Впервые в истории человечества искусственное превращение ядер осуществил Резерфорд в 1919 г. Это было уже не случайное открытие.

Так как ядро весьма устойчиво и ни высокие температуры, ни давление, ни электромагнитные поля не вызывают его разрушения, то Резерфорд предположил, что для этого нужна очень большая энергия. Наиболее подходящими носителями большой энергии в то время были а-частицы, вылетающие из ядер при радиоактивном распаде.

Первым ядром, подвергшимся искусственному преобразованию, было ядро атома азота ^N.

Бомбардируя азот а-частицами большой энергии, испускаемыми радием, Резерфорд обнаружил появление протонов — ядер атома водорода.

Искусственная радиоактивность — это возникновение радиоактивных ядер в результате захвата частиц устойчивым ядром нерадиоактивных элементов или в результате слияния или распада ядер.

В первых опытах регистрация протонов проводилась методом сцинтилляций, и их результаты не были достаточно убедительными и надёжными.

Но спустя несколько лет превращение азота удалось наблюдать в камере Вильсона. Примерно одна а-частица на каждые 50 ООО а-частиц, испущенных радиоактивным препаратом в камере, поглощается ядром азота, что и приводит к испусканию протона. При этом ядро азота превращается в ядро изотопа кислорода:

На рисунке 12.10 показана одна из фотографий этого процесса. Слева видна характерная «вилка» — разветвление трека. Жирный след принадлежит ядру кислорода, а тонкий — протону. Остальные а-частицы не претерпевают столкновений с ядрами, и их треки прямолинейны. Другими исследователями были обнаружены превращения под влиянием а-частиц ядер фтора, натрия, алюминия и др., сопровождающиеся испусканием протонов. Ядра тяжёлых элементов, находящихся в конце периодической системы, не испытывали превращений. Очевидно, из-за большого электрического (положительного) заряда ядра а-частица не могла приблизиться к ядру вплотную.

Открытие нейтрона. В 1932 г. произошло важнейшее для всей ядерной физики событие: учеником Резерфорда английским физиком Д. Чедвиком был открыт нейтрон. При бомбардировке бериллия а-частицами протоны не появлялись. Но обнаружилось какое-то сильно проникающее излучение, способное преодолеть такую преграду, как свинцовая пластина толщиной 10—20 см. Было сделано предположение, что это у-лучи большой энергии.

Ирен Жолио-Кюри (дочь Марии и Пьера Кюри) и её муж Фредерик Жолио-Кюри обнаружили, что если на пути излучения, образующегося при бомбардировке бериллия а-частицами, поставить парафиновую пластину, то ионизирующая способность этого излучения резко увеличивается. Они ^ справедливо предположили, что излучение выбивает из парафиновой пластины протоны, имеющиеся в большом количестве в таком водородсодержащем веществе. С помощью камеры Вильсона (схема опыта приведена на рисунке 12.11) супруги Жолио-Кюри обнаружили эти протоны и по длине пробега оценили их энергию. По их данным, если протоны ускорялись в результате столкновения с у-квантами, то энергия этих квантов должна быть огромной — около 55 МэВ.

Чедвик наблюдал в камере Вильсона треки ядер азота, испытавших столкновение с бериллиевым излучением. По его оценке, энергия у-квантов, способных сообщать ядрам азота скорость, которая обнаруживалась в этих наблюдениях, должна была составлять 90 МэВ. Аналогичные же наблюдения в камере Вильсона треков ядер аргона привели к выводу, что энергия этих гипотетических у-квантов должна составлять 150 МэВ. Таким образом, считая, что ядра приходят в движение в результате столкновения с безмассовыми частицами, исследователи пришли к явному противоречию: одни и те же у-кванты обладали различной энергией.

Стало очевидным, что предположение об излучении бериллием у-квантов, т. е. безмассовых частиц, несостоятельно. Из бериллия под действием а-частиц вылетают какие-то достаточно тяжёлые частицы. Ведь только при столкновении с тяжёлыми частицами протоны или ядра азота и аргона могли получить ту большую энергию, которая наблюдалась на опыте. Поскольку эти частицы обладали большой проникающей способностью и непосредственно не ионизировали газ, то, следовательно, они были электрически нейтральными. Ведь заряженная частица сильно взаимодействует с веществом и поэтому быстро теряет свою энергию.

Было установлено в итоге, что при попадании а-частиц в ядра бериллия происходит следующая реакция.

Так была открыта одна из основных частиц, составляющих ядро, — нейтрон.

Ядерные реакции. Атомные ядра, как мы знаем, при взаимодействиях испытывают превращения. Эти превращения сопровождаются увеличением или уменьшением кинетической энергии участвующих в них частиц.

Ядерные реакции — это превращения атомных ядер при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом.

Приведённый выше процесс (12.8) превращения бериллия в углерод является ядерной реакцией.

Ядерные реакции происходят, когда частицы вплотную приближаются к ядру и попадают в сферу действия ядерных сил. Одноимённо заряженные частицы отталкиваются друг от друга. Поэтому сближение положительно заряженных частиц с ядрами (или ядер друг с другом) возможно, если этим частицам (или ядрам) сообщена достаточно большая кинетическая энергия. Эта энергия сообщается протонам, ядрам дейтерия — дейтронам, а-частицам и другим более тяжёлым ядрам с помощью ускорителей.

Для осуществления ядерных реакций такой метод гораздо эффективнее, чем использование ядер гелия, испускаемых радиоактивными элементами. Во-первых, с помощью ускорителей частицам может быть сообщена энергия порядка 105 МэВ, т. е. гораздо большая той, которую имеют а-частицы (максимально 9 МэВ). Во-вторых, можно использовать протоны, которые в процессе радиоактивного распада не появляются (это целесообразно потому, что заряд протонов вдвое меньше заряда а-частиц, и поэтому действующая на них сила отталкивания со стороны ядер тоже в 2 раза меньше). В-третьих, можно ускорить ядра более тяжёлые, чем ядра гелия.

Первая ядерная реакция на быстрых протонах была осуществлена в 1932 г. Удалось расщепить литий на две а-частицы:

Как видно из фотографии треков (рис. 12.12), ядра гелия разлетаются в разные стороны вдоль одной прямой согласно закону сохранения импульса (импульс протона много меньше импульса возникающих а-частиц; на фотографии треки протонов не видны).

Энергетический выход ядерных реакций. В описанной выше ядерной реакции кинетическая энергия двух образующихся ядер гелия оказалась больше кинетической энергии вступившего в реакцию протона на 7,3 МэВ. Превращение ядер сопровождается изменением их внутренней энергии (энергия связи). В рассмотренной реакции удельная энергия связи в ядрах гелия больше удельной энергии связи в ядре лития. Поэтому часть внутренней энергии ядра лития превращается в кинетическую энергию разлетающихся а-частиц.

Изменение энергии связи ядер означает, что суммарная энергия покоя участвующих в реакциях ядер и частиц не остаётся неизменной. Ведь энергия покоя ядра Мяс2 согласно формуле (12.5) непосредственно выражается через энергию связи. В соответствии с законом сохранения энергии изменение кинетической энергии в процессе ядерной реакции равно изменению энергии покоя участвующих в реакции ядер и частиц.

Энергетическим выходом ядерной реакции называется разность энергий покоя ядер и частиц до реакции и после реакции, а также разность кинетических энергий частиц, участвующих в реакции.

Если суммарная кинетическая энергия ядер и частиц после реакции больше, чем до реакции, то говорят о выделении энергии. В противном случае реакция идёт с поглощением энергии. Именно такая реакция происходит при бомбардировке азота а-частицами. Часть кинетической энергии (примерно 1,2 106 эВ) переходит в процессе этой реакции во внутреннюю энергию вновь образовавшегося ядра.

Выделяющаяся при ядерных реакциях энергия может быть огромной. Но использовать её при столкновениях ускоренных частиц (или ядер) с неподвижными ядрами мишени практически нельзя. Ведь большая часть ускоренных частиц пролетает мимо ядер мишени, не вызывая реакцию.

Ядерные реакции на нейтронах. Открытие нейтрона было поворотным пунктом в исследовании ядерных реакций. Так как нейтроны не имеют заряда, то они беспрепятственно проникают в атомные ядра и вызывают их изменения. Например, наблюдается следующая реакция:

Великий итальянский физик Энрико Ферми первым начал изучать реакции, вызываемые нейтронами. Он обнаружил, что ядерные превращения обусловлены не только быстрыми, но и медленными нейтронами. Причём эти медленные нейтроны оказываются в большинстве случаев даже гораздо более эффективными, чем быстрые. Поэтому быстрые нейтроны целесообразно предварительно замедлять. Замедление нейтронов до тепловых скоростей происходит в обыкновенной воде. Этот эффект объясняется тем, что в воде содержится большое число ядер водорода — протонов, масса которых почти равна массе нейтронов. Следовательно, нейтроны после соударений движутся со скоростью теплового движения. При центральном соударении нейтрона с покоящимся протоном он целиком передаёт протону свою кинетическую энергию.