

НОВЫЕ РАБОТЫ ПО ВОПРОСУ О РАЗЛОЖЕНИИ АТОМОВ.

Э. Халфин, Ленинград.

§ 1. Разложение атомов наблюдал впервые Резерфорд в 1919 г. Изучая рассеяние α -частиц RaC в газах, Резерфорд заметил, что в азоте возникают частицы с очень большим (до 40 см) пробегом, которые, подобно α -частицам, дают вспышки (сцинтилляции) при попадании на экран из сернистого цинка. Познейшие исследования показали, что эти частицы идентичны с частицами, получаемыми при прохождении α -частиц через водород или водородосодержащие вещества. Так как азот был совершенно свободен от водорода, и пробег этих частиц был значительно больше пробега ядра атома водорода, получившего свою скорость от столкновения с α -частицей (< 28 см), то оставалось предположить, что эти ядра водорода выбиваются α -частицами из ядер атомов азота. Это предположение в дальнейшем оправдалось, и было найдено, что Н-частицы (с пробегом > 28 см) выбиваются не только из азота, но и из ряда других элементов — В, F, Na, Al, P, причем выбиваются они не только в направлении движения α -частиц, но и — приблизительно в том же количестве — в обратном. Основываясь на этом последнем свойстве Н-частиц (их вылете по всем направлениям) Резерфорд и Чадвик применили так называемый „прямоугольный метод“ для их наблюдения: наблюдаются частицы, вылетевшие под прямым углом к направлению падения пучка α -частиц. При этом не могут быть наблюдаемы „естественные“ Н-частицы, получившиеся при столкновении α -частиц со свободными атомами водорода. При „прямом“ методе эти частицы не позволяют наблюдать при поглощении (< 28 см воздуха). Этот метод позволил изучить Н-частицы с малым пробегом, вылетающие при разбивании ядра. Результаты, полученные Резерфордом и Чадвиком, сводятся к следующему: α -частицы выбивают ядра водорода из атомов всех легких элементов до К включительно, кроме Li, Be, C, O, Ne. Кроме того, было изучено железо, которое тоже не дало Н-частиц. α -частицы с пробегом < 3 см не способны расщепить Al; Н-частицы алюминия должны иметь некоторый минимальный пробег равный приблизительно 9 см.

Одновременно и независимо от Резерфорда и Чадвика „прямоугольный метод“ применяли Кирш и Петтерсон в Венском радиологическом институте. Они сами, а также ряд их сотрудников, получили совершенно противоположные результаты. Прежде всего они утверждают, что из бериллия, углерода, кислорода и железа можно выбить Н-частицы. Затем, их данные указывают на то, что для алюминия не наблюдается какого-либо „порога расщепления“ и что Н-частицы, выбитые из алюминия могут иметь очень малый (значительно меньше чем 9 см) пробег.

В самое последнее время венскими исследователями опубликован новый ряд работ ¹⁾, изложению которых и посвящена настоящая статья.

¹⁾ Zeitschrift f. Physik, B. 42, стр. 641—758; статьи Kirsch u. Pettersson, Pettersson-Holoubek, Schmidt и Stettlür. Наиболее полная сводка предшествующих работ венских исследователей дана в книге: H. Pettersson und G. Kirsch. Atomzertrümmerung. Akademische Verlagsges. Leipzig 1926; см. также Handb. der Physik v. Geiger und Scheel, B. XXII.

§ 2. Прибор, в котором Шмидт изучал расщепление ядер Al по влиянию ударов α -частиц, изображен на рис. 1 и 2.

Прибор состоит из двух половинок латунной коробки, тщательно пришлифованных друг к другу. Полная высота его равна 10,5 см, диаметр — 9,7 см. Источником α -частиц является покрытое RaC кольцо из инвара P , с внутренним диаметром 14 и внешним 20 мм (на рисунке изображено черным). Источник помещается на свинцовой болванке (заштрихована), которая, в свою очередь, удерживается толстой латунной пластинкой M . Через свинец просверлен канал K , диаметром 10 мм, оббитый изнутри тонкой латунью, выдающейся на несколько мм над верхним краем канала и образующей нечто вроде крыши (см. рисунок). На продолжении оси канала в стенке прибора проделано отверстие диаметром 15 мм, против которого снаружи прикреплен экран для счета частиц Z , прикрытый со стороны прибора алюминиевой пленкой, эквивалентной 1 мм воздуха. Над экраном ходят металлические пластинки, одна круглая и одна веерообразная, связанные с шлифами A и B . На их периферии высе-

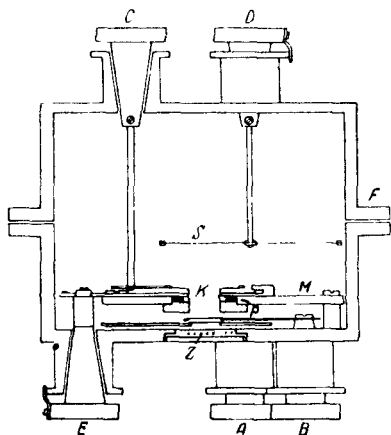


Рис. 1.

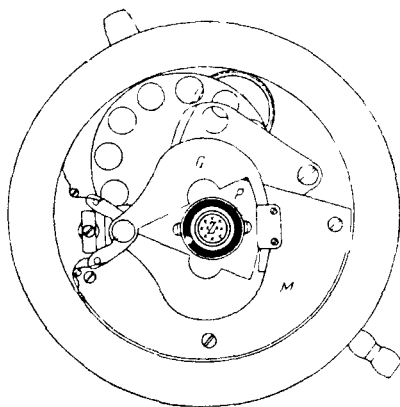


Рис. 2.

лены отверстия диаметром в 10 мм, покрытые тонкими пластинками слюды. Таким образом, над экраном вращенным шлифов AB можно устанавливать слои слюды с поглощением, эквивалентным от 0 до 10 см воздуха, со ступенями в 0,5 — 1,0 см. Так как измерения производятся в полной темноте, то оказалось необходимым приспособить к шлифам защелки, которые автоматически устанавливали бы слюдяные кружки в нужном положении. Вращением шлифа E , связанного с двумя сегментами Z , можно совсем закрыть препарат.

Шлиф C позволяет ставить тормозящую слюду на пути α -частиц. Слюда эта изображена на рис. 1 тонкой линией над препаратом. Чтобы избежать попадания рассеянных от нее α -частиц на экран, она должна прилетать к самому краю канала K . На диске S , связанном с шлифом D , укреплено изучаемое вещество (алюминевая фольга различной толщины, прогретая в вакууме).

При подобной конструкции прибора до экрана могут доходить частицы, имеющие источником или алюминий (S) или объем газа, заключенный в телесном углу под которым виден канал K с экрана Z . Так как прибор при опытах или эвакуировался или наполнялся гелием, то, считая, что гелий не разлагается, все наблюдаемые Н-частицы могли иметь источником только Al , помещенный на диске S . Различение быстрых рассеянных α -частиц от Н-частиц не представляет особого труда, так как сцинтилляции, вызываемые первыми, значительно ярче. В тех случаях, когда сцинтилляции были примерно одной яркости (что имеет место, когда наблюдаются α -частицы

с очень малыми скоростями), применялось сравнение их с „нормалами“ — заведомыми α - и Н-частицами. Для этого на круглой пластинке над экраном Z были укреплены источники α -частиц и Н-частиц (препарат Ро, покрытый слоем парафина). Частицам можно придавать любую скорость вводя в их путь тормозящую среду, помещенную на второй, везрообразной пластинке.

Чтобы избежать заражения прибора путем отдачи, препарат Р покрывался пленкой колодия, эквивалентной приблизительно 1 мм воздуха. Закрывая сегментами препарат совсем, можно всегда учесть степень заражения прибора. Объектив микроскопа, применявшийся для счета частиц, обладал следующими данными: фокусное расстояние 12 мм, апертура 0,70, увеличение $\times 47$, поле зрения 9 мм².

С этим прибором получены результаты, приведенные в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1.

Число Н-частиц, выбитых α -частицами разных пробегов из алюминия.

а) Пробег α -частиц = 3,9 — 4,1 см		б) Пробег α -частиц = 2,4 — 2,6 см		с) Пробег α -частиц = 1,1 — 1,3 см	
Пробег выбитых Н-частиц в см	Число Н-частиц/мм	Пробег выбитых Н-частиц в см	Число Н-частиц/мм	Пробег выбитых Н-частиц в см	Число Н-частиц/мм
0	16,1	0	8,1	0	144
2	7,1	1	4,2	1	117
4	5,5	2	2,4	2	74
		4	1,6	4	32,5
				6	19
				8	8,5
				11	11

Случай с) относится к переконструированному прибору и поэтому не может быть непосредственно сравнен со случаями а и б.

Из этих данных следует, что α -частицы с пробегом < 3 см могут расщеплять Al, и что никакого минимального пробега Н-частиц не наблюдается. Кроме того, обращает на себя внимание очень большое число наблюдаемых Н-частиц. Произведенные в другом приборе опыты качественного характера с Ро подтвердили эти результаты. Число частиц, могущее быть выброшенным из Al при полном поглощении α -частиц, авторы оценивают до 200 на 10^6 α -частиц. Также подтвердили эти результаты (большое число и отсутствие минимального пробега выбитых Н-частиц) опыты с незаторможенными α -частицами RaC, при которых бомбардировке подвергалась алюминиевая фольга, тормозящее действие которой было равно 1 см воздуха. (При этом нельзя приписать наличие медленных Н-частиц тому, что они получились вследствие торможения быстрых в самом разбиваемом веществе).

Полученные Шмидтом результаты были подтверждены работой Голубека, который наблюдал расщепление Al в камере Вильсона (см. ниже). По данным Голубека, α -частицы с пробегом от 0,9 — 1,6 см при попадании на Al выбивали значительное число Н-частиц с пробегом приблизительно = 5 см.

§ 3. Другой областью учения о расщеплении атомных ядер, где результаты венских экспериментаторов расходятся с результатами школы Резерфорда, является

вопрос о возможности расщепления атомов Be, C, O, F. Особенно обстоятельные исследования были произведены Петерсоном и Голубеком с углеродом. Для своих исследований Петерсон пользовался уже описанным прибором Шмидта, причем на пластинке *S* был укреплен конечно не Al, а углерод в виде графита, осколков алмаза на парафине или очень чистого аморфного углерода. Источником α -частиц служил RaC. Результаты, полученные при таких исследованиях, трудно воспроизводимы, но можно сказать с несомненностью, что наблюдалось значительное количество Н-частиц с малым пробегом.

В таблице 2 приведены некоторые из полученных при этом результатов; источник α -частиц — RaC, расщепляемое вещество — графит; аппарат наполнен гелием.

ТАБЛИЦА 2.

Пробег и число Н-частиц, выбитых из углерода
Источник α -частиц RaC.

Пробег выбитых Н-частиц	Число Н-частиц на 10^6 α -частиц	Пробег выбитых Н-частиц	Число Н-частиц на 10^6 α -частиц	Пробег выбитых Н-частиц	Число Н-частиц на 10^6 α -частиц
0,8	54	0,6	51	0,6	120
1,5	25	1,7	25	1,7	60
2,2	16	2,7	17	2,7	33
4,5	5	4,8	9	3,9	19
—	—	—	—	5,7	15

Число Н-частиц с пробегом в 6 см настолько мало что не поддается точному учету.

Данные первых двух столбцов получены с промежутком в 3 месяца между измерениями. Данные последнего столбца получены при особо благоприятных условиях наблюдения, когда сплошное свечение экрана было очень слабым, что облегчало счет неярких сцинтилляций. Характерным является наличие большого числа очень медленных (с пробегом приблизительно 1,5 см) Н-частиц, которые наблюдались и при других подобных измерениях.

При пользовании (в приборе другой конструкции) α -частицами Po, получились приблизительно те же результаты (см. таблицу 3).

ТАБЛИЦА 3.

Пробег и число Н-частиц из углерода. Источник α -частиц Po

Пробег выбитых Н-частиц	Число Н-частиц в одну минуту					Среднее
	1	2	3	4	5	
0,2	38	56	48	42	51	45
0,8	28	19	19	23	29	24
1,9	13	14	11	13	11	12
2,9	8	3	4	9	8	6
3,8	5	0	1	0	0	1

Приведенные в графах 1—5 цифры получены при наблюдении в различные дни. Как видно из таблицы, колебания в числе частиц сравнительно небольшие. Так же, как в случае расщепления атомов углерода α -частицами Ra C наблюдается большое число частиц с малым пробегом. Число Н-частиц, их „выход“, определить абсолютно очень трудно, но сравнительные измерения с алюминием показали, что оно составляет приблизительно $\frac{1}{2}$ того количества, которое выбивается из последнего.

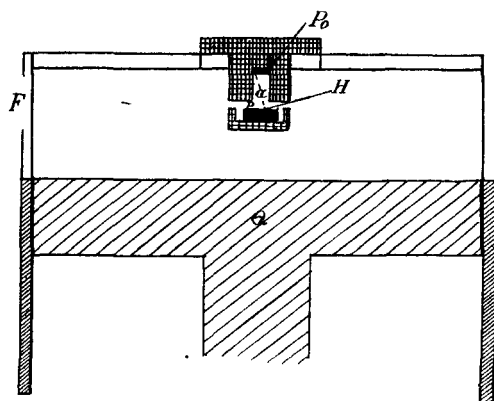


Рис. 3.

Сотрудник того же института Голубек пытался наблюдать расщепление разных элементов в камере Вильсона.

Аппарат Голубека, схематически изображенный на рис. 3, был устроен таким образом, что в самую камеру попадали только частицы, выбитые из изучаемого вещества. Это позволяло брать в качестве источника α -частиц очень сильные препараты Po (на чертеже Po). Изучаемое вещество P было укреплено в центре камеры. В узкую щель (см. рис. 3) могли вылетать Н-частицы по направлению, составляющему угол не меньше 80° с направлением полета α -частиц. Щель могла закрываться тонкой алюминиевой фольгой, различной толщины.

Свет падал через стеклянное кольцо F. Поршень Q приводится в движение электромотором. Результаты, полученные этим прибором, даны в таблице 4. Al представлял собою кусок жести толщиной в 0,5 мм, прогретой в вакууме; железо, шведское, самое чистое, было в виде фольги толщиной 20 м, Be в виде металлической пластины, O в виде 1%-ного раствора агар-агара в воде.

ТАБЛИЦА 4.

Поглощение Н-частицу в см возд. (толщина алюминие- вой фольги на щели)	а) Сила препарата Po = 600 эл.-ст. ед.			б) Сила преп. Po = 4000 эл.-ст. ед.	
	Элемент	Число наблюден- ных путей	„Выход“ Н-частиц $\times 10^{-6}$	Число набл. путей	„Выход“ Н-частиц $\times 10^{-6}$
2,4	Al	815	31,8	1 194	27,3
4,1	Fe	330	22,5	—	—
1,8	Be	669	17,2	—	—
1,8	O	217	15	1 875	15
2,0	C (Алмаз)	415	11,7	1 124	17
2,0	C (Графит)	421	15,7	—	—

Таким образом, и здесь были получены Н-частицы в том случае, когда α -частицы Po попадали на углерод. Кроме того, наблюдались Н-частицы и при бомбардировке α -частицами бериллия, кислорода и железа. Обращает на себя внимание то, что „выход“ Н-частиц одинаков в обоих отделах таблицы, хотя сила препарата Po в разделе б) более чем в 6 раз превышает силу препарата в разделе а). „Выход“ для железа не-

сомненно преуменьшен, так как, ввиду большого пробега рассеянных α -частиц, пришлось ввести значительное (4,1 см) поглощение на пути Н-частиц.

Для того, чтобы исключить возможность возникновения Н-частиц в воздухе на пути источника α -частиц — расщепляемое вещество, прибор был изменен таким образом, что щель закрывалась не алюминиевой фольгой, а тонкой слюдой. Тогда из той части, где происходит расщепление, можно откачать воздух или заменить его гелием, который, по предположению, Н-частиц не дает. Результаты, полученные с таким образом видоизмененным прибором, такие же, как и с предыдущим («выход» Н-частиц приблизительно $17:10^6$ при поглощении 1,4 см для углерода; $30:10^6$, при поглощении 1,7 см, для алюминия).

§ 4. Как уже указывалось, в работах венских экспериментаторов Н-частицы отличались от рассеянных α -частиц по характеру сцинтилляций (Петерсон) или по виду снимка в камере Вильсона (Голубек). Твердой уверенности в том, что это именно Н-частицы, конечно, быть не могло, и нужно было применить какой-либо метод, позволяющий точно отличить Н-частицы от рассеянных α -частиц. Таким методом может явиться определение отношения e/m . Штеттер сконструировал прибор по типу известного прибора для изучения изотопов Астона. Устройство прибора видно из рис. 4.

На магнелиевой пластинке М лежит очень тонкий (толщина стенки $< 10 \mu$) капилляр с эманацией, Q. Вылетающие из него α -частицы попадают на расщепляемое вещество S. Часть из выбитых по всем направлениям Н-частиц, пролетая через сложную щель C, параллельным пучком попадает в поперечное электрическое поле около 100 000 В/см. За ним, так же, как у Астона, на них действует „фокусирующее“ магнитное поле.

При этих исследованиях вместо фотографической пластинки употреблялся экран из сернистого цинка и считались сцинтилляции в разных точках. Штеттер изучал расщепление Al, C, B, Fe. Результаты его исследований даны на рис. 5.

Как видно, на всех кривых имеются максимумы в тех точках, где должны собираться Н-частицы. Кроме того наблюдаются, разумеется, максимумы и в тех местах, где должны быть рассеянные α -частицы. Особенно интересен случай железа. Большое число и большая скорость рассеянных α -частиц вызывает столь значительное расширение α -линии, что она поглощает Н-линию. Если же увеличить угол, который составляет направление щели с направлением полета α -частиц (положение S_1 , углы α , на рис. 4), то, вследствие уменьшения числа рассеянных α -частиц, максимум для Н-частиц начнет выделяться. Последнее и представлено для разных положений железа S_1 на рис. 4. Следовательно и эти результаты подтверждают данные о том, что углерод и железо суть „разлагаемые“ элементы.

При рассмотрении кривых на рис. 5 бросается в глаза, что отношение числа рассеянных α -частиц к числу Н-частиц у углерода значительно больше, чем у алюминия, тогда как теория рассеяния Резерфорда требует как раз обратного результата. Объясняется это тем (по Штеттеру), что в случае алюминия применяется диафрагма,¹ пропускающая только сравнительно быстрые (т. е. мало рассеивающиеся) α -частицы. Если поставить такую диафрагму на пути частиц при работе с углеродом, то максимум для α -частиц, оставаясь резко-выраженным, имеет приблизительно вдвое меньшее численное значение.

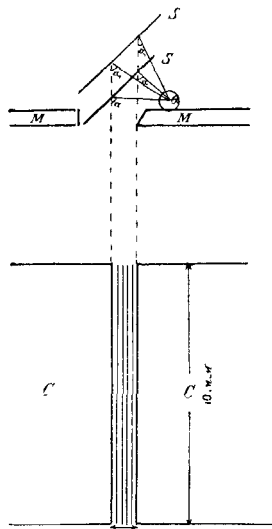


Рис. 4.

§ 5. Расхождение между результатами венских и кэмбриджских исследователей настолько велико, что объяснить его ошибками наблюдения не представляется возможным. Необходимо предположить, что один из наблюдателей допустил какую-либо принципиальную ошибку. Венские наблюдатели считают, что такой ошибкой в Кэмбридже было применение малосветосильного микроскопа. Произведенное в Вене сравнение „считающей способности“ микроскопов различной конструкции показало, что в микроскоп, употребляющийся при счете сцинтилляций в Вене (апертура 0,70), видно значительно большее число сцинтилляций, чем в микроскоп кэмбриджского типа (апертура 0,45). Исследования это велось следующим образом: очень сильный препарат Ро покрывался слоем парафина толщиной около 40 μ . Над парафином помещался еще листок слюды с воздушным эквивалентом 4 см, назначением которого было поглощение α -частиц, могущих пройти через возможные отверстия в парафине. Счет Н-частиц этого препарата помощью обоих указанных микроскопов показал следующие преимущества венского микроскопа по сравнению с кэмбриджским: больш

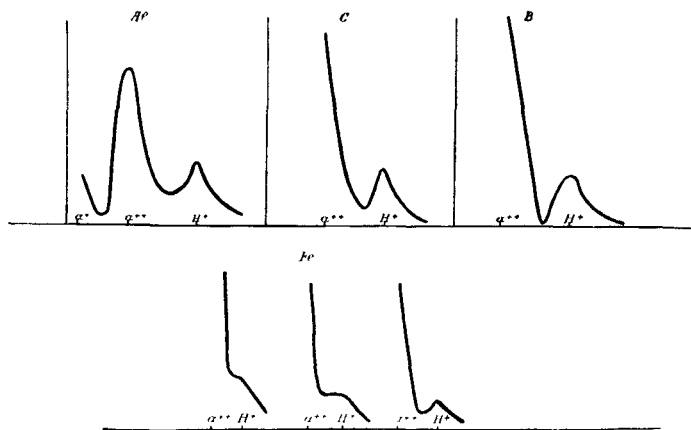


Рис 5.

число сцинтилляций, особенно от Н-частиц малых скоростей, замеченное им, малое влияние общего свечения экрана под действием γ -лучей, и, наконец, легкость работы с ним, ввиду малости „субъективного поля зрения“ (поле зрения объектива $\times$ квадрат линейного увеличения микроскопа.). Венские авторы считают эти преимущества настолько серьезными, особенно для столь слабых вспышек, какие дают Н-частицы с малым пробегом, что приписывают им различие своих и кэмбриджских результатов.

Фактором, который повидимому не учтен венскими авторами, является введение в приборы слюды, как „тормозящего“ вещества для α - и Н-частиц. Слюда не представляет собою некоторого определенного химического соединения, а является минералом, разные типы которого могут обладать разными свойствами. Кроме того, что самое важное, слюда не только содержит ряд безусловно „расщепляемых“ элементов, как-то Mg, Al, S, но и свободный водород, в виде, повидимому, кислых и основных солей. По рисункам и размерам приборов, приведенным в статьях, трудно судить о том, какую роль играют выбитые из слюды протоны при опытах венских экспериментаторов; во всяком случае, называть их вполне безукоризненными, особенно ввиду наличия большого числа Н-частиц с очень малым пробегом, нельзя.

§ 6. Вскоре после появления в печати изложенных работ, была опубликована работа Боте и Фрэнца ¹⁾, которые изучали действие α -частиц Ро на ядра атомов различ-

¹⁾ Bothe und Fränz, Zeitsch. f. Phys., 43, 456, 1927.

ных элементов. Счет Н-частиц производился помощью счетчика Гейгера. Метод наблюдения они применили „прямой“ и сравнивали число Н-частиц, попадающих в счетчик при помещении на пути α -частиц изучаемого вещества, с тем числом, которое получалось при замене его медью. Оказалось, что заметная разность в числе Н-частиц в том и другом случае получалась при введении в путь α -частиц: бор, азот, магний, алюминий. Отрицательный результат (отсутствие Н-частиц с пробегом > 7 см) дали: графит, CaF_2 , Na_2CO_3 , Si, P (красный), S и KCl. Так как сообщение носит предварительный характер, то авторы не указывают точно „выходы“ и пробега полученных частиц, что могло бы решить вопрос о том, какие результаты — полученные в Вене или полученные в Кембридже — ближе к истине.

Необходимо подчеркнуть, что результаты Боте и Френца не противоречат работам Резерфорда и Чадвика. То, что при их установке не удалось расщепить ряда элементов, которые были расщеплены Резерфордом, может быть объяснено тем, что они применяли в качестве источника α -частиц Po (пробег α -частиц 4 см), в то время, как Резерфорд и Чадвик применяли RaC (пробег α -частиц 7 см). Также нет прямого противоречия и с работами венской школы, но существуют данные, с трудом согласуемые с этими результатами. Так, например, углерод не дает Н-частиц с пробегом > 7 см. Петерсон (см. выше) тоже не наблюдал частиц с пробегом > 5 см (приблизительно), но то имело место для частиц, вылетающих в направлении, обратном направлению падения α -частиц, между тем как Боте и Френц наблюдали Н-частицы, вылетающие в направлении падения α -частиц. Как показал Резерфорд, пробег Н-частиц, вылетающих в направлении движения α -частиц, значительно больше, чем у вылетающих в обратном. Поэтому отсутствие Н-частиц при наблюдении Боте и Френца во всяком случае не является подтверждением результатов Петерсона. Также самое можно сказать и о кислороде (в Na_2CO_3).

§ 7. Еще один результат, полученный венскими экспериментаторами, с трудом можно примирить с ранее известными фактами, — это то их наблюдение, что „выход“ Н-частиц для алюминия чрезвычайно большой ($200:10^6$), и энергия, которой должна обладать α -частица, чтобы расщепить ядро Al, сравнительно мала (соответ. энергии α -частицы с пробегом прибл. 1 см). Если из этих двух данных подсчитать, пользуясь формулами теории Резерфорда, размеры ядра атома алюминия (метод расчета см., напр., Френкель, Ж. Р. Ф. О., 1917 г), то получится для радиуса его (то минимальное расстояние, на которое может подойти α -частица с пробегом в 1 см к центру ядра) величина $2 \cdot 10^{-12}$ см. Так как размеры α -частицы значительно меньше (несколько единиц на 10^{-13}), то для расщепления ядра необходимо, чтобы одновременно с нахождением α -частицы на расстоянии $2 \cdot 10^{-12}$ см от центра ядра, вблизи ее находился какой-либо из составляющих ядро протонов. Вероятность этого события меньше единицы. Если ввести эту поправку, то величина $2 \cdot 10^{-12}$ см явится нижней границей для размера ядра Al.

Можно думать, что если протон, входящий в состав ядра, может удалиться на расстояние $2 \cdot 10^{-12}$ см от центра ядра, то на расстоянии $< 2 \cdot 10^{-12}$ см будет некоторое электрическое поле, действующее на залетевший в него заряд (например α -частицу) по закону, отличному от закона Кулона. Опыты же с рассеянием α -частиц показали, что формулы Резерфорда остаются действительными (а значит и взаимодействие α -частицы с ядром по закону Кулона) до расстояний $1, 2 \cdot 10^{-12}$ см от центра ядра.

Все сказанное о работах венских экспериментаторов и сопоставление их с другими работами из той же и смежных областей, заставляет прийти к выводу, что полученные ими данные, несмотря на всю тщательность работы, не могут быть признаны окончательными. Вопрос о том, какая школа права — венская или кембриджская — ждет еще своего разрешения.