

Строение атома. опыты Резерфорда

На уроке рассматриваются: понятия атомное ядро, опыты Резерфорда, планетарная модель строения атома; сравниваются модели атома Томсона и Резерфорда, даны некоторые сведения о фактах, подтверждающих сложное строение атома, о работах учёных по созданию модели строения атома.

Атомное ядро — тело малых размеров, в котором сконцентрирована почти вся масса и весь положительный заряд атома.

Размеры ядра: диаметр порядка 10^{-12} — 10^{-13} см (у разных ядер диаметры различны).

Размер атома: примерно 10^{-8} см, т. е. от 10 до 100 тысяч раз превышает размеры ядра.

Планетарная модель атома Резерфорда: в целом атом нейтрален, в центре атома расположено положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома, электроны движутся по орбитам вокруг ядра, заряд ядра, как и число электронов в атоме, равен порядковому номеру элемента в периодической системе Д.И.Менделеева.

Ядро атома водорода названо **протоном** и рассматривается как элементарная частица.

Ядро атома водорода имеет положительный заряд, равный по модулю заряду электрона, и массу, примерно в 1836,1 раза больше массы электрона.

Частота излучений атома водорода составляет ряд серий: **серия Бальмера, серия Лаймана, серия Пашена** и другие, каждая из которых образуется в процессе перехода атома в одно из энергетических состояний.

Основное содержание урока

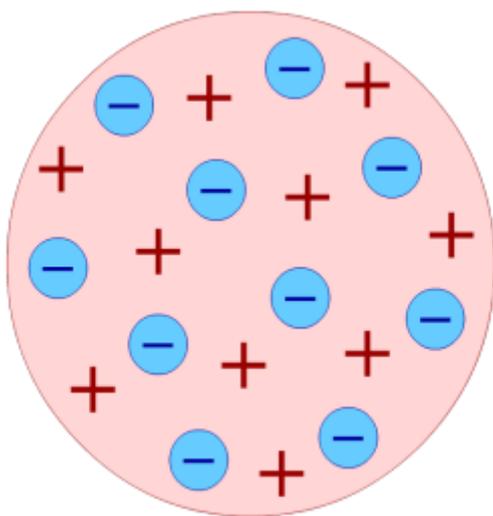
Долгое время, физика накапливала факты о свойстве вещества для полного представления о строении атома. И только в XIX веке изучение атомического строения вещества существенно сдвинулось с точки покоя.

Большую роль в развитии атомистической теории сыграл выдающийся русский химик Дмитрий Иванович Менделеев, разработавший в 1869 году периодическую систему элементов, в которой впервые был поставлен вопрос о единой природе атомов.

Важным свидетельством сложной структуры атомов явились исследования спектров, излучаемые веществом, которые привели к открытию линейчатых спектров атомов. В начале XIX века в излучении атома водорода были открыты спектральные линии в видимой части спектра.

Идеи электронной структуры атома теоретически и гипотетически формулировались учёными. В 1896 году Хендрик Лоренц создал электронную теорию о том, что электроны являются частью атома. Эту гипотезу в 1897 году подтвердили эксперименты Джозефа Джона Томсона. Им был сформулирован вывод о том, что существуют частицы с наименьшим отрицательным зарядом - электроны и они являются частью атомов.

По мысли Томсона, положительный заряд занимает весь объём атома и распределён он в этом сферическом объёме равномерно. У более сложных атомов в положительно заряжённом шаре есть несколько электронов, так что атом подобен кексу, в котором роль изюма играют электроны. Распространённый термин этой модели - «Пудинг с изюмом» или «Булочка с изюмом».



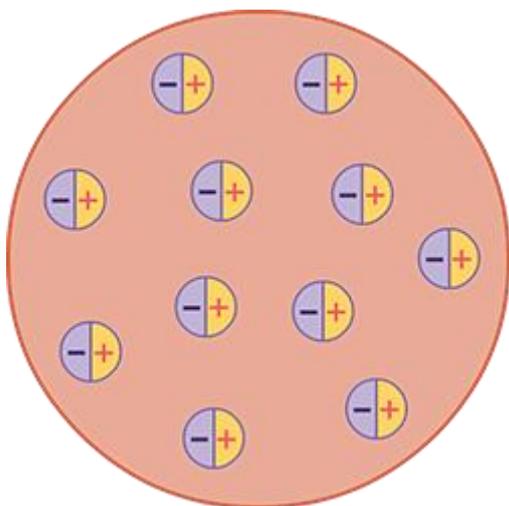
Таким образом, к началу XX века учёные сделали вывод о том, что атомы материи имеют сложную внутреннюю структуру. Они являются электрически нейтральными системами, а носителями отрицательного заряда атомов являются лёгкие электроны, масса которых составляет лишь малую долю массы атомов. Однако модель атома Томсона находилась в полном противоречии с экспериментами по изучению распределения положительных зарядов.

Электрон – наименьшая электроотрицательная заряжённая элементарная частица

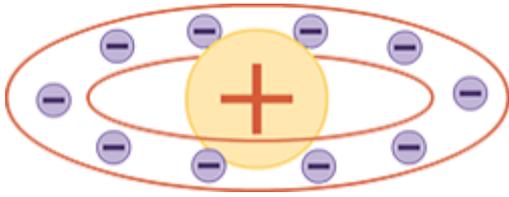
Масса покоя электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг;

$\frac{e}{m_e} = 1,759 \cdot 10^{11}$ Кл/кг - отношение заряда электрона к его массе.

Немецкий физик Филипп фон Ленард в 1903 году проводил опыты, в которых пучок быстрых электронов легко проходил через тонкую металлическую фольгу. На основании этого Ленард предположил, что атом состоит из нейтральных частиц или нейтральных дулетов с совмещённым положительным и отрицательным зарядами, рассредоточенными в атоме, где большая площадь представляет собой пустоту.



В 1904 году японский физик Хентаро Нагаока выдвинул гипотезу о том, что атом состоит из тяжелого положительно заряженного ядра, окруженного кольцами из большого числа электронов, колебания которых и являются причиной испускания атомных спектров, по аналогии с теорией устойчивости колец Сатурна.



Но в физике уже более 200 лет существует главное правило: окончательный выбор между гипотезами может быть сделан только на основе опыта. Эксперименты, проведенные в первый раз Эрнестом Резерфордом, сыграли решающую роль в понимании структуры атома.



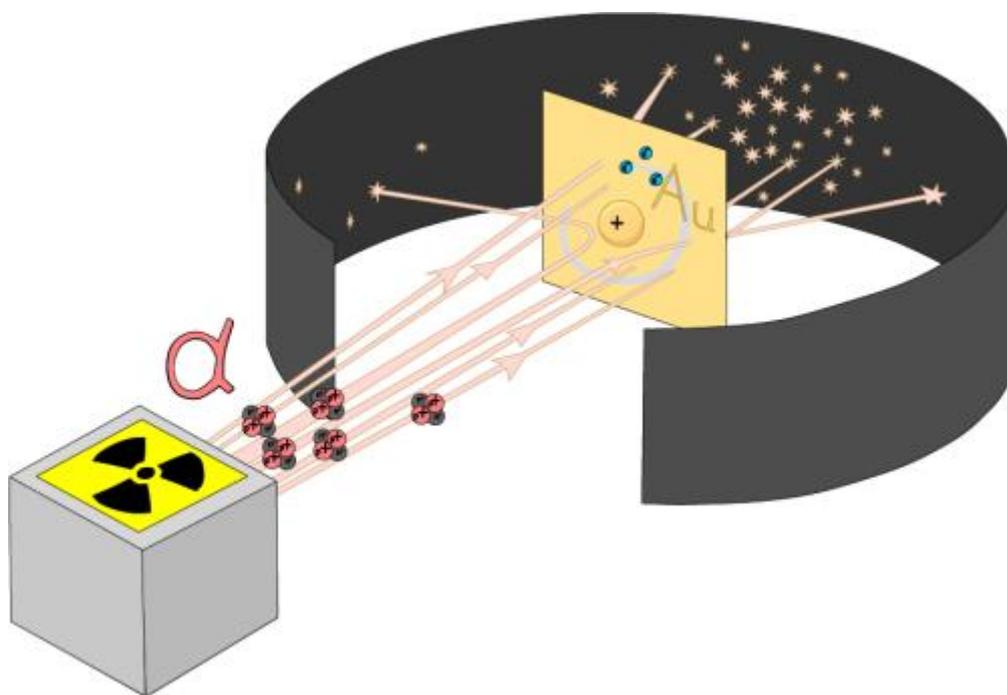
30.08.1871 г. – 19.10.1937 г.

Эрнест Резерфорд

Британский физик новозеландского происхождения

Лауреат Нобелевской премии по химии 1908 года

Для экспериментального изучения распределения положительного заряда, а значит, и массы внутри атома Эрнест Резерфорд в 1906 г. предложил применить зондирование атома α -частицами, скорость которых составляет $1/15$ скорости света.



Эти частицы возникают при распаде, например, радия и некоторых других радиоактивных элементов. Сами же α -частицы – это ионизированные атомы гелия, положительный заряд гелия в два раза больше заряда электрона ${}_{+2}\text{He}$. Этими частицами Резерфорд бомбардировал атомы тяжёлых элементов (золото, медь и др.). Если бы электроны были равномерно распределены по всему объёму атома (по модели атома Томсона), электроны не могли бы заметно изменять траекторию α -частиц, так как размеры и масса электронов в 8000 раз меньше массы α -частиц. Точно так же камушек в несколько десятков граммов при столкновении с автомобилем не может изменить его скорость.

Изменение направления движения α -частиц может вызвать только массивная часть атома, при этом положительно заряжённая. Весь прибор размещался в сосуде, из которого был откачан воздух. Радиоактивный препарат, помещался внутри свинцового цилиндра, вдоль которого был высверлен узкий канал. Пучок α -частиц из канала падал на тонкую фольгу из тяжёлого металла. После рассеяния α -частицы попадали на полупрозрачный экран, покрытый сульфидом цинка. Столкновение каждой частицы с экраном сопровождалось

сцинтилляцией (вспышкой света), которую можно было наблюдать в микроскоп.

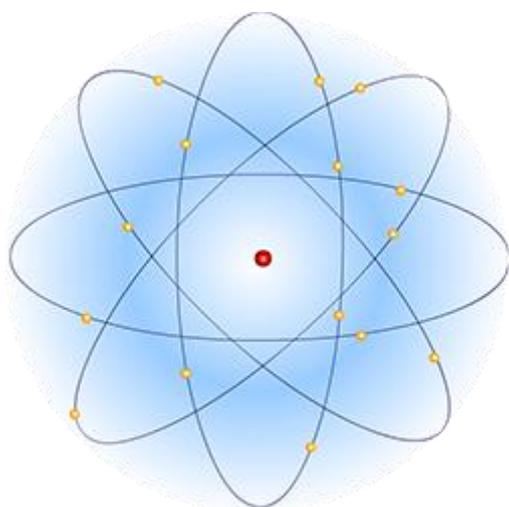
Чтобы обнаружить отклонение α -частиц на большие углы Резерфорд окружил фольгу экранами. Сотрудники Резерфорда вели счёт α -частиц, попадающих в регистрирующее устройство при отклонении их на от первоначального направления на определённый угол φ (фи). Данные из серии опытов, за определённый период времени, приведены в таблице:

Угол отклонения α-частиц φ, °	15	60	105	150	180
Число частиц N	132000	47770	33	1-3	

Отсюда можно сделать вывод: такое поведение α -частиц возможно только в том случае, если они упруго взаимодействуют с массивным положительно заряжённым телом малых по сравнению с атомом размеров.

Позднее Резерфорд признался, что, предложив своим ученикам провести эксперимент по наблюдению за рассеянием α -частиц, он сам не верил в положительный результат. Он сравнил такой эффект с 15-дюймовым снарядом, как если бы его выстрелили в кусок тонкой бумаги, а снаряд возвратился бы и нанёс обратный удар.

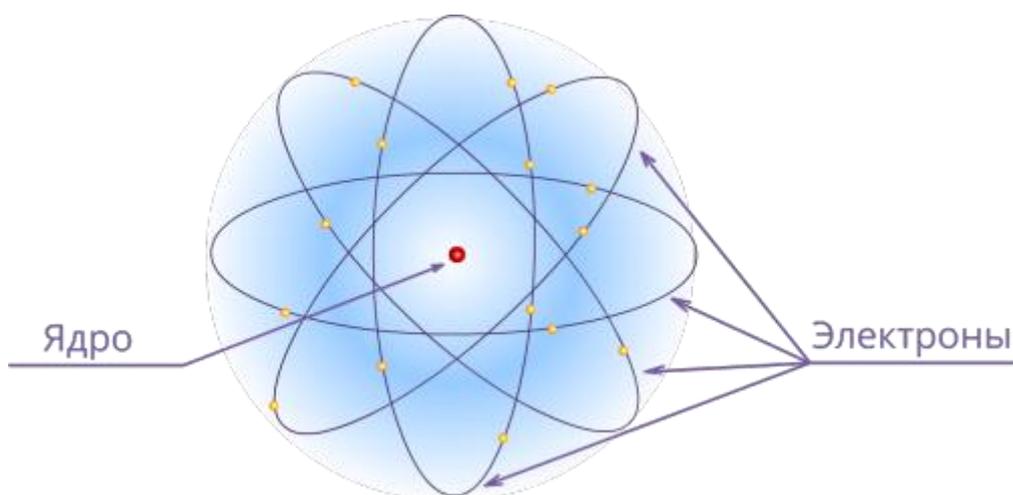
Резерфорд понял, что α -частица могла быть отброшена назад лишь в том случае, если положительный заряд атома и его масса сконцентрированы в очень малой области пространства. Так Резерфорд пришел к мысли о существовании атомного ядра.



Подсчитывая число α -частиц, рассеянных на различные углы, Резерфорд смог оценить размеры ядра. Оказалось, что ядро имеет диаметр порядка 10^{-12} — 10^{-13} см (у разных ядер диаметры различны). Размер же самого атома 10^{-8} см, то есть от 10 до 100 тысяч раз превышает размеры ядра. Впоследствии удалось определить и заряд ядра.

Планетарная модель атома Резерфорда: в целом атом нейтрален, в центре атома расположено положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. Число внутриатомных электронов, как и заряд ядра, равны порядковому номеру элемента в периодической системе Д. И. Менделеева.

Электроны движутся вокруг ядра, подобно тому как планеты обращаются вокруг Солнца.



Такой характер движения электронов определяется действием кулоновских сил притяжения со стороны ядра.

Закон Кулона:

$$\vec{F}_{max} = k \frac{q_{\alpha} \cdot q}{R^2}$$

q_{α} — заряд α -частицы;

q — положительный заряд атома;

r — его радиус;

$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ — коэффициент пропорциональности.

Ядро атома водорода имеет положительный заряд, который по модулю равен заряду электрона, и массу, примерно в 1836,1 раза больше массы электрона.

Размер атома водорода — это радиус орбиты его электрона

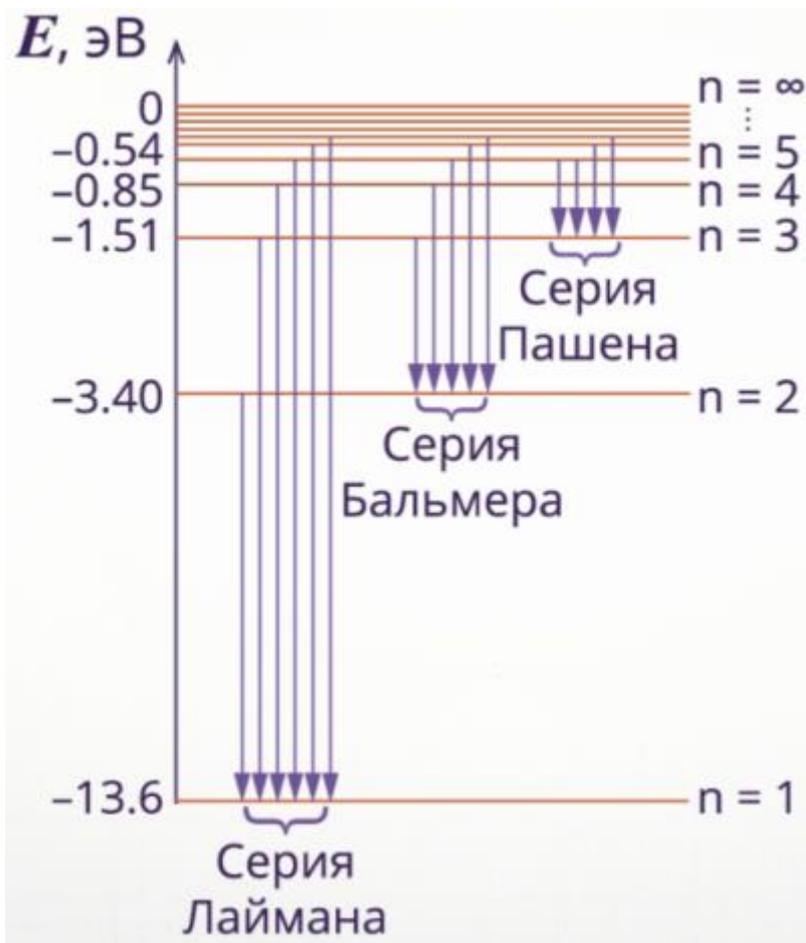
Простая и наглядная планетарная модель атома имеет прямое экспериментальное обоснование. Она кажется совершенно необходимой для объяснения опытов по рассеиванию α -частиц. Но на основе этой модели нельзя объяснить факт существования атома, его устойчивость. Ведь движение электронов по орбитам происходит с ускорением. Ускоренно движущийся заряд должен излучать электромагнитные волны с частотой, равной частоте его обращения вокруг ядра. Электроны должны приближаться к ядру, подобно тому как спутник приближается к Земле при торможении в верхних слоях атмосферы. Атом должен прекратить свое существование. В действительности ничего подобного не происходит. Атомы устойчивы и в невозбужденном состоянии могут существовать неограниченно долго, совершенно не излучая электромагнитные волны

В начале XX века было уже известно, что вещество излучает свет конкретных длин волн в определенных, очень узких спектральных интервалах - спектральных линиях, все линии имеют конечную длину.

Линейчатые спектры дают все вещества в газообразном атомарном (но не молекулярном состоянии). Классическим примером линейчатого спектра является спектр атома водорода.

Швейцарский физик и математик Иоганн Якоб Бальмер определил, что в видимой части спектра атома водорода имеются четыре линии, соответствующие длинам волн: $\lambda_1 = 434$ нм; $\lambda_2 = 486$ нм; $\lambda_3 = 410$ нм; $\lambda_4 = 656$ нм

Частота излучений атома водорода составляет ряд серий, каждая из которых образуется в процессе перехода атома в одно из энергетических состояний, переходов электрона с верхних энергетических уровней на нижние уровни.



На рисунке можно увидеть переходы электрона на другой энергетический уровень, частоты излучения которого находятся в видимой области спектра.

Серию уровней назвали в честь швейцарского учителя Иоганна Бальмера, который ещё в 1885 году основываясь на результатах экспериментов вывел формулу для определения частот видимой части спектра водорода:

$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{ для } Z = 1$$

$$\nu = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{ для большего числа } Z,$$

где Z – число протонов в атоме или порядковый номер в периодической таблице Менделеева;

n и m (целое число – 1, 2, 3, 4, 5, и так далее) - энергетические уровни, где $m > n$.

В этой формуле ν — не частота, которая измеряется в с^{-1} , а волновое число, которое равно обратному значению длины волны $1/\lambda$ и которое измеряется в м^{-1} .

$$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$$

$$R = 1,0971 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \text{ (для водорода)}$$

R — это постоянная Ридберга (для данного вещества), которая определена из спектральных данных, учитывая, что скорость распространения видимого излучения составляет:

$$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Не согласующийся с опытом вывод о неизбежной гибели атома вследствие потери энергии на излучение — это результат применения законов классической физики к явлениям, происходящим внутри атома. Отсюда следует, что к таким явлениям законы классической физики неприменимы. Все выводы об устойчивости атома и спектре, которые излучает атом будут подтверждены Нильсом Бором в 1913 году.

Рассмотрим задачи тренировочного блока урока.

1. Формула Бальмера – Ридберга для водорода приводится в виде:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Коэффициент R_H носит название постоянной Ридберга для водорода и его можно вычислить из данной формулы.

Полученный результат равен _____ $\cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$, если известно, что при переходе атома водорода из четвёртого энергетического состояния во второе происходит излучение с длиной волны 486,13 нм.

Дано:

$$m = 4$$

$$n = 2$$

$$R_H = ?$$

Решение:

Постоянная Ридберга для водорода:

$$\lambda = 486,13 \text{ нм} = 486,13 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Выведем постоянную Ридберга R_H из формулы Бальмера – Ридберга:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$R_H = \frac{1}{\lambda \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)}$$

Подставим известные значения в формулу:

$$R_H = \frac{1}{486,13 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)}$$

$$R_H = \frac{1}{486,13 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{4-1}{16} \right)} = \frac{1}{486,13 \cdot 10^{-9} \cdot 0,1875} = \frac{1}{91,149375 \cdot 10^{-9}} = 0,010971 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1} \\ = 1,0971 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Ответ: $R_H = 1,0971 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$

2. Рассчитайте на какое наименьшее расстояние α -частица может приблизиться к ядру атома золота, двигаясь по прямой, проходящей через центр ядра. Масса α -частицы, её заряд, скорость движения и заряд ядра золота приведены в таблице:

Масса α -частицы, кг	Заряд α -частицы, Кл	Скорость движения α -частицы, м/с	Заряд ядра золота, Кл	Расстояние сближения, м
$6,6 \cdot 10^{-27}$	$3,2 \cdot 10^{-19}$	$1,9 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^{-17}$?

По закону сохранения энергии максимальная кинетическая энергия α -частицы будет равна максимальной потенциальной энергии взаимодействия частицы с ядром атома золота:

$$W_p = W_k$$

Потенциальная энергия кулоновского взаимодействия зарядов.

Для определения наименьшего расстояния между α -частицей и ядра атома золота используем формулу взаимодействия заряженных частиц - закон Кулона:

$$\vec{F}_{max} = k \frac{q_{\alpha} \cdot q}{r^2}$$

$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ — коэффициент пропорциональности.

Чтобы определить силу взаимодействия зарядов на кратчайшем расстоянии, запишем II закон Ньютона, устанавливающий зависимость силы от ускорения, для движения тела движущегося по окружности с центростремительным ускорением:

$$\vec{F} = ma_{ц} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Приравняем выражения для силы взаимодействия двух точечных зарядов:

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = k \frac{q_{\alpha} \cdot q}{r^2}$$

Отсюда выразим расстояние сближения двух зарядов, считая его радиусом от центра ядра золота до точки сближения с α -частицей:

$$r = k \frac{q_{\alpha} \cdot q \cdot r}{m \cdot v^2 \cdot r} = k \frac{q_{\alpha} \cdot q}{m \cdot v^2}$$

Подставим числовые значения в полученную формулу:

$$r = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,3 \cdot 10^{-17} \text{ Кл}}{6,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 1,9^2 \cdot 10^{14} \text{ м}^2 / \text{с}^2} = 3,1 \cdot 10^{-14} \text{ м}$$

Ответ:

Масса α -частицы, кг	Заряд α -частицы, Кл	Скорость движения α -частицы, м/с	Заряд ядра золота, Кл	Расстояние сближения, м
$6,6 \cdot 10^{-27}$	$3,2 \cdot 10^{-19}$	$1,9 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^{-17}$	$3,1 \cdot 10^{-14}$