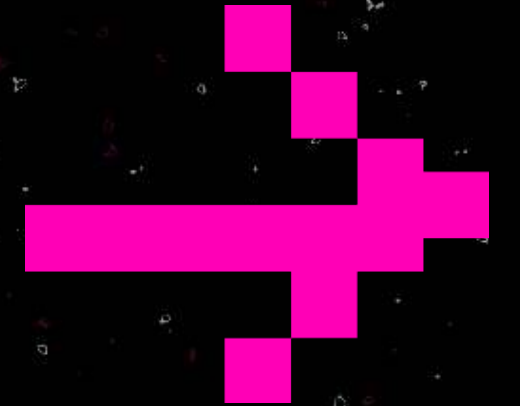




Строение атома и опыты Резерфорда

От модели Томсона к ядру: как рассеяние альфа-частиц
раскрывает устройство атома.



Каким представляли атом до Резерфорда

К концу XIX века атом нередко считали неделимой «кирпичинкой» вещества. Модель Дж. Дж. Томсона представляла атом как равномерный положительный заряд с электронами внутри — как «изюм в пудинге». Но открытие электрона в 1897 году потребовало проверить, как устроены заряд и масса внутри.



Резерфорд, Гейгер и Марсден: постановка эксперимента

Эрнест Резерфорд в Манчестере вместе с Хансом Гейгером и Эрнестом Марсденом изучал рассеяние альфа-частиц в период 1908–1911 годов.

Задача состояла в том, чтобы понять, как тяжелые положительно заряженные частицы проходят через тонкие металлические пленки.

Неожиданные результаты дали экспериментальную основу для новой, ядерной модели атома, изменив представления о микромире.

Устройство опыта с золотой фольгой



Свинцовый экран и «направленный пучок»

Источник альфа-частиц формировали так, чтобы получить узкий направленный поток. Свинцовый экран с щелью ограничивал пучок и делал его достаточно точным. Это важно: только контролируемый поток позволяет связать угол отклонения с внутренним строением атома.



Золото как мишень для редких «попаданий»

Тонкая золотая фольга служила мишенью. Вблизи атомов золота альфа-частицы могли лишь слегка изменить траекторию либо, в редких случаях, испытать сильное отклонение. Золото выбирали за способность давать очень тонкие слои и сохранять однородность.



Люминесцентный экран и вспышки света

За фольгой помещали люминесцентный экран из сульфида цинка. Когда альфа-частицы попадали в экран, возникали вспышки света, которые можно было регистрировать. Так траектории частиц превращались в наблюдаемые сигналы.

Как распределялись траектории альфа-частиц

Подобное распределение означает: большинство частиц не встречает в веществе «сильных препятствий» на своем пути.

Редкие случаи сильного отклонения указывают на существование внутри атома очень малой области с концентрированным зарядом.

Данные из типичного описания эксперимента Гейгера—Марсдена (1908–1911 гг.), качественные доли порядка 99% / 1% / доли процента.

Почему результат оказался неожиданным

В модели Томсона положительный заряд считался размазанным по всему объёму атома, поэтому ожидалось, что альфа-частицы будут отклоняться лишь очень слабо.

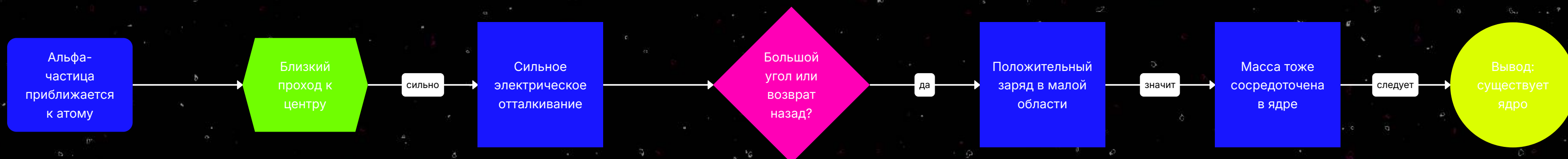
Однако на практике фиксировались частицы, отклонявшиеся на углы более 90° , а некоторые почти возвращались назад.

Такие «резкие» отклонения могли возникнуть только при близком прохождении рядом с небольшой областью, где электрическое отталкивание особенно велико.

Следовательно, требовалось допустить наличие очень малого участка с большим положительным зарядом и высокой концентрацией массы.

Логика вывода Резерфорда

Схема причинно-следственной цепочки, лежащей в основе интерпретации результатов опыта.



Плотное ядро определяет столкновения, тогда как остальной объем атома не мешает прохождению частиц.

100 000

Такая разница в масштабах объясняет, почему большинство альфа-частиц пролетает почти без отклонения.

Радиусы порядка 10^{-10} м для атома и 10^{-15} м для ядра; соотношение размеров $\sim 10^5$ приводится в учебных изложениях модели Резерфорда.

Сравнение модели Томсона и ядерной модели Резерфорда

Сопоставление по ключевым признакам показывает, почему ядерная модель лучше согласуется с наблюдениями.

Сильное рассеяние требует концентрированного положительного заряда и массы, то есть центрального ядра, а не «размазанной» структуры.

Признак	Модель Томсона	Модель Резерфорда
Заряд	Размазан по объёму	Сосредоточен в ядре
Масса	Размазана по атому	Почти вся в ядре
Строение	Сплошной шар с электронами	Ядро и электронная оболочка
Объяснение опыта	Не объясняет редкие большие отклонения	Объясняет сильное рассеяние альфа-частиц
Ключевой вывод	Хуже согласуется с экспериментом	Лучше согласуется с экспериментом

Классические формулировки и интерпретации результатов эксперимента Гейгера—Марсдена в учебных курсах физики.

Почему для опыта выбрали золото



Золото легко раскатывается в очень тонкую фольгу: толщина может составлять всего несколько сотен атомных слоев. Это снижало число «лишних» столкновений и делало отклонения информативными.

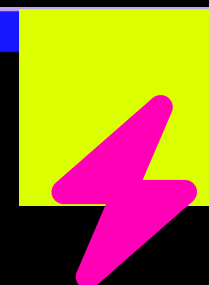
Кроме того, золото дает достаточно однородную и прочную мишень, удобную для точных измерений. Поэтому путь альфа-частицы в металле становился наглядным «отпечатком» её взаимодействия с атомами.

Альфа-частицы как «зонд» строения вещества



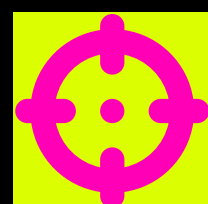
Ядра гелия

Альфа-частица — это ядро атома гелия, содержащее два протона и два нейтрона. Её заряд равен $+2$, поэтому она заметно взаимодействует с положительно заряженными областями внутри атома.



Тяжёлые и быстрые

Альфа-частицы достаточно массивны и движутся с большой скоростью. Благодаря этому они способны проходить через тонкие слои вещества, а значит, дают информацию о том, как устроены «внутренние препятствия».



Резкие отклонения при близком подходе

Сильное отклонение происходит только тогда, когда альфа-частица проходит очень близко к ядру. Тогда кулоновское отталкивание становится настолько сильным, что траектория резко меняется на больших углах.



Инструмент для микромира

Большинство частиц почти не искажают путь, но редкие события фиксируются на экране. Именно сочетание частых прямых проходов и редких сильных отклонений превращает альфа-частицы в «зонд» структуры атома.

Факторы, влияющие на рассеяние частиц

Чем больше заряд ядра и чем ближе траектория к центру, тем сильнее кулоновское отталкивание. Эти факторы определяют редкие случаи больших углов отклонения.

Схема показывает доминирование «сильного взаимодействия» при близком пролёте. Толщина влияет главным образом на количество столкновений, а скорость — на вероятность резких отклонений.

Качественное обобщение физических причин по механизму кулоновского взаимодействия (без численных экспериментальных данных).

Ограничения классической физики

Классическая электродинамика ожидала, что ускоренно движущийся электрон будет излучать энергию. Следовательно, он должен был бы терять скорость и постепенно сближаться с ядром, делая атом нестабильным.

1

Излучение непрерывно связывало бы энергию электрона с его движением, а значит атом не мог бы иметь «уровни» с определёнными значениями. Тогда наблюдаемые спектры были бы менее дискретными

2

Существование устойчивых атомов и характерные линии спектров противоречили простой картине «планетарного» электрона вокруг ядра. Поэтому одних классических законов оказалось недостаточно для объяснения атомного мира.

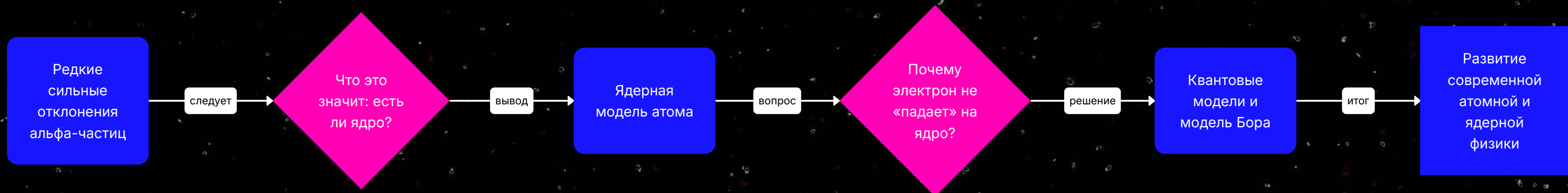
3

Накопление этих противоречий стало одной из причин появления квантовых идей. Модель Бора ввела постулаты об энергетических уровнях, а затем квантовая механика дала более общий и точный язык описания.

4

От эксперимента Резерфорда к КВАНТОВЫМ теориям

Логическая цепочка выводов, основанная на результатах опыта рассеяния и последующих теоретических обобщениях

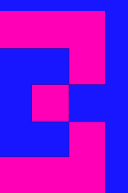
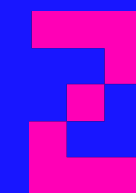


Научное значение работы Гейгера и Марсдена

Эксперимент показал: даже небольшой доле неожиданных событий достаточно, чтобы опровергнуть привычную модель. В микромире решают не «в среднем», а распределение редких отклонений и их статистика.

Точная методика регистрации вспышек на люминесцентном экране превратила наблюдения в воспроизводимые результаты. Это стало важным примером того, как измерения строятся вокруг счёта отдельных событий.

Результаты опытов были опубликованы и получили широкое признание в 1911 году. Они радикально изменили представления о строении атома и подготовили путь к новым моделям.



Ключевые числовые характеристики атома по Резерфорду

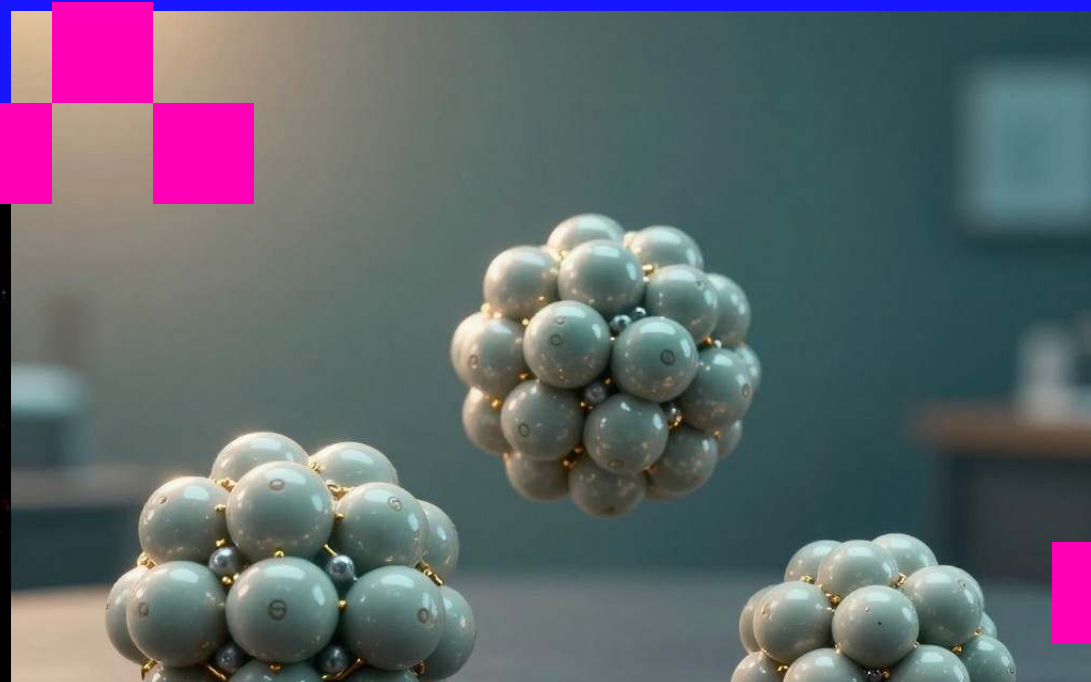
Характеристика	Значение
Радиус атома	$\approx 10^{-10}$ м
Радиус ядра	$\approx 10^{-15}$ м
Соотношение размеров	ядро меньше $\approx$ в 100 000 раз
Масса атома	почти вся в ядре
Заряд ядра	положительный
Объём атома	в основном пустое пространство

Основные размеры, распределение массы и заряда в атомной модели, полученной по итогам рассеяния альфа-частиц.

Масштаб различий по размерам объясняет, почему большинство альфа-частиц проходит почти прямо, а сильное рассеяние возникает при очень близком пролёте.

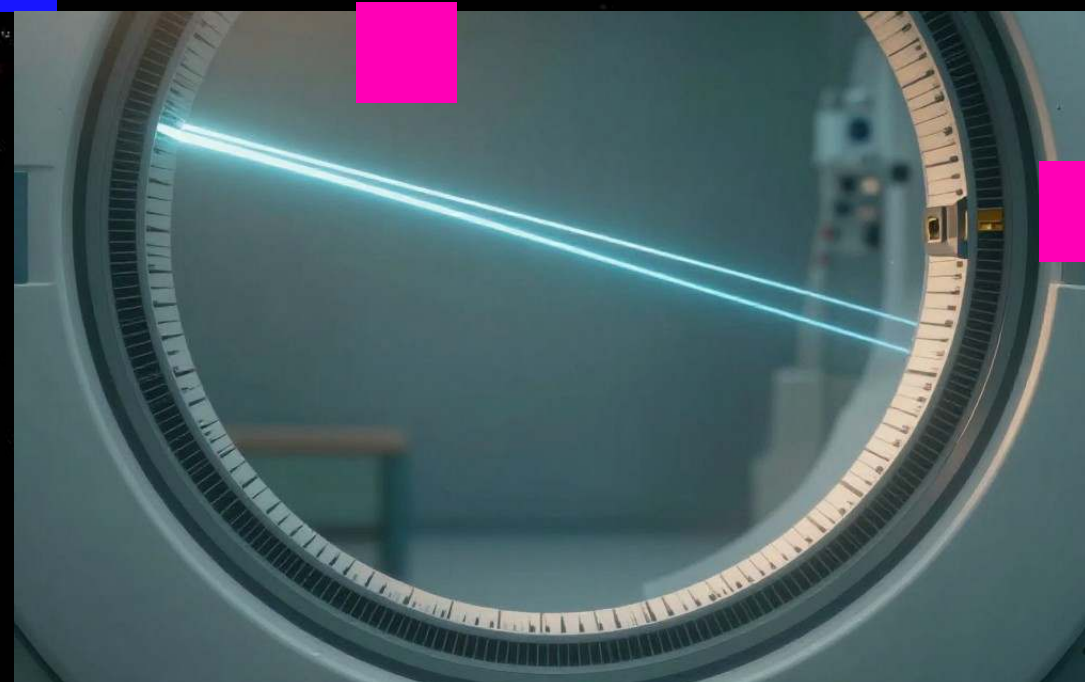
Учебно-справочные обобщения на основе классической интерпретации опыта Резерфорда.

Следы ядерной модели в современной жизни



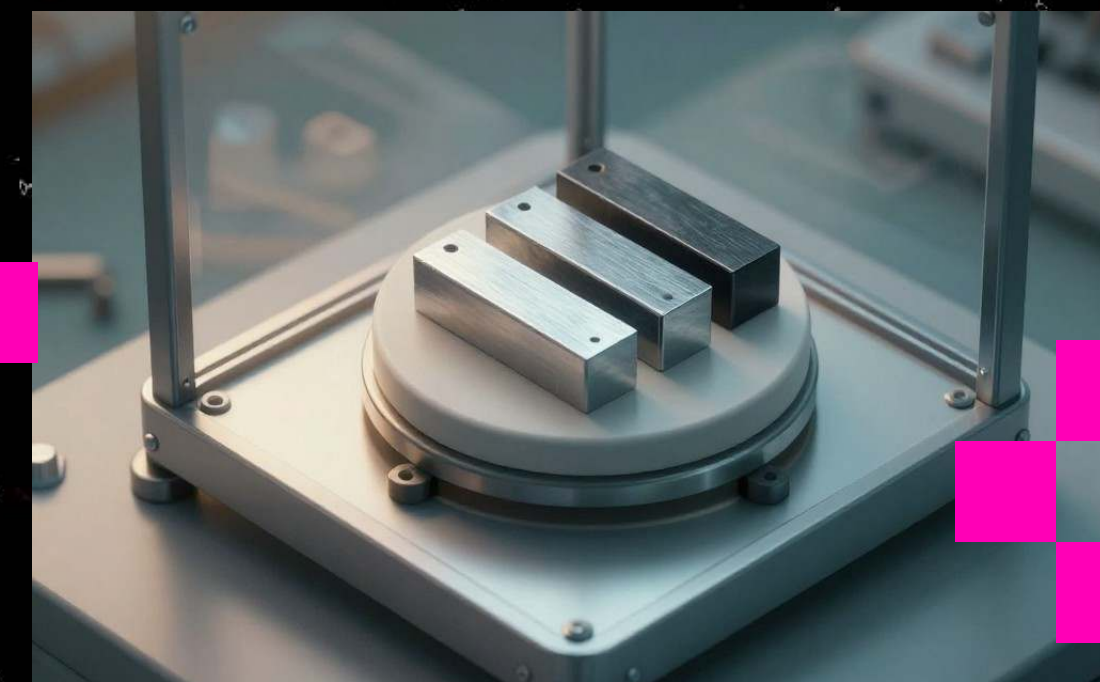
Порядковый номер и смысл заряда ядра

Когда мы ищем элемент в периодической системе, фактически мы говорим о заряде его ядра. Эта связь помогает понимать, почему химические свойства повторяются периодически. Визуально это удобно показать через сравнение атомов с разным числом протонов.



Радиация в медицине: от ядра до диагноза

Методы радиационной диагностики опираются на то, как атомные ядра взаимодействуют с излучением. Модель ядра помогает объяснять, почему одни излучения лучше подходят для визуализации тканей, а другие — для лечения. Такой сюжет легко объединить с «траекторией» частицы и экраном измерений.



Материалы и ядерная энергетика: управление микромиром

В материаловедении ядерные процессы используют для модификации свойств веществ и исследования структуры. В энергетике ядро — источник энергии в контролируемых реакциях. Историю можно оформить как путь от простой модели атома к технологическим установкам.

Что доказывает опыт Резерфорда

Центральный эффект — редкие события сильного рассеяния. Именно они указывают, что положительный заряд сосредоточен в очень малой области внутри атома.

Атом оказывается не «сплошным шаром», а системой с компактным ядром. Распределение отклонений согласуется с наличием сильного отталкивания при близком пролёте.

Обобщение результатов опыта Резерфорда (качественные пропорции порядка процентов для разных углов рассеяния).

Исторический итог открытия



1911 год — опыт Резерфорда

Наблюдения рассеяния альфа-частиц на тонкой золотой фольге разрушили представление об атоме как о «пудинге с изюмом» и привели к выводу о существовании атомного ядра.

Переход к уточнённым моделям

После появления ядерной модели возник вопрос об устойчивости электронов. Это подтолкнуло к пересмотру классического описания и поиску принципиально новых правил для микромира.

От модели Бора к квантовой механике

Модель Бора уточнила идею энергетических уровней, а дальнейшее развитие квантовой механики дало более общий и универсальный подход к описанию атомных явлений.

Ключевой вывод о строении атома

Опыт с золотой фольгой показал, что атом имеет маленькое плотное положительное ядро и электронную оболочку: основная часть объёма остаётся пустой. Ядерная модель Резерфорда стала фундаментом современной физики.