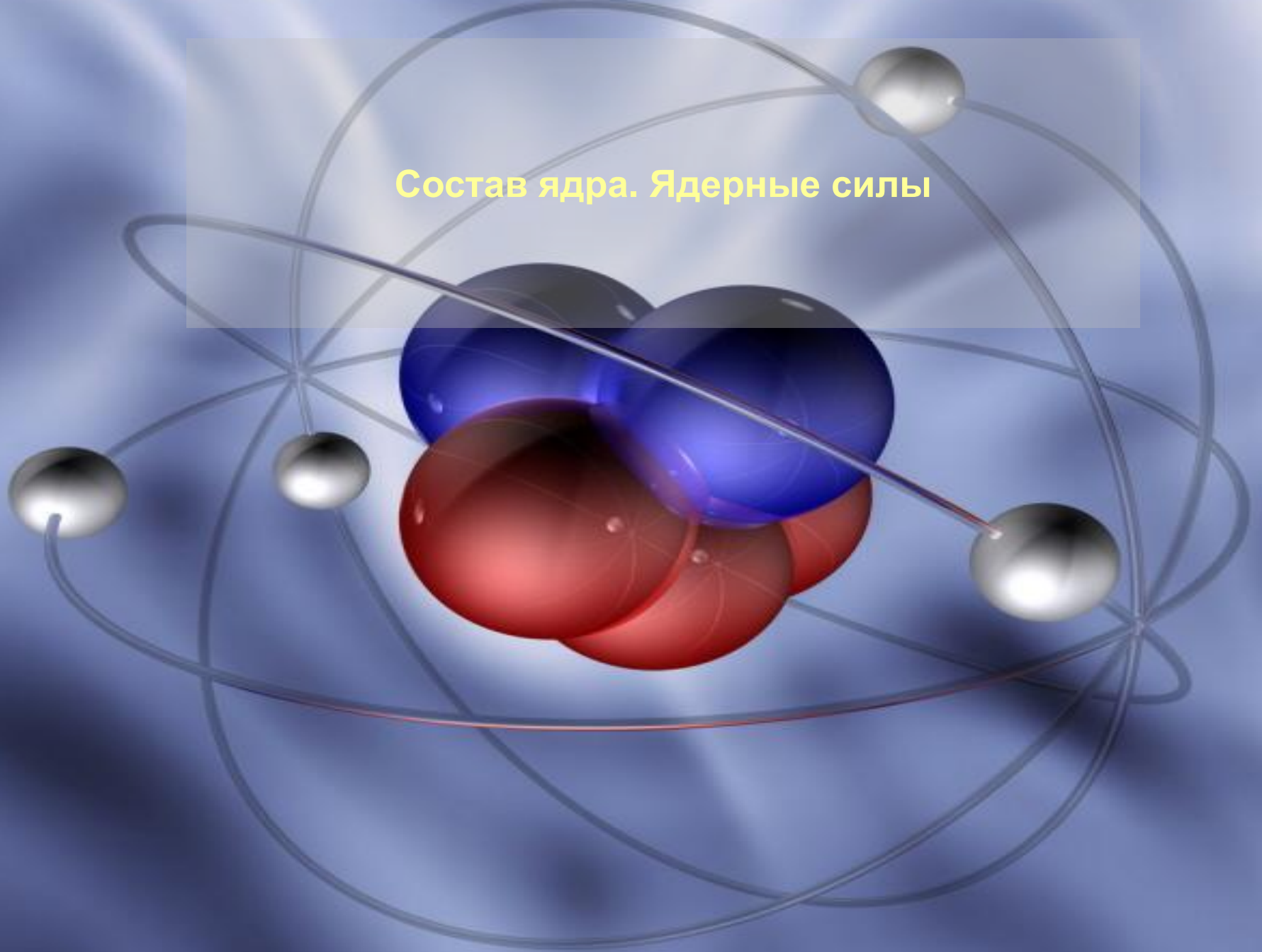


Состав ядра. Ядерные силы



Строение атома

Конкретные представления о строении атома развивались по мере накопления физикой фактов о свойствах вещества. Открыли электрон, измерили его массу. Мысль об электронном строении атома, впервые высказанную В. Вебером в 1896 г., развил Х. Лоренц. Именно он создал электронную теорию:

электроны входят в состав атома.

Опираясь на эти открытия, Дж. Томсон в 1898 г. Предложил модель атома в виде положительно заряженного шара радиусом 10^{-10} м, в котором плавают электроны, нейтрализующие положительный заряд (рис. 1)

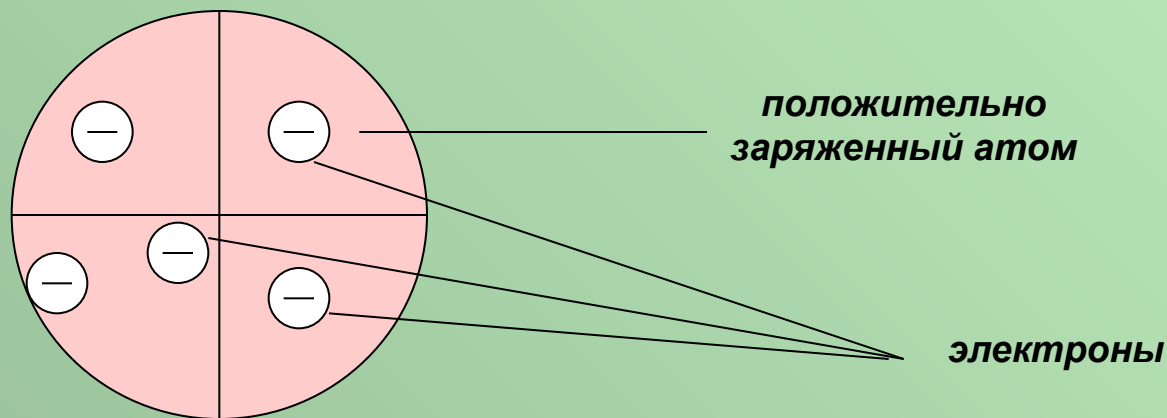


Рис. 1

Экспериментальная проверка модели атома Томсона была осуществлена в 1911 г. английским физиком Э. Резерфордом (рис. 2)

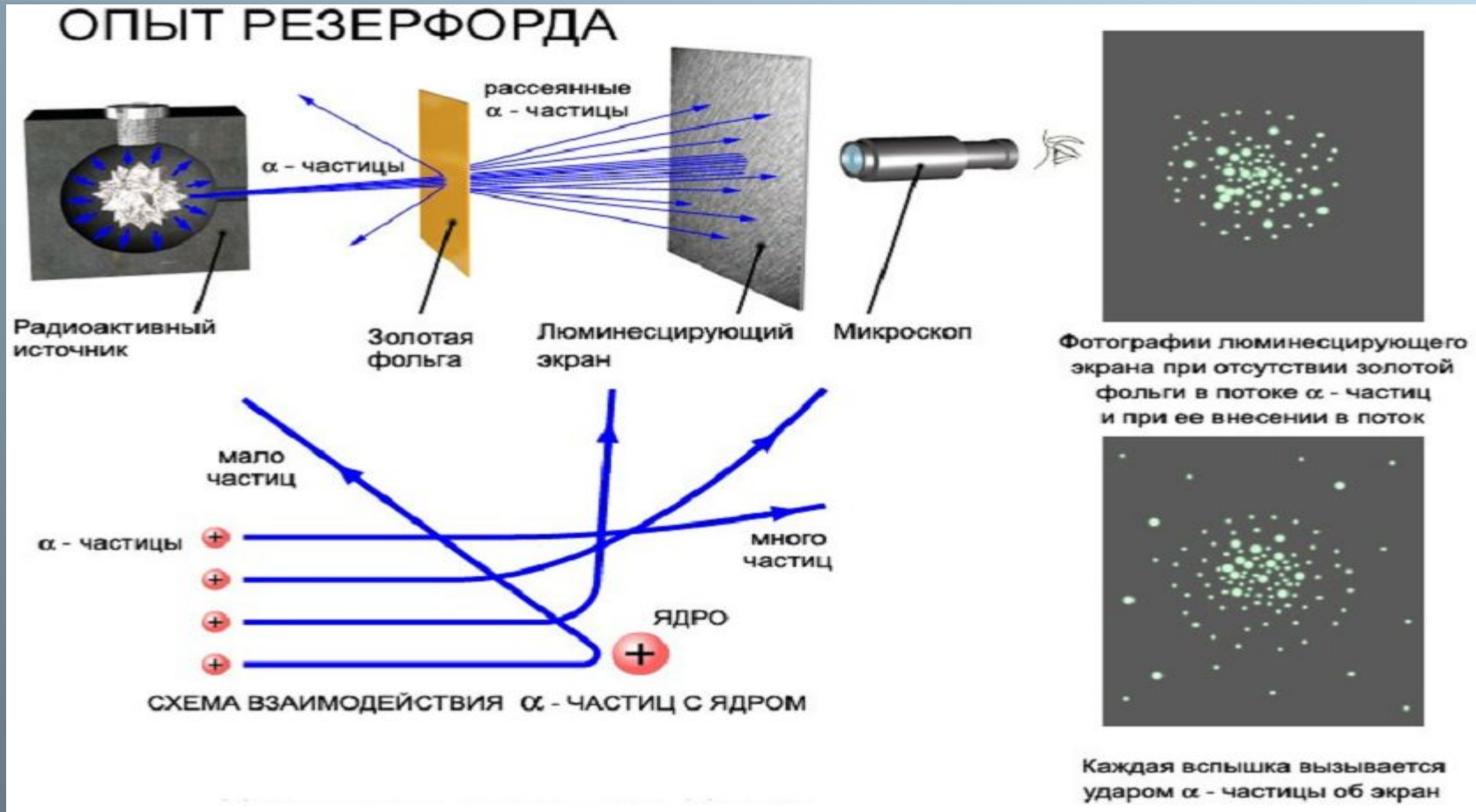


Рис.2

Пропуская пучок Альфа-частиц через тонкую золотую фольгу, Э. Резерфорд обнаружил, что *какая-то часть частиц отклоняется на довольно значительный угол от своего первоначального направления, а небольшая часть – отражается от фольги.* Но согласно модели атома Томсона, частицы могли отклоняться только на углы около 2° (рис.3)

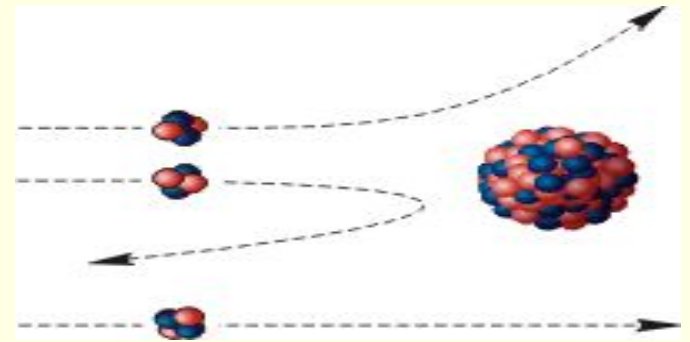


Рис.3

Резерфорд показал, что модель Томсона находится в противоречии с его опытами. Обобщая результаты своих опытов.

Резерфорд предложил ядерную (планетарную) модель строения атома (рис.4)



Рис.4

- 1) *Атом имеет ядро, размеры которого малы по сравнению с размерами самого атома (рис. 5)*
- 2) *В ядре сконцентрирована почти вся масса атома.*
- 3) *Отрицательный заряд всех электронов распределен по всему объему атома.*

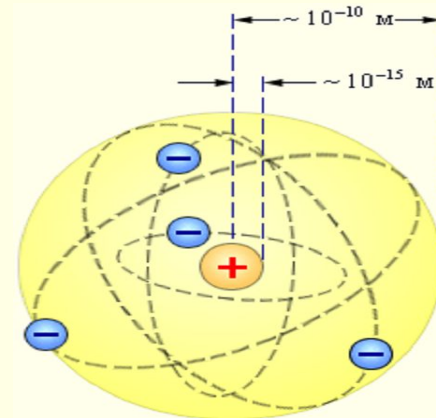


Рис. 5

Открытие нейтрона

Идея о существовании тяжелой нейтральной частицы казалась Резерфорду настолько привлекательной, что он незамедлительно предложил группе своих учеников во главе с Дж. Чедвиком заняться поиском такой частицы.

Через 12 лет в 1932 г. Чедвик экспериментально исследовал излучение, возникающее при облучении бериллия α -частицами, и обнаружил, что это излучение представляет собой поток нейтральных частиц с массой, примерно равной массе протона. Так был открыт нейтрон. На рис.6 приведена упрощенная схема установки для обнаружения нейтронов.

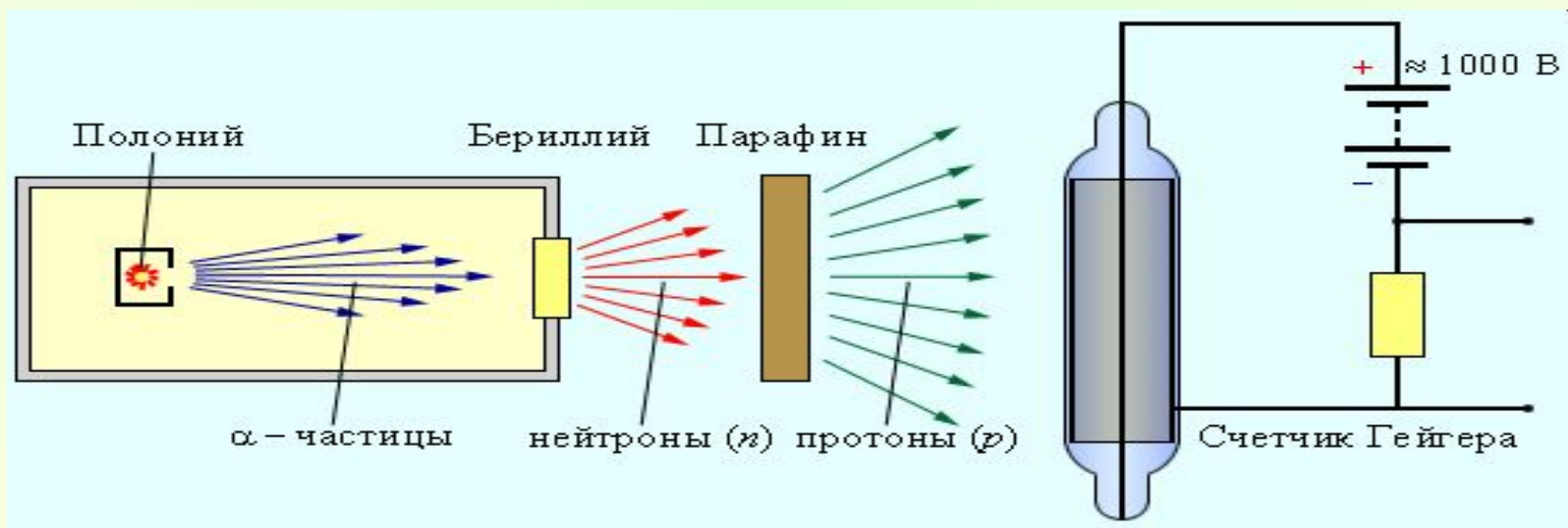


Рис.6

Нейтрон – это элементарная частица.

Это не протон -электронная пара, как первоначально предполагал Резерфорд.

По современным измерениям, **масса нейтрона $m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,008665 а.е.м.**

В энергетических единицах масса нейтрона равна 939,56563 МэВ.

Масса нейтрона приблизительно на две электронные массы превосходит массу протона.

Протон-нейтронная модель ядра

Сразу же после открытия нейтрона российский ученый Д. Д. Иваненко и немецкий физик В. Гейзенберг выдвинули гипотезу о **протонно-нейтронном строении атомных ядер**, которая полностью подтвердилась последующими исследованиями (рис. 7)

По современным измерениям, положительный заряд протона в точности равен **элементарному заряду $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19}$ Кл,**

то есть равен по модулю отрицательному заряду электрона. В настоящее время равенство зарядов протона и электрона проверено с точностью 10^{-22} . Такое совпадение зарядов двух непохожих друг на друга частиц вызывает удивление и остается одной из фундаментальных загадок современной физики.

Масса протона, по современным измерениям, равна **$m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27}$ кг.**

Протоны и нейтроны в ядре

принято называть нуклонами.

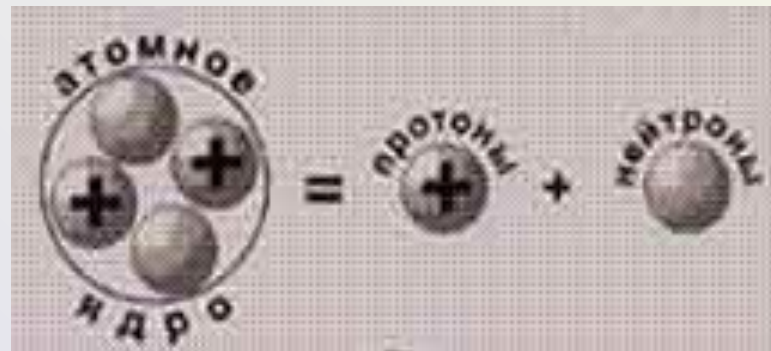
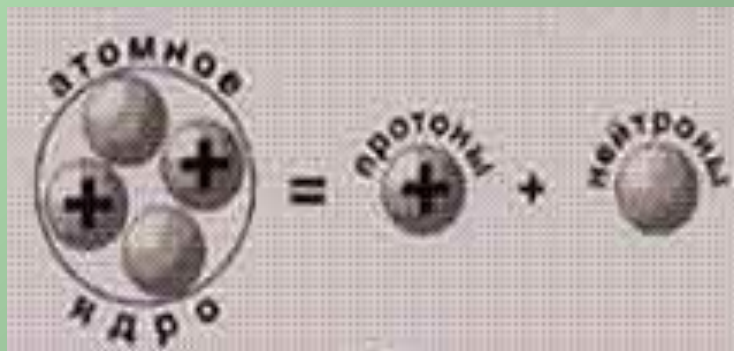


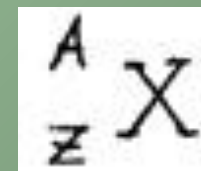
Рис. 7



Ядро атома состоит из нуклонов,
которые подразделяются на протоны и нейтроны.



Символическое обозначение ядра атома



A - число нуклонов, т.е. протонов +
нейтронов (или атомная масса)

Z - число протонов (равно числу электронов)

N - число нейтронов (или атомный номер)

$$N = A - Z$$

Для того, чтобы атомные ядра были устойчивыми, протоны и нейтроны должны удерживаться внутри ядер огромными силами, во много раз превосходящими силы кулоновского отталкивания протонов. Силы, удерживающие нуклоны в ядре, называются **ядерными (рис.8)**

Особенности ядерных сил:

1. **Ядерные силы примерно в 100 раз превосходят электростатические силы и на десятки порядков превосходят силы гравитационного взаимодействия нуклонов.**
2. **Важной особенностью ядерных сил является их короткодействующий характер. Ядерные силы заметно проявляются, как показали опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц, лишь на расстояниях порядка размеров ядра (10^{-14} – 10^{-15} м).** Ядерные силы очень быстро спадают с расстоянием. Радиус их действия порядка **0,000 000 000 000 001 метра.**

Для этой сверхмалой длины, характеризующей размеры атомных ядер, ввели специальное обозначение Фм (в честь итальянского физика Э. Ферми, 1901-1954)

Все ядра имеют размеры нескольких Ферми.

Радиус ядерных сил равен размеру нуклона, поэтому ядра – концентрация и очень плотной материи. Возможно, самой плотной в земных условиях.

Ядерные силы - сильные взаимодействия.

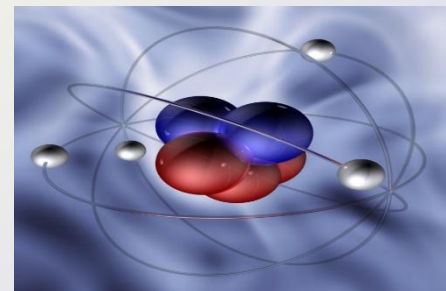
На больших расстояниях проявляется действие сравнительно медленно убывающих кулоновских сил.

На основании опытных данных можно заключить, что протоны и нейтроны в ядре ведут себя одинаково в отношении сильного взаимодействия, т. е. **ядерные силы не зависят от наличия или отсутствия у частиц электрического заряда.**

ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ

- силы притяжения;
- действуют между всеми нуклонами в ядре;
- короткодействующие.

Рис.8



ЗНАЕШЬ ЛИ ТЫ ?

В середине XX века теория ядра предсказала существование стабильных элементов

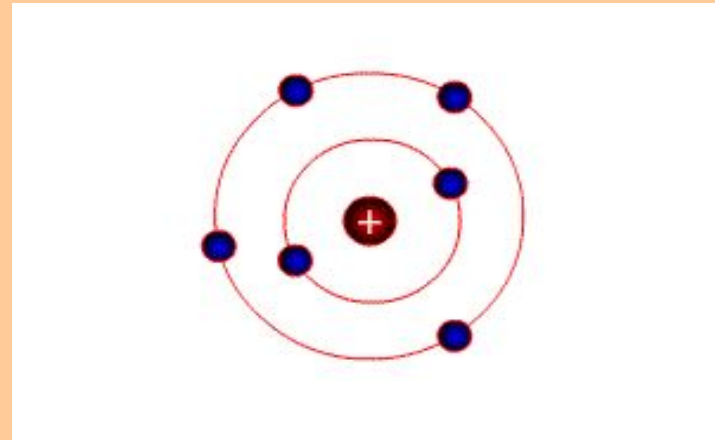
с порядковыми номерами

$Z = 110 - 114$

В Дубне был получен 114-й элемент с атомной массой $A = 289$, который "жил" всего 30 секунд,

что невероятно долго для атома с ядром такого размера.

Сегодня теоретики уже обсуждают свойства сверхтяжелых ядер массой 300 и даже 500.



Атомы с одинаковыми атомными номерами называют **ИЗОТОПАМИ**: в таблице Менделеева они расположены в одной клеточке (по-гречески «изос» - равный, «топос» – место (рис. 9).

Химические свойства изотопов почти тождественны.

Если элементов всего в природе - около 100, то изотопов - более 2000.

Многие из них неустойчивы, то есть радиоактивны, и распадаются, испуская различные виды излучений.

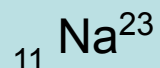
Изотопы одного и того же элемента по составу отличаются лишь количеством нейтронов в ядре.



Рис. 9

Решение задач:

1. Сколько нуклонов, протонов и нейтронов содержится в ядрах следующих элементов:



$$A = 23 \quad N = 23 - 11 = 12 \quad Z = 11$$



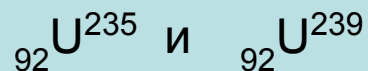
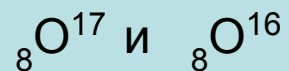
$$A = 21 \quad N = 21 - 11 = 9 \quad Z = 11$$



$$A = 9 \quad N = 9 - 4 = 5 \quad Z = 4$$

Самостоятельно: ${}_{8}\text{O}^{16}$ ${}_{3}\text{Li}^7$ ${}_{6}\text{C}^{12}$ ${}_{7}\text{N}^{14}$ ${}_{9}\text{F}^{19}$ ${}_{13}\text{Al}^{27}$ ${}_{92}\text{U}^{235}$ ${}_{82}\text{Pb}^{207}$

2. Чем отличаются следующие элементы:



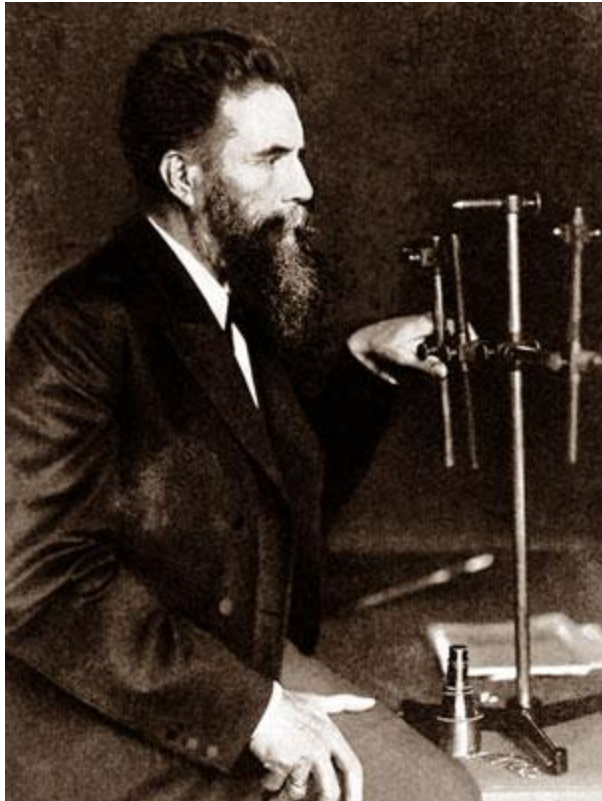
Открытие рентгеновских лучей

Шел декабрь 1895 года. В. К. Рентген, работая в лаборатории с разрядной трубкой, около которой находился флюоресцирующий экран, покрытый платино-синеродистым барием, наблюдал свечение этого экрана.





Закрыв трубку черным чехлом, собираясь закончить опыт, Рентген обнаружил опять-таки свечение экрана при разряде. "Флюоресценция" видна,— писал Рентген в своём первом сообщении 28 декабря 1895 г., — при достаточном затемнении и не зависит от того, подносить ли бумагу стороной, покрытой или не покрытой платино-синеродистым барием. Флюоресценция заметна ещё на расстоянии двух метров от трубки».



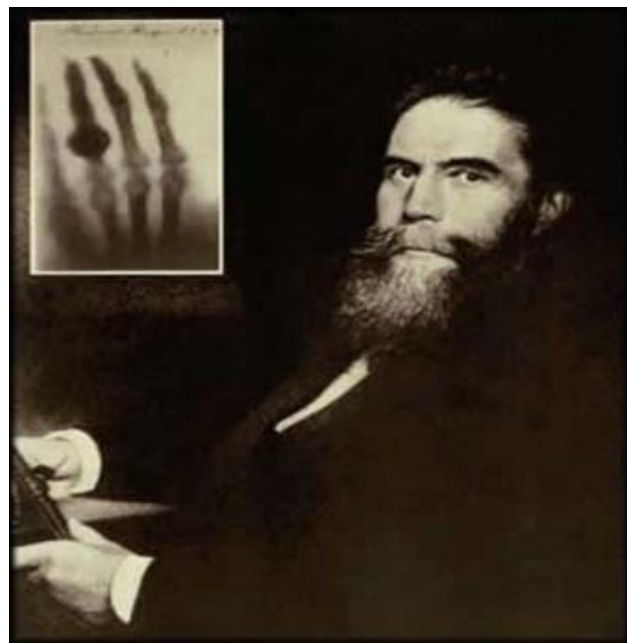
Рентген не мог, однако, обнаружить ни отражения, ни преломления рентгеновских лучей. Однако он установил, что, если правильное отражение «не имеет места, всё же различные вещества по отношению к X-лучам ведут себя так же, как и мутные среды по отношению к свету».



Рентген установил важный факт рассеяния рентгеновских лучей веществом. Однако все его попытки обнаружить интерференцию рентгеновских лучей дали отрицательный результат. Отрицательный результат дали и попытки отклонения лучей магнитным полем. Отсюда Рентген сделал вывод, что X-лучи не идентичны с катодными лучами, но возбуждаются ими в стеклянных стенках разрядной трубки. В заключение своего сообщения Рентген обсуждает вопрос о возможной природе открытых им лучей:



У Рентгена были веские основания сомневаться в единой природе световых и рентгеновских лучей, и правильное решение вопроса выпало на долю физики XX в. Однако неудачная гипотеза Рентгена явилась вместе с тем свидетельством недостатка его теоретического мышления, склонного к одностороннему эмпиризму. Тонкий и искусный экспериментатор, Рентген не испытал склонности к поискам нового, как ни парадоксально это звучит по отношению к автору одного из крупнейших в жизни физики новых открытий.

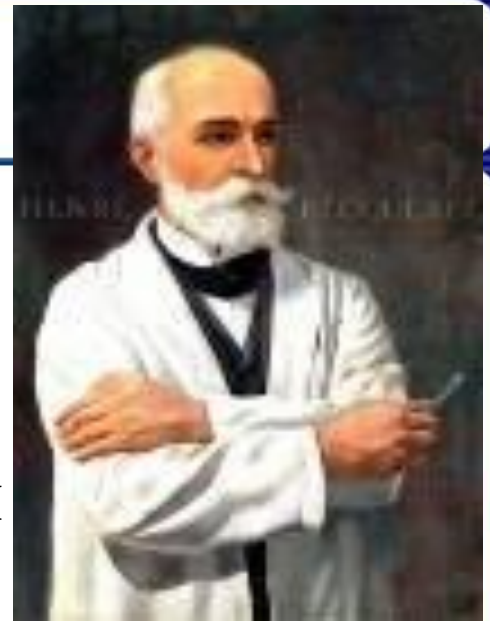


Открытие Рентгеном X-лучей сыграло важную роль в учении о радиоактивности. Благодаря ему, после повторения вышеизложенных опытов, тысячи ученых всего мира стали исследовать эту область. Неслучайно позже Жюлио Кюри скажет: «Не было бы Вильгельма Рентгена, наверное, не было бы меня...»

Опыты Беккереля.

В 1896 г. А. Беккерель открыл радиоактивность. Это открытие было непосредственно связано с открытием рентгеновских *лучей*.

Беккерель, близко знакомый с исследованиями своего отца по люминесценции, обратил внимание на тот факт, что катодные лучи в опытах Рентгена производили при ударе одновременно и люминесценцию стекла и невидимые X-лучи. Это привело его к идее, что всякая люминесценция сопровождается одновременно испусканием рентгеновских лучей





Для проверки этой идеи Беккерель использовал большое количество люминесцирующих материалов, пока после ряда безуспешных опытов не поместил двух кристаллических пластинок урановой соли на фотографическую пластинку, завёрнутую в чёрную бумагу. Урановая соль подвергалась действию сильного солнечного света и через несколько часов экспозиции на фотографической пластинке было ясно обнаружено очертание кристаллов.



Идея оказалась подтверждённой, солнечный свет возбуждал и люминесценцию соли урана и проникающую радиацию, действующую через бумагу на фотопластинку. Однако в дело вмешался случай. Приготовив опять пластинку с кристаллом урановой соли, Беккерель вновь вынес её на солнце. День был облачный, и опыт после короткой экспозиции пришлось прервать. В последующие дни солнце не показывалось, и Беккерель решил проявить пластинку, не надеясь, конечно, получить хорошего снимка. Но, к его удивлению, снимок получился резко очерченным.



Как первоклассный исследователь, Беккерель не поколебался подвергнуть серьёзному испытанию свою теорию и начал исследовать действие солей урана на пластинку в темноте. Так обнаружилось — и это Беккерель доказал последовательными опытами,— что уран и его соединения непрерывно излучают без ослабления лучи, действующие на фотографическую пластинку и, как показал Беккерель, способные также разряжать электроскоп, т. е. создавать ионизацию. Открытие это вызвало сенсацию.



Итак, 1896 год был ознаменован замечательным событием: наконец-то, после нескольких лет поисков, была открыта радиоактивность. Эта заслуга принадлежит великому ученому Беккерелю. Его открытие дало толчок развитию и совершенствованию этой науки.



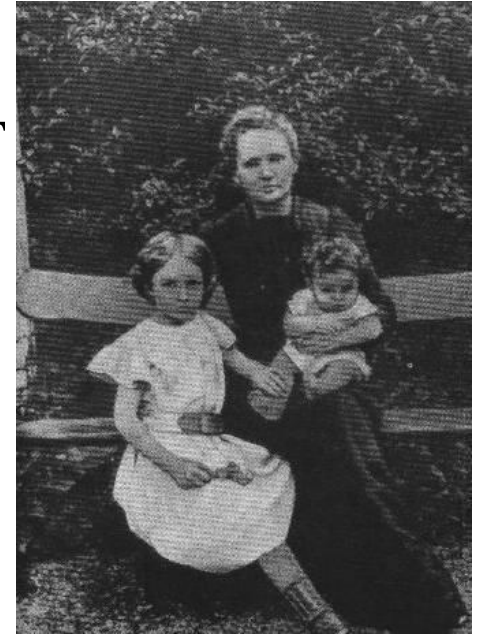
Исследования супругов Кюри.

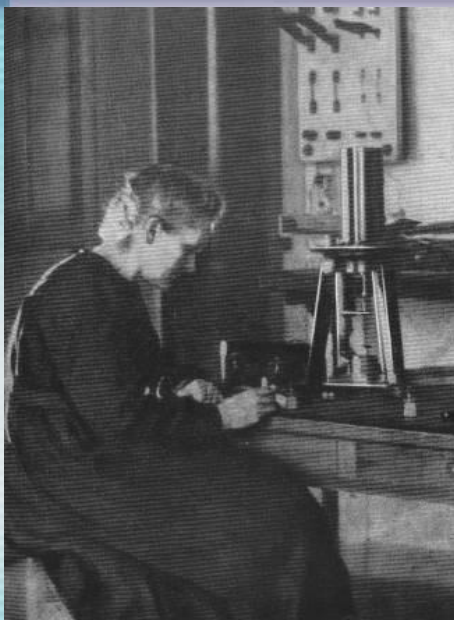
Молодая супруга Пьера Кюри Мария Склодовская-Кюри решила избрать темой своей докторской диссертации исследование нового явления. Исследование радиоактивности урановых соединений привело её к выводу, что радиоактивность является свойством, принадлежащим атомам урана, независимо от того, входят ли они в химическое соединение или нет. При этом она «измеряла напряжённость урановых лучей, пользуясь их свойством сообщать воздуху электропроводность». Этим ионизационным методом она и убедилась в атомной природе явления.





Но и этот скромный результат показал Кюри, что радиоактивность, несмотря на её необычайный характер, не может быть свойством только одного элемента. «С этого времени представилась необходимость найти новый термин для определения нового свойства материи, проявленного элементами ураном и торием. Я предложила для этого название «радиоактивность», которое сделалось общепринятым».

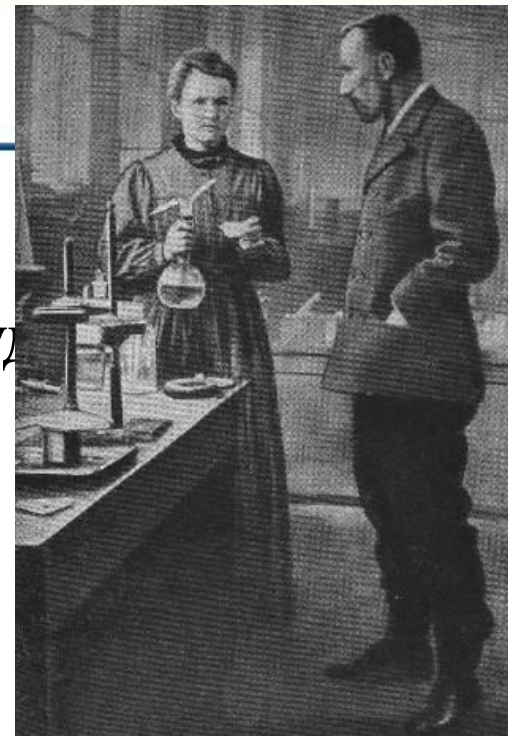




Внимание Кюри привлекли anomalно большие значения радиоактивности некоторых руд. Чтобы выяснить, в чём дело, Кюри приготовила искусственный халколит из чистых веществ. Этот искусственный халколит, состоящий из азотнокислого уранила и раствора фосфорнокислой меди в фосфорной кислоте, после кристаллизации обладал «вполне нормальной активностью, отвечающей его составу: она в 2,5 раза менее активности урана».



Начался поистине титанический труд супругов Кюри, проложивший путь человечеству к овладению атомной энергией. Новый метод химического анализа, разработанный Кюри, сыграл огромную роль в истории атомной физики, позволяя обнаруживать ничтожнейшие массы радиоактивного вещества





У Кюри не было даже вытяжных шкафов. Что же касается сотрудников, то сначала им приходилось работать в одиночестве. В 1898 г. в работах по открытию радия им оказал временную помощь преподаватель промышленной школы физики и химии Ж. Бемон; позже они привлекли молодого химика А. Дебьерна, открывшего актиний; затем им помогали физики Ж. Саньяк и несколько молодых физиков. Напряженный героический труд стал приносить результаты радиоактивности.



**В докладе конгрессу
супруги Кюри
охарактеризовали
изложенную выше историю
получения новых
радиоактивных веществ,
указав, что «мы называем
радиоактивными вещества,
испускающие лучи
Беккереля». Затем они
изложили метод измерения**



Кюри установили, что «радиоактивность представляет собой явление, измеримое довольно точно», а полученные цифры активности урановых соединений дали возможность высказать гипотезу о существовании весьма активных веществ, приведшую при своей проверке к открытию полония, радия и актиния. В докладе содержалось описание свойств новых элементов, спектр радия, приблизительная оценка его атомной массы, эффекты радиоактивного излучения.



Что касается природы самих радиоактивных лучей, то для её исследования изучалось действие магнитного поля на лучи и проникающая способность лучей. П. Кюри показал, что излучение радия состоит из двух групп лучей: отклоняемых магнитным полем и не отклоняемых магнитным полем. Исследуя отклоняемые лучи, супруги Кюри в 1900 г. убедились, что «отклоняемые лучи β заряжены отрицательным электричеством».



Можно принять, что и радий посылает в пространство отрицательно заряжённые частицы». Потребовалось исследовать ближе природу этих частиц. Первые определения e/m радиевых частиц принадлежали А. Беккерелю (1900).

«Опыты г. Беккереля дали первое указание по этому вопросу. Для e/m получилось приближённое значение в 10^7 абсолютных электромагнитных единиц, для v значение в $1,6 \cdot 10^{10}$ см в секунду. Порядок этих чисел тот же, что для катодных лучей».



«Точные исследования по этому вопросу принадлежат г. Кауфману (1901, 1902, 1903)... Из опытов г. Кауфмана следует, что для радиевых лучей, скорость которых значительно больше скорости катодных, отношение e/m убывает с увеличением скорости. В соответствии с работами Дж. Дж. Томсона и Тоунсенда мы должны принять, что представляющая луч движущаяся частица обладает зарядом, равным тому, который переносится водородным атомом при электролизе. Этот заряд для всех лучей одинаков. На этом основании следует заключить, что масса частиц тем больше, чем больше их скорость».



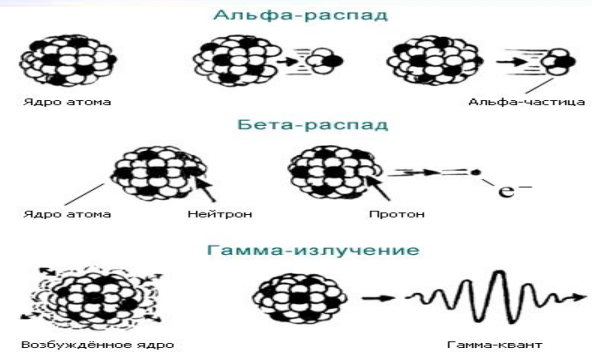
Отклонение α -лучей в магнитном поле было получено Резерфордом в 1903 г.

Резерфорду же принадлежат названия: α , β и γ лучи.

«1. Лучи α (альфа) обладают весьма малой проникающей способностью;

они, по-видимому, составляют главную часть излучения. Для них характерна поглощаемость материей.

Магнитное поле действует на них очень слабо, так что их сначала считали нечувствительными к его действию.



Однако ж в сильном магнитном поле лучи α несколько отклоняются, отклонение происходит подобно тому, как для катодных лучей, лишь в обратном смысле...»

- 2. Лучи β (бэ́та) являются вообще мало поглощаемыми сравнительно с предыдущими. В магнитном поле они отклоняются таким же образом и в том же смысле, как лучи катодные.**
- 3. Лучи γ (гамма) отличаются большой проникающей способностью; магнитное поле не действует на них; они сходны с лучами Рентгена».**



P. Curie

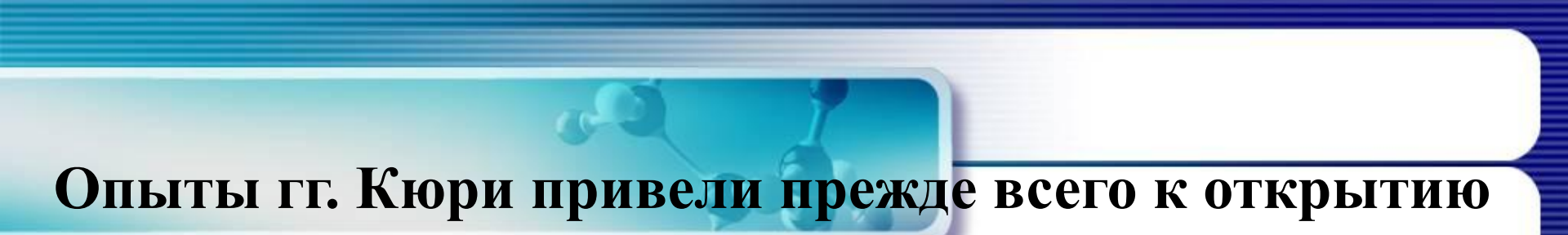


П. Кюри был первым человеком, испытавшим на себе разрушительное действие ядерной радиации. Он был и первым, кто доказал существование ядерной энергии и измерил её величину, выделяемую при радиоактивном распаде. В 1903 г. он вместе с Лабордом, нашёл что *«соли радия являются источником теплоты, выделяющейся непрерывно и самопроизвольно»*



Пьер Кюри хорошо сознавал и громадные общественные последствия своего открытия. В том же году в своей нобелевской речи он сказал следующие пророческие слова, которые М. Кюри поставила эпиграфом к своей книге о нем:

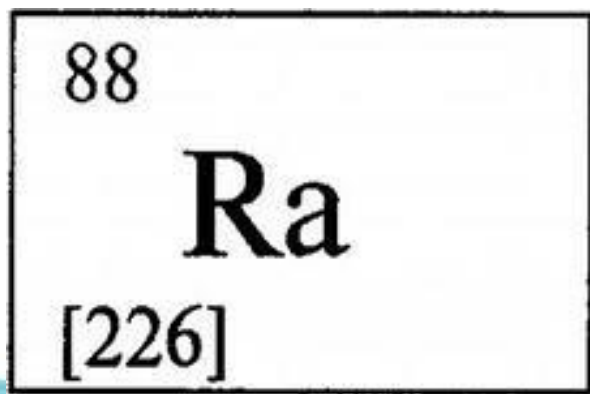
«Нетрудно предвидеть, что в преступных руках радий может сделаться крайне опасным, и вот возникает вопрос, действительно ли полезно для человечества знать секреты природы, действительно ли оно достаточно зрело для того, чтобы их правильно использовать, или это знание принесёт ему только вред.



Опыты гг. Кюри привели прежде всего к открытию нового радиоактивного металла, по своим химическим свойствам аналогичного висмуту, — металла, который г. Кюри назвал в честь родины своей супруги полонием (жена Кюри — полька, урождённая Склодовская); что дальнейшие их опыты привели к открытию второго сильно радиоактивного нового металла — радия, весьма близкого по химическим свойствам к барию; что опыты Дебьерна послужили к открытию третьего радиоактивного нового металла — актиния, аналогичного торью. Далее г. Кюри приступил к самой интересной части своего доклада — к опытам с радием.



Перечисленные опыты завершились демонстрацией светимости радия. Стеклоанная трубка, толщиной в карандаш и длиной в мизинец, наполненная до двух третей смесью хлористых радия и бария, излучает в течение двух лет настолько сильный свет, что вблизи него можно свободно читать.





Последние слова звучат весьма наивно и свидетельствуют ещё об очень слабом знакомстве с радиоактивностью в начале XX в. Однако это слабое знание радиоактивных явлений не помешало возникнуть и развиться новой отрасли промышленности: радиевой промышленности.

Эта промышленность была зачатком будущей атомной промышленности.





Роль супругов Кюри в истории открытия радиоактивности огромна. Они не только проделали титанический труд по исследованию радиоактивных свойств всех известных тогда минералов, но и провели первую попытку систематизации, выступая с докладами в Сорбоннском университете.



Открытие искусственной радиоактивности.

Однако оно явилось лишь одним из четырех великих открытий, сделанных в 1932 г., благодаря которым этот год был назван чудесным годом радиоактивности. Во-первых, помимо осуществления искусственной трансмутации был наконец-то обнаружен положительно заряженный электрон, или *позитрон*, в противоположность ему отрицательный электрон с тех пор получил название негатрон. Во-вторых, был открыт *нейтрон* — незаряженная элементарная частица с массой 1 (единица), которую можно рассматривать как нейтральное ядро, только без внешнего электрона.



И наконец, был открыт изотоп водорода с массой 2, названный *тяжелым водородом*, или *дейтерием*, ядро которого, как считается, состоит из протона p и нейтрона n ; подобно обычному водороду, его атом имеет один внешний электрон. В следующем, 1933, году произошло еще одно открытие, которое в некотором роде (во всяком случае, по мнению первых исследователей атомной энергии) представляло наибольший интерес. Речь идет об открытии искусственной радиоактивности.



1933—1934 гг. Для одного из первых исследователей этой проблемы — М. Кюри — данное открытие представляло еще особый интерес: оно было сделано ее дочерью и зятем. М. Кюри имела счастье за несколько месяцев до своей смерти передать зажженный ею факел членам своей семьи.

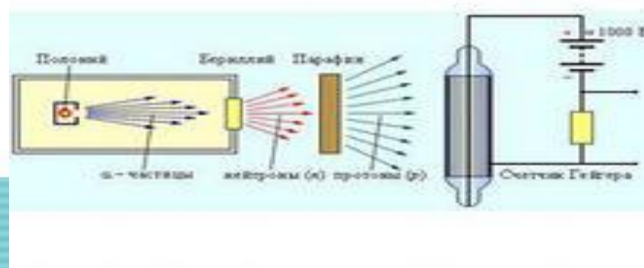




Предмет, который она превратила из диковины в колосс, через четверть века находился на пороге того, чтобы обрести новую, плодотворную жизнь. Изучая упомянутый эффект Боте и Беккера, супруги Жолио обнаружили, что счетчик продолжал регистрировать импульсы даже после того, как был удален полоний, первоначально возбуждавший их.

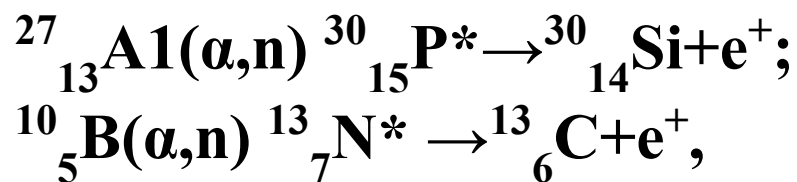


Эти импульсы прекращались точно таким же образом, как импульсы неустойчивого радиоэлемента с периодом полураспада 3 мин. Ученые установили, что алюминиевое окошко, через которое проходило α -излучение полония, само становилось радиоактивным благодаря генерируемым нейтронам; аналогичный эффект имел место для бора и магния, только наблюдались другие периоды полураспада (соответственно 11 и 2,5 мин).

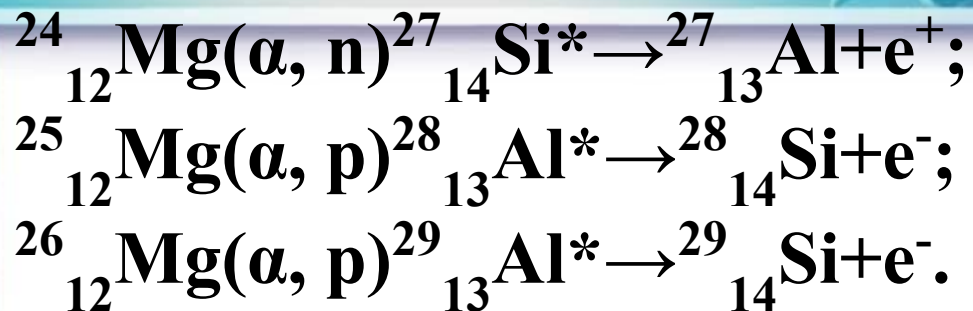




Реакции для алюминия и бора выглядели следующим образом:



где звездочки обозначают, что ядра, полученные сначала, радиоактивны и претерпевают указанные стрелками вторичные превращения, в результате которых образуются хорошо известные устойчивые изотопы кремния и углерода. Что же касается магния, то все три его изотопа (с массовыми числами 24, 25 и 26) участвуют в этой реакции, генерируя нейтроны, протоны, позитроны и электроны; в результате образуются хорошо известные устойчивые изотопы алюминия и кремния (превращения носят комбинированный характер);



Более того, с помощью обычных химических методов, используемых в радиохимии, удалось достаточно легко идентифицировать неустойчивые радиоактивные фосфор и азот.

Эти первые результаты демонстрировали богатство возможностей, открываемых вновь полученными данными.

Фредерик и Ирен Жолио-Кюри



В 1934г. супруги И. и Ф. Жолио - Кюри обнаружили явление искусственной радиоактивности.



Радиоактивность сегодня

Немного найдется на памяти человечества открытий, которые так круто меняли бы его судьбу, как открытие радиоактивных элементов. Более двух тысяч лет атом представляли как плотную мельчайшую неделимую частицу, и вдруг на заре XX столетия обнаружилось, что атомы способны делиться на части, распадаться, исчезать, переходить друг в друга. Оказалось, что извечная мечта алхимиков — превращение одних элементов в другие — осуществляется в природе само по себе. Это открытие по своему значению так велико, что наш XX век стали называть «атомным веком», эпохой атома, началом атомной эры.



Трудно назвать сейчас область науки или техники, на которую не повлияло открытие явления радиоактивности. Оно раскрыло сложную внутреннюю структуру атома, а это привело к пересмотру коренных представлений об окружающем нас мире, к ломке устоявшейся, классической картины мира. Квантовая механика была создана специально для объяснения явлений, происходящих внутри атома. Это в свою очередь вызвало пересмотр и развитие математического аппарата физики, изменило лицо самой физики, химии и ряда других наук.