов обслуживающих стационарных и амбулаторных пациентов по установленному графику. Пропускная способность не менее 1000 пациентов в год при двухсменном режиме работы с 8.00 до 21.00

Оборудование центра протонной терапии

Основное оборудование

система протонной терапии – единый комплекс объединенный программно и функционально

- Протонный ускоритель –циклотрон
- Система выбора энергии пучка
- Система транспортировки пучка
- Система источников питания
- Оборудование процедурных комнат
- Система гантри
- Универсальное устройство формирования пучка
- Система позиционирования пациента
- Онкологическая информационная система (ОИС)
- Система планирования облучения (СПО)
- Система безопасности терапии (СБТ)
- Система контроля проведения лечения (СКПЛ)
- Система станочного оборудования

Вспомогательное оборудование

может быть поставлено отдельно

- системы отопления
- системы вентиляции
- системы кондиционирования
- системы дымоудаления
- системы противопожарной безопасности
- силовое электротехническое оборудование
- система водоохлаждения
- кабельные конструкции
- электрооборудование и освещение
- трубопроводы
- трубопроводная арматура

циклотрон

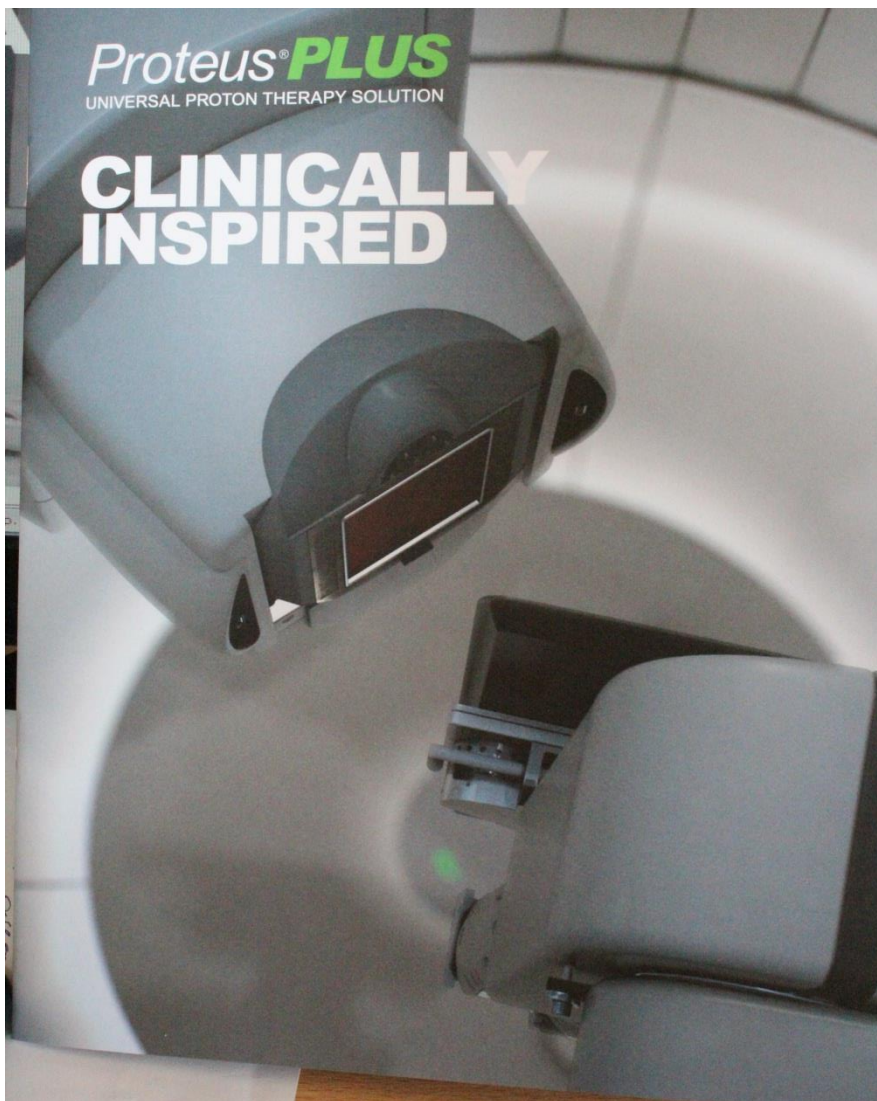


С помощью сильных магнитных полей ускоряет протоны до $2/3$ скорости света и энергии 235 МэВ
Установлен на нижнем уровне под лечебными комнатами

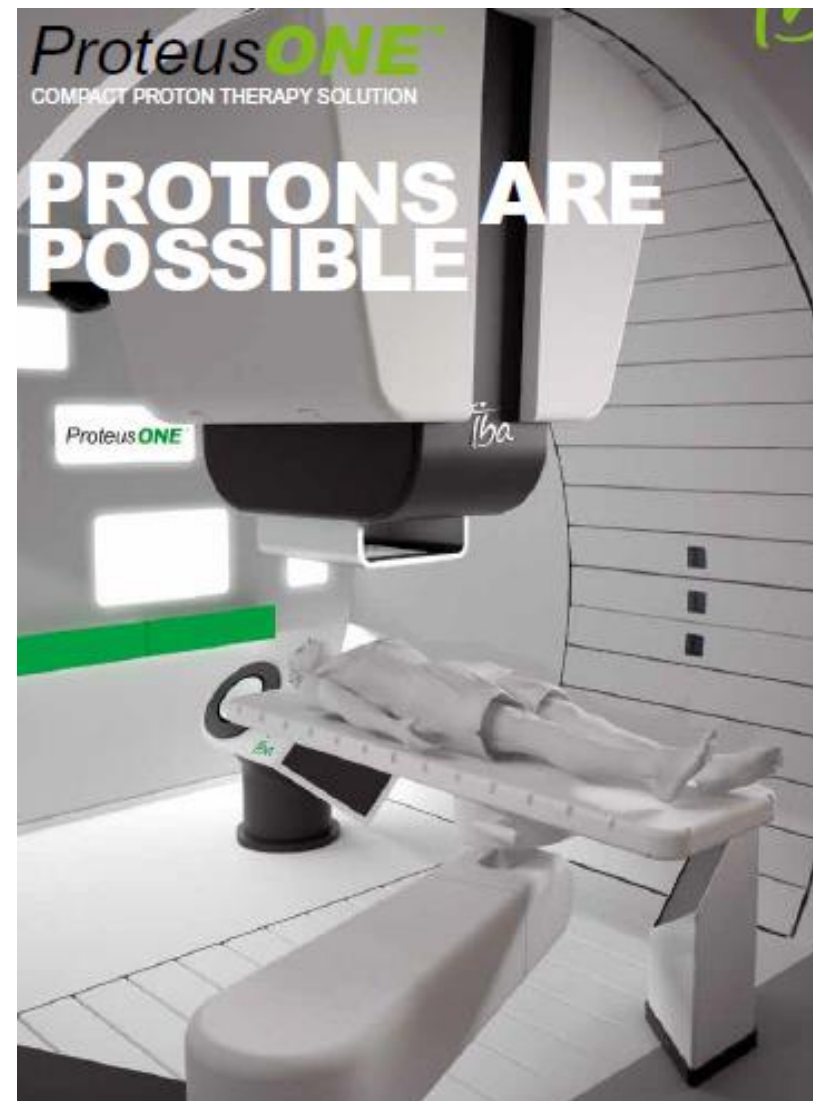
Система транспортировки луча



Состоит из серии цепочек сильных электромагнитов которые фокусируют протонный луч и транспортируют его, сначала вертикально на лечебный уровень, затем прямо горизонтально в точки входа в лечебные комнаты



ProteusPLUS
(универсальный комплекс)



ProteusONE
(компактный комплекс)

Лечебные комнаты ProteusPLUS



Гентри комната - универсальная



комната с фиксированным пучком



комната с наклонным пучком



комната с небольшим фиксированным пучком

ProteusONE



- представляет собой компактное однокомнатное решение для протонной терапии, миниатюрный циклотрон и система доставки луча, оборот гентри 220 градусов
- содержит все новейшие технологии из ProteusPLUS™,
- предназначена для преодоления разрыва между обычными методами лучевой терапии и протонной терапией.
- используется IMPT, IGPT обеспечивающие клиническую эффективность и точность луча.
- для медицинских работников безопаснее и легче в ежедневной практике, система, которая занимает меньше места (200 кв. м.), более доступна, проще в установке и эксплуатации, меньше время для строительства, легче содержать и финансировать.

Система позиционирования пациента

С развитием технологий диагностики опухолей, размещение пациента в лучшем положении, для доставки смертельной дозы в опухоль при защите здоровых тканей.

Роботизированная система позиционирования пациента (RPPS): свобода движения по 6 осям, дополнительные услуги, такие как водный фантом для оценки качества сцепления инструментов и дальнейшее расширение руки в процедурном кабинет для большого количества будущих приложений.



**Укладка пациента
осуществляется по 6ти
плоскостным осям**

Чтобы обеспечить оптимальное лечение для каждого пациента, включена функция оптимизации сопла для выполнения лучшей обработки протонных частиц:

- **Однократное рассеивание:** Обеспечивает равномерное распределение дозы протонов на небольших полях с одного рассеивателя.
- **Двукратное рассеивание:** Принимает любую энергию на входе в сопло 70-235 МэВ. Уменьшает спад на выходе. Снижение боковой полутени и уровня радиации.
- **Равномерное Сканирование:** пятно луча движется с помощью магнитного сканирования и позволяет проводить несколько мини-облучений (полная модуляция, однородность поля, безопасное лечение)
- **Сканирование Точечный луч:** часть-за-частью облучение мишени с точностью до миллиметра. Основные преимущества включают в себя: перекрашивание, без использования диафрагмы, компенсаторных устройств, равномерность дозы, интенсивность модуляции (IMPT), и стробирование.

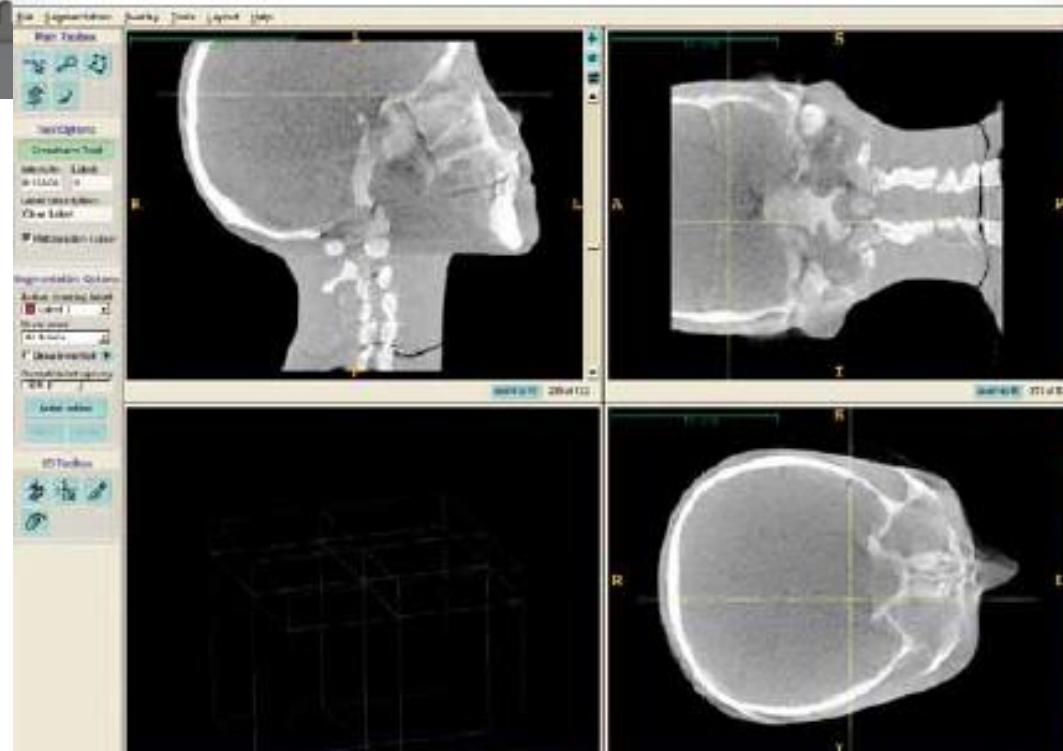




Возможность IMRT, IGRT

Предусматривает
трехмерное сканирование
пациента с целью
визуализации опухоли и
верификации плана лечения

В дополнение автоматической
регистрация и визуализация с
помощью 2.5D цифровой
рентгеноскопии и флюороскопии.
Позволяет наблюдать положение
пациента и области облучения во
время лечения, важно для
приспособления к движению
органов пациентов



Центры протонной терапии, апрель 2012г.



Функционирует 12 центров – 39 лечебных комнат
На этапе строительства - 8 центров с 18 лечебными комнатами и 8 компактных комплексов



ProteusPLUS (универсальный комплекс)



ProteusONE (компактный комплекс)

Характеристика	ProteusPLUS (универсальный комплекс)	ProteusONE (компактный комплекс)
Размер	1600м2	200м2
Пропускная способность пациентов в год	1000	250
Применение в клинической практике	сравнимо	
Мощность циклотрона	До 235 МэВ	
Оборот гантри	360 градусов	220 градусов
Роботизированная система позиционирования пациента	+	+
4 режима терапии	+	+
Возможность IMRT, IGRT	+	+
Возможность научного исследования протонного облучения	+	-
Необходимый штат	больше	меньше
Срок установки	больше	меньше
Стоимость установки	300 mln USD	25 mln USD
Стоимость содержания	больше	меньше

