Альфа-частицы. Труднее было выяснить природу а-частиц, так как они слабее отклоняются магнитным и электрическим полями. Окончательно эту задачу удалось решить Резерфорду. Он измерил отношение заряда q частицы к её массе т по отклонению в магнитном поле. Оно оказалось примерно в 2 раза меньше, чем у протона — ядра атома водорода. Заряд протона равен элементарному, а его масса очень близка к атомной единице массы. Следовательно, у а-частицы на один элементарный заряд приходится масса, равная двум атомным единицам массы.

Но заряд а-частицы и её масса оставались тем не менее неизвестными. Следовало измерить либо заряд, либо массу а-частицы. С появлением счётчика Гейгера (см. § 86) стало возможным проще и точнее измерить заряд. Сквозь очень тонкое окошко а-частицы могут проникать внутрь счётчика и регистрироваться им.

Резерфорд поместил на пути а-частиц счётчик Гейгера, который измерял число частиц, испускавшихся радиоактивным препаратом за определённое время. Затем он поставил на место счётчика металлический цилиндр, соединённый с чувствительным 1 электрометром (рис. 12.3). Электрометром Резерфорд измерял заряд а-частиц, испущенных источником внутрь цилиндра за такое же время (радиоактивность многих веществ почти не меняется со временем). Зная суммарный заряд а-частиц и их число, Резерфорд определил отношение этих величин, т. е. заряд одной а-частицы. Этот заряд оказался равным двум элементарным.

Таким образом, он установил, что у а-частицы на каждый из двух элементарных зарядов приходится две атомные единицы массы. Следовательно, на два элементарных заряда приходится четыре атомные единицы массы.

Такой же заряд и такую же относительную атомную массу имеет ядро гелия. Из этого следует, что а-частица — это ядро атома гелия.

Не довольствуясь достигнутым результатом, Резерфорд затем ещё прямыми опытами доказал, что при радиоактивном а-распаде образуется именно гелий. Собирая а-частицы внутри специального резервуара на протяжении нескольких дней, он с помощью спектрального анализа убедился в том, что в сосуде накапливается гелий (каждая а-частица захватывала два электрона и превращалась в атом гелия).

Превращения ядер подчиняются так называемому правилу смещения, сформулированному впервые английским химиком Ф. Содди.

При а-распаде ядро теряет положительный заряд 2е и масса его убывает примерно на четыре атомные единицы массы. В результате ^элемент смещается на две клетки к началу периодической системы.

Схему а-распада можно записать так:

Примером а-распада является превращение радия в радон:

Необходимо отметить, что при всех ядерных превращениях сохраняются массовые (число нуклонов) и зарядовые числа, также выполняются все известные законы сохранения: энергии, импульса, момента импульса, заряда.

Исследования, начатые Резерфордом и продолженные им совместно с Ф. Содди, показали, что превращения испытывали и другие радиоактивные элементы: уран, актиний, радий.

Резерфорд обнаружил, что активность тория остаётся неизменной в закрытой ампуле.

Активность радиоактивного вещества — это число распадов за 1 с.

Если же препарат обдувается даже очень слабыми потоками воздуха, то активность тория сильно уменьшается. Учёный предположил, что одновременно с а-частицами торий испускает какой-то радиоактивный газ.

Удаляя насосом воздух из ампулы, содержащей торий, Резерфорд выделил радиоактивный газ и исследовал его ионизирующую способность. Оказалось, что активность этого газа (в отличие от активности тория, урана и радия) очень быстро убывает со временем. Каждую минуту активность убывает вдвое, и через десять минут она становится практически равной нулю. Содди исследовал химические свойства этого газа и установил, что он не вступает ни в какие реакции, т. е. является инертным газом. Впоследствии этот газ был назван радоном и помещён в периодической системе Д. И. Менделеева под порядковым номером 86.

Бета-лучи. С самого начала а- и (3-лучи рассматривались как потоки заряженных частиц. Проще всего было экспериментировать с р-лучами, так как они сильнее отклоняются как в магнитном, так и в электрическом поле.

Основная задача экспериментаторов состояла в определении заряда и массы частиц. При исследовании отклонения р-частиц в электрических и магнитных полях было установлено. что они представляют собой не что иное, как электроны, движущиеся со скоростями, очень близкими к скорости света. Существенно, что скорости частиц, испущенных каким-либо радиоактивным элементом, неодинаковы. Встречаются частицы с самыми различными скоростями. Это и приводит к расширению пучка (3-частиц в магнитном поле (см. рис. 12.2).

Однако наблюдались и другие лучи, состоящие, как выяснилось, из «положительно заряженных электронов». В 1934 г. Фредерик и Ирен Жо- л и о - К ю р и, исследуя радиоактивный изотоп фосфора, обнаружили излучение частиц, названных позитронами.

Позитрон — это частица, заряд которой равен модулю заряда электрона и масса которой равна массе электрона.

Таким образом, существует два вида бета-распада: |3 - и |3'-распад.

Исследования показали, что при бета-распаде электрон, или позитрон, уносит не всю энергию, образующуюся при распаде, в связи с чем австрийский физик-теоретик В. Паули предположил, что при распаде образуется ещё одна частица. Чуть позже, создавая теорию [Зт-распада, итальянский физик Э. Ферми назвал эту частицу нейтрино.

Рассмотрим сначала (3”-распад. В его основе лежит способность нейтрона превращаться в протон. Примером (3'-распада является превращение ядра углерода в ядро азота:

При (3 -распаде из ядра вылетает электрон и антинейтрино. В результате заряд ядра увеличивается на единицу, а масса остаётся почти неизменной. Общая схема |3'-распада следующая:

Здесь Де обозначает электрон: индекс 0 вверху означает, что масса его очень мала по сравнению с атомной единицей массы, gVc — электронное антинейтрино — нейтральная частица с очень малой (возможно, нулевой) массой, уносящая при (3~-распаде часть энергии. Образованием антинейтрино сопровождается (3'-распад любого ядра, и в уравнениях соответствующих реакций эту частицу часто не указывают.

(З'-распад также подчиняется правилу смещения.

В результате (3 -распада элемент смещается на одну клетку ближе к концу периодической системы.

Второй вид бета-распада — (3+-распад с излучением позитрона можно объяснить так. Протон в ядре заимствует энергию у других нуклонов ядра, в этом случае его радиоактивное превращение в нейтрон становится возможным, при этом образуются три частицы — нейтрон, позитрон и нейтрино:

Для (3+-распада также справедливо правило смещения.

В результате р+-распада элемент смещается на одну клетку ближе к началу периодической системы.

Существует ещё третий вид превращений ядер с участием (3-частиц, который называется К-захватом. Ядро поглощает один из электронов атома, в результате чего протон превращается в нейтрон, при этом испускается нейтрино. Примером такого распада является превращение калия в аргон:

Гамма-лучи. По своим свойствам у-лучи очень сильно напоминают рентгеновские, но только их проникающая способность гораздо больше, чем у рентгеновских лучей. Это наводило на мысль, что у-лучи представляют собой электромагнитные волны. Все сомнения в этом отпали после того, как была обнаружена дифракция у-лучей на кристаллах и измерена их длина волны. Она оказалась очень малой — от 1СГ8 до КГ11 см.

Скорость распространения у-лучей такая же, как и всех электромагнитных волн, — около 300 ООО км/с.

Гамма-излучение не сопровождается изменением заряда ядра; масса же ядра меняется ничтожно мало.

у-Излучение сопровождает радиоактивный распад в том случае, если новое образовавшееся ядро, например в результате а-распада, находится в возбуждённом состоянии. Рассмотрим, например, распад ядра урана 2||U. Он может происходить последовательно в два этапа. Сначала образуются продукты распада — торий 2goTh и а-частица. Выделяющаяся при распаде энергия в основном расходуется на энергию ядра тория и кинетическую энергию а-частицы, оставшаяся же часть энергии идёт на возбуждение ядра тория. Возбуждённое ядро тория через короткое время переходит в невозбуждённое состояние, испуская у-квант.

Таким образом, ядро, так же как и атом, может находиться на разных энергетических уровнях.

На рисунке 12.4 показана схема энергетических уровней ядер урана и тория в возбуждённом и невозбуждённом состояниях. Самый низкий уровень соответствует невозбуждённому состоянию ядра тория. При переходе ядра тория с более высокого энергетического уровня на более низкий происходит излучение у-кванта, энергия которого равна 0,05 МэВ.

Таким образом, спектр излучения ядра является линейчатым. у-Излучение возникает также при резком торможении электронов при прохождении их через вещество. В этом случае спектр излучения сплошной. Общий вывод, который сделали учёные, был точно сформулирован Резерфордом: «Атомы радиоактивного вещества подвержены спонтанным видоизменениям. В каждый момент небольшая часть общего числа атомов становится неустойчивой и взрывообразно распадается. В подавляющем большинстве случаев выбрасывается с огромной скоростью осколок атома — а-частица. В некоторых других случаях взрыв сопровождается выбрасыванием быстрого электрона и появлением лучей, обладающих, подобно рентгеновским лучам, большой проникающей способностью и называемых у-излучением.

Было обнаружено, что в результате атомного превращения образуется вещество совершенно нового вида, полностью отличное по своим физическим и химическим свойствам от первоначального вещества. Это новое вещество, однако, само также неустойчиво и испытывает превращение с испусканием характерного радиоактивного излучения.

Таким образом, точно установлено, что атомы некоторых элементов подвержены спонтанному распаду, сопровождающемуся излучением энергии в количествах, огромных по сравнению с энергией, освобождающейся при обычных молекулярных видоизменениях».