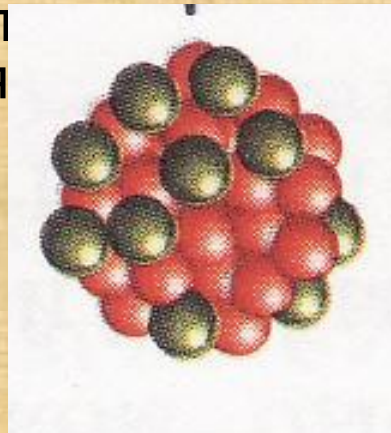


# Строение атомного ядра

Дома: §45, 46, №224

# Ядро

Ядро представляет собой центральную часть атома (**см. также АТОМА СТРОЕНИЕ**). В нем сосредоточены положительный электрический заряд и основная часть массы атома; по сравнению с радиусом электронных орбит размеры ядра чрезвычайно малы:  $10^{-15}$ – $10^{-14}$  м. Ядра всех атомов состоят из протонов и нейтронов, имеющих почти одинаковую массу, но лишь протон несет электрический заряд. Полное число протонов называется атомным номером  $Z$  атома, который совпадает с числом электронов в нейтральном атоме. Ядерные частицы (протоны и нейтроны), называемые нуклонами, удерживаются вместе очень большими силами; по своей природе эти силы не могут быть ни электрическими, ни гравитационными, а по своей величине они на много порядков превышают силы, связывающие электроны с ядром.



# История открытия строения атомного ядра

Ядра большинства атомов оказались не только очень малы – на них никак не действовали такие средства возбуждения оптических явлений, как дуговой искровой разряд, пламя и т.п. Указанием на наличие некой внутренней структуры ядра явилось открытие в 1896 А. Беккерелем радиоактивности. Оказалось, что уран, а затем и радий, полоний, радон и т.п. испускают не только коротковолновое электромагнитное излучение, рентгеновское излучение и электроны (бета-лучи), но и более тяжелые частицы (альфа-лучи), а они могли исходить лишь из массивной части атома.



# Открытие строения ядра

- Открытие изотопов не прояснило вопрос о строении ядра. К этому времени были известны лишь протоны – ядра водорода и электроны, а потому естественной была попытка объяснить существование изотопов различными комбинациями этих положительно и отрицательно заряженных частиц. Можно было бы думать, что ядра содержат  $A$  протонов, где  $A$  – массовое число, и  $A-Z$  электронов. При этом полный положительный заряд совпадает с атомным номером  $Z$ .

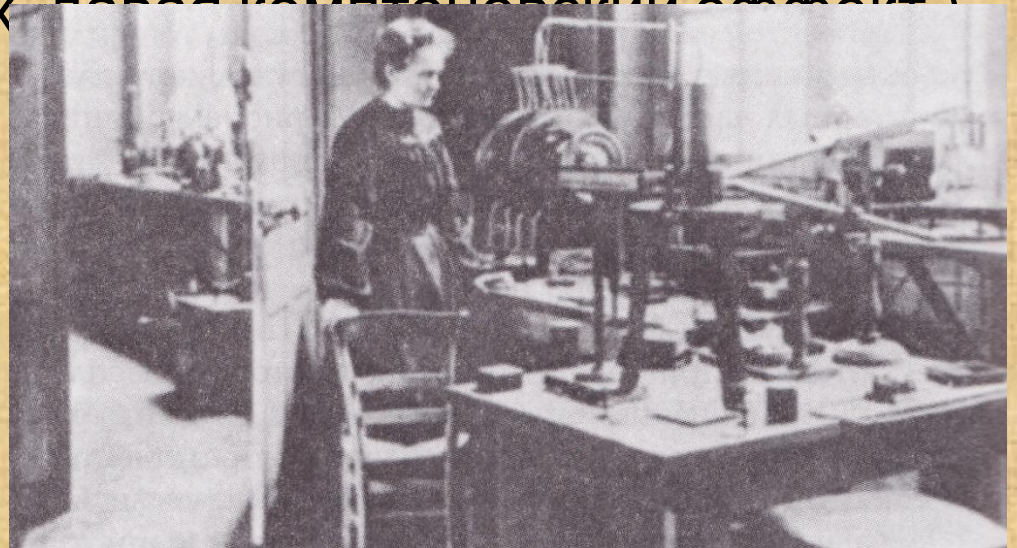


# Открытие нейтрона

- Лишь спустя десятилетие, после того как естественная радиоактивность была глубоко исследована, а радиоактивное излучение стали широко применять, чтобы вызывать искусственное превращение атомов, было надежно установлено существование новой составной части ядра. В 1930 В.Боте и Г.Беккер из Гисенского университета проводили облучение лития и бериллия альфа-частицами и с помощью счетчика Гейгера регистрировали возникающее при этом проникающее излучение.

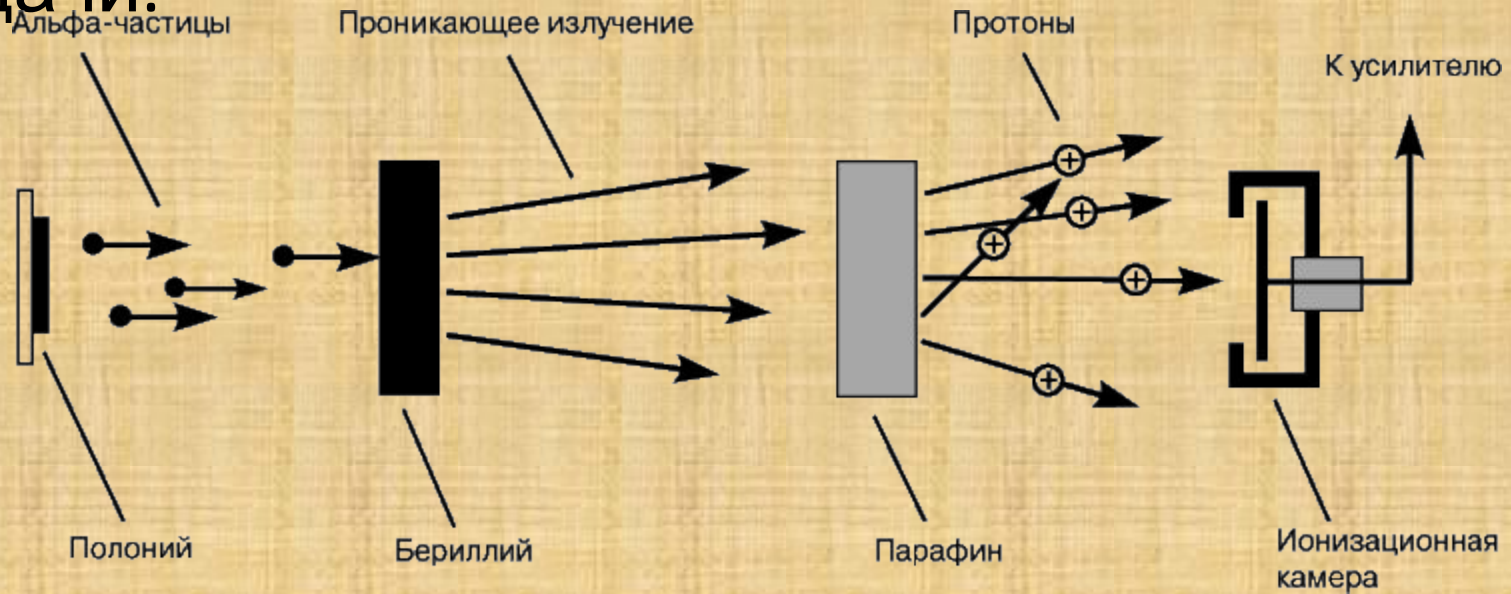


Поскольку на это излучение не оказывали влияния электрические и магнитные поля и оно обладало большой проникающей способностью, авторы пришли к выводу, что испускается жесткое гамма-излучение. В 1932 Ф.Жолио и И. Кюри повторили опыты с бериллием, пропуская такое проникающее излучение через парафиновый блок. Они обнаружили, что из парафина выходят протоны с необычно высокой энергией, и заключили, что, проходя через парафин, гамма-излучение в результате рассеяния порождает протоны. (В 1923 было установлено, что рентгеновские лучи рассеиваются на электронах — эффект Комптона)



# Опыты Чедвика

- Дж. Чедвик повторил эксперимент. Он также использовал парафин и с помощью ионизационной камеры (рис.), в которой собирался заряд, возникающий при выбивании электронов из атомов, измерял пробег протонов отдачи.



- Применив к результатам обоих экспериментов законы сохранения энергии и импульса, он пришел к выводу, что обнаруженное нейтральное излучение – это *не* гамма-излучение, а поток частиц с массой, близкой к массе протона. Чедвик показал также, что известные источники гамма-излучения не выбивают протонов.
- Тем самым было подтверждено существование новой частицы, которую теперь называют нейтроном.



# Модель ядра

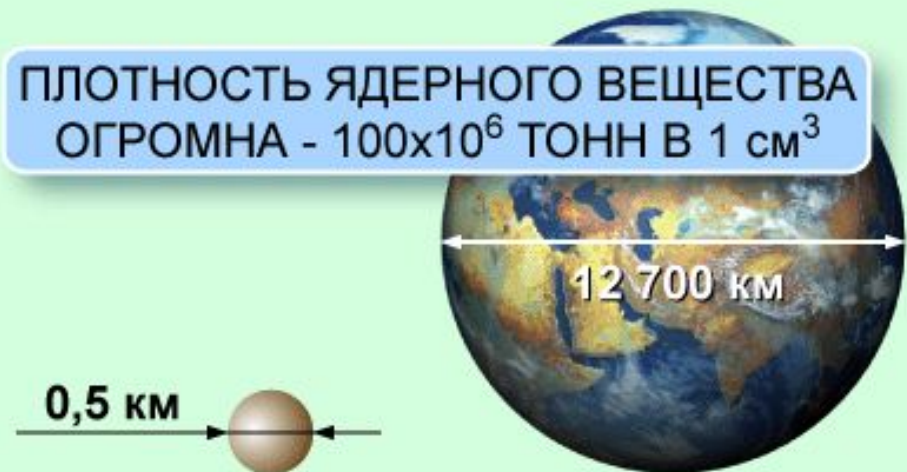
1932 г Иваненко и Гейзенберг предложили *протонно-нейтронную модель* атомного ядра

МАССА ПРОТОНА ИЛИ НЕЙТРОНА  
В 1840 РАЗ БОЛЬШЕ МАССЫ ЭЛЕКТРОНА



ПОЭТОМУ ПРАКТИЧЕСКИ ВСЯ МАССА  
АТОМА СОСРЕДОТОЧЕНА В ЕГО ЯДРЕ

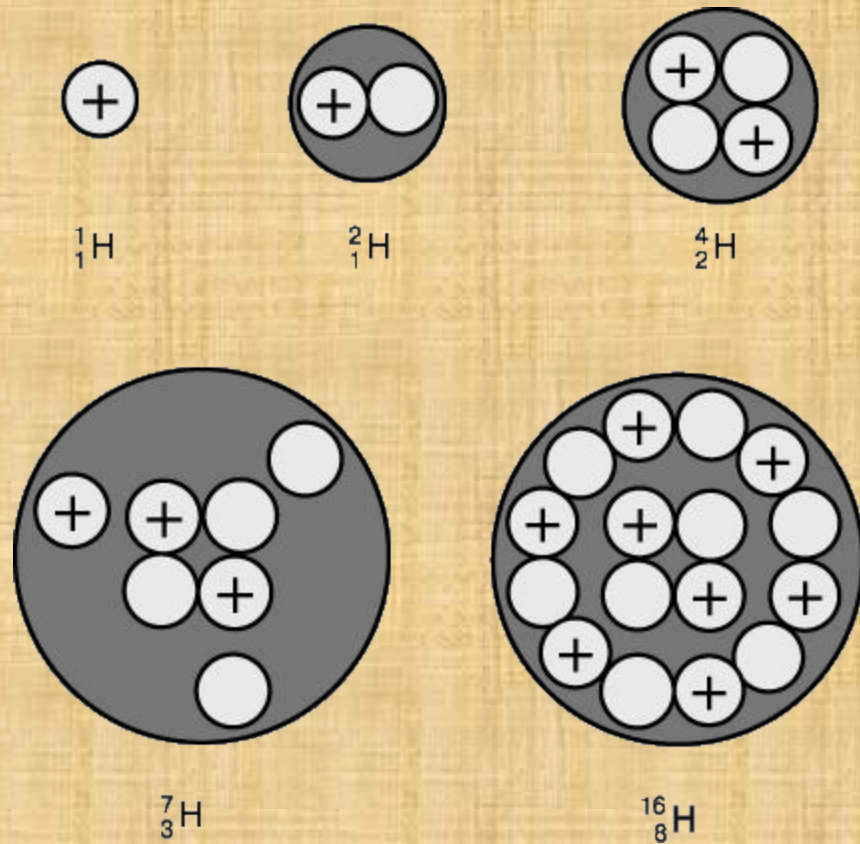
ПЛОТНОСТЬ ЯДЕРНОГО ВЕЩЕСТВА  
ОГРОМНА -  $100 \times 10^6$  ТОНН В  $1 \text{ см}^3$



ШАР, СОСТОЯЩИЙ ИЗ ЯДЕРНОГО ВЕЩЕСТВА,  
ДИАМЕТРОМ 0,5 км РАВЕН ПО ВЕСУ ЗЕМНОМУ ШАРУ

# Структура атомных ядер

- Открытие нейтрона явилось важным шагом вперед. Наблюдаемые характеристики ядер теперь можно было интерпретировать, рассматривая нейтроны и протоны как составные части ядер. На рис. схематически показана структура нескольких легких ядер.



Нейтрон, как теперь известно, на 0,1% тяжелее протона. Свободные нейтроны (вне ядра) претерпевают радиоактивный распад, превращаясь в протон и электрон. Это напоминает о первоначальной гипотезе составной нейтральной частицы. Однако внутри стабильного ядра нейтроны связаны с протонами и самопроизвольно не распадаются.

# Ядерные силы

- Малый радиус действия ядерных сил впервые отчетливо обнаружился уже в опытах по рассеянию Резерфорда. Альфа-частицы, приближавшиеся к центру ядра до  $10^{-14}$  м, испытывали действие сил, знак и величина которых отличались от обычного электростатического отталкивания. Более поздние эксперименты с применением нейтронов показали, что между всеми нуклонами существуют большие короткодействующие силы.

Эти силы отличны от хорошо известных электростатических и гравитационных сил, не исчезающих даже на очень больших расстояниях. Ядерные силы являются силами притяжения, что прямо следует из факта существования устойчивых ядер, вопреки электростатическому отталкиванию находящихся в них протонов. Ядерные силы между любой парой нуклонов (нейтронов и протонов) – одни и те же; это показывает сравнение энергетических уровней «зеркальных ядер», отличающихся друг от друга тем, что в них протоны заменены нейтронами и наоборот. В пределах своего радиуса действия ядерные силы достигают очень большой величины. Отсюда быстрый первоначальный рост (с увеличением  $A$ ) средней энергии связи, приходящейся на один нуклон, и относительное постоянство этой энергии в дальнейшем. (Если бы каждый нуклон взаимодействовал со всеми нуклонами в ядре, то энергия связи, приходящаяся на один нуклон, все время росла бы

# Кванты ядерных взаимодействий

- многие идеи, лежащие в основе «мезонной теории ядерных сил», опубликованной в 1935 Х.Юкавой, оказались в согласии с экспериментальными фактами. Юкава выдвинул гипотезу, что притяжение, удерживающее нуклоны внутри ядра, возникает благодаря наличию «квантов» некоего поля, аналогичных фотонам (световым квантам) электромагнитного поля и обеспечивающих взаимодействие электрических зарядов. Из квантовой теории поля следует, что радиус действия силы обратно пропорционален массе соответствующего кванта; в случае электромагнитного поля масса квантов – фотонов – равна нулю, и радиус действия сил бесконечен. Масса квантов ядерного поля (названных «мезонами»), вычисленная по экспериментально измеренному радиусу действия ядерных сил, оказалась примерно в 200 раз больше массы электрона.

- Положение теории Юкавы упрочилось после того, как К. Андерсон и С.Неддермейер открыли в 1936 новую частицу с массой примерно 200 электронных масс (ныне именуемую мюоном), которую они обнаружили с помощью камеры Вильсона в космических лучах. (В 1932 Андерсон открыл «позитрон», положительный электрон.) Вначале казалось, что кванты ядерных сил найдены, однако проведенные затем эксперименты обнаружили обескураживающее обстоятельство: «ключ к ядерным силам» не взаимодействует с ядрами! Эта запутанная ситуация прояснилась лишь после того, как в 1947 С. Пауэлл обнаружил частицу с подходящей массой, которая взаимодействует с ядрами. Эта частица (названная пимезоном, или пионом) оказалась нестабильной и самопроизвольно распадалась, превращаясь в мюон. Пимезон подходил на роль частицы Юкавы, и его свойства были во всех деталях изучены физиками, использовавшими для этих целей космические лучи и

Стабильные протоны и нейтроны, притягиваемые друг к другу остаточными цветовыми силами взаимодействия между составляющими их кварками, образуют нейтральное по цвету ядро атома. Но ядра несут положительный электрический заряд и, притягивая отрицательные электроны, вращающиеся вокруг ядра наподобие планет, обращающихся вокруг Солнца, стремятся образовать нейтральный атом. Электроны на своих орбитах удалены от ядра на расстояния, в десятки тысяч раз превышающие радиус ядра, – свидетельство того, что удерживающие их электрические силы гораздо слабее ядерных. Благодаря силе цветового взаимодействия 99,945% массы атома заключено в его ядре. Масса *u*- и *d*-кварков примерно в 600 раз больше массы электрона. Поэтому электроны намного легче и подвижнее ядер. Их движением в веществе обусловлены электрические явления.