

§ 68. Использование радиоактивных продуктов деления. Меченые атомы

При реакциях деления тяжелых ядер образуются ядра среднего атомного веса с массовыми числами A примерно от 75 до 162. Как правило, ядро делится на две неравные части. Распределение

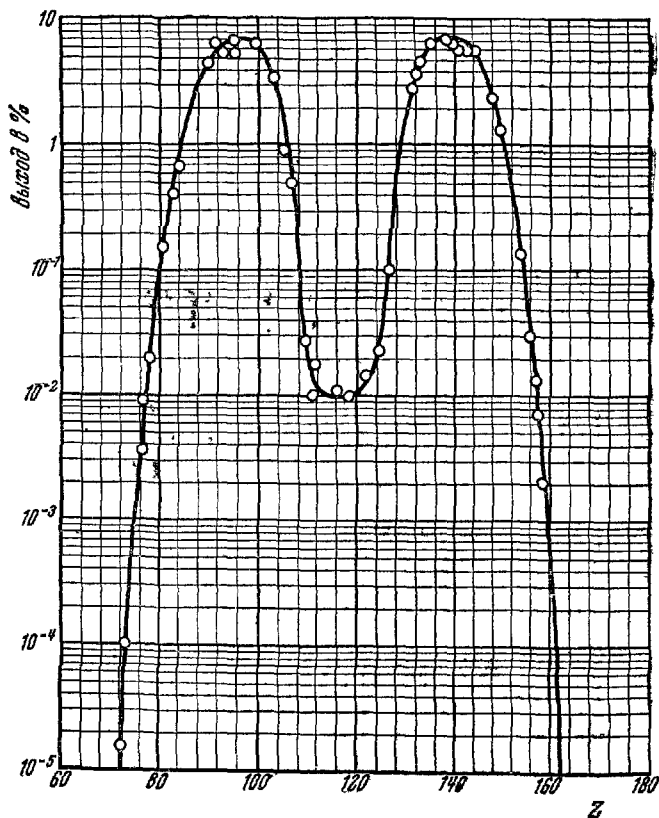


Рис. 3.25.

продуктов деления по массовым числам приведено на рис. 3.25 в логарифмическом масштабе.

Примерно в той же пропорции между осколками делится и заряд исходного ядра Z . На рис. 3.18 было показано, что с уменьшением A относительное содержание нейтронов в устойчивых ядрах убывает. В осколках же деления $\frac{A}{Z}$ примерно то же, что и в исходном

тяжелом ядре. Поэтому, как правило, осколочные ядра оказываются пересыщенными нейтронами и претерпевают цепочку последовательных β^- -распадов.

В результате этого в ядерном реакторе накапливаются искусственно полученные радиоактивные изотопы с различными периодами полураспада, многие из которых испускают γ -лучи. Интенсивные потоки нейтронов и γ -лучей, выходящие из реакторов, требуют биологической защиты последних метровыми толщами

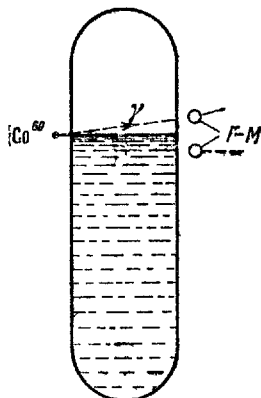
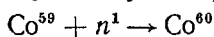


Рис. 3.26.

бетона. При растворении частично обработавших урановых стержней, для извлечения из них образовавшегося плутония, извлекается и весь этот накопившийся в горючем радиоактивный «шлак». Некоторые из получающихся радиоактивных изотопов выделяются химически и находят широкое применение в науке, медицине, технике и сельском хозяйстве. Основную же массу радиоактивных шлаков приходится, к сожалению, до сих пор «хоронить» в специальных хранилищах, пока они практически не распадутся и не станут безопасными.

Для получения индивидуальных радиоактивных изотопов в ядерный реактор на определенное время вводят соответствующие нерадиоактивные вещества, способные поглощать нейтроны. Так, например, облучая в реакторе Co^{59} , получают по ре-



акции радиоактивный изотоп кобальта Co^{60} , широко используемый в технике и медицине.

Приведем некоторые примеры использования радиоактивных изотопов, получаемых такими методами.

Ряд изотопов, например Cs^{137} и Co^{60} , дает проникающее γ -излучение, нашедшее широкое применение в технике, медицине, сельском хозяйстве. Это излучение позволяет просвечивать, с целью обнаружения дефектов, металлические детали толщиной в несколько сантиметров. Таким методом, с помощью специальной аппаратуры, исследуется качество литых деталей, сварных швов и т. д. Эти же изотопы используются для определения уровня жидкости в закрытых сосудах (схема работы понятна из рис. 3.26). При постройке гидростанции значительная часть огромных по объему земляных работ проводится с помощью земснарядов, перекачивающих грунт вместе с водой — «пульпу» — на значительные расстояния. Эффективность работы земснаряда определяется в зна-

чительной мерс содержанием грунта в пульпе. Непрерывный контроль этой величины в процессе работы земснаряда осуществляется по измерению степени поглощения γ -лучей тех же препаратов, проходящих сквозь трубу и поглощающихся тем сильнее, чем больше грунта содержит пульпа.

Аналогичным путем можно непрерывно контролировать толщину изделий при прокате. В случае достаточно тонких изделий источники γ -лучей должны быть заменены β^- -и з л у ч а т е л я м и.

Добавление небольшого количества атомов радиоактивного изотопа к перадиоактивным изотопам того же самого элемента составляет основу метода «меченых атомов». Во всех дальнейших физических и химических процессах меченые атомы движутся вместе с немечеными и позволяют по своему излучению следить за движением данного элемента.

Вводя меченые атомы в детали машин, можно измерять и контролировать износ последних в процессе работы по радиоактивности смазочного масла, омывающего деталь. С помощью меченых атомов можно проследить движение грунтовых вод и обнаружить протечки заглубленных трубопроводов. Вводя радиоактивный препарат в типографскую краску, можно непрерывно и точно контролировать качество печати — толщину слоя краски, лежащейся на бумагу, и т. д.

Все расширяющееся применение меченых атомов в технике заставляет с осторожностью подходить к каждому новому его использованию, принимая все необходимые предосторожности для предотвращения вредных воздействий применяемых излучений на организм работников.

В ряде химических и биологических процессов участвует множество различных сложных соединений, содержащих в тех или иных количествах одни и те же элементы. В силу тождественности атомов одного и того же элемента невозможно было проследить их путь при сложной цепочке реакций. В особенности это относилось к живым организмам, в которых проследить за реакциями было невозможно, не нарушая их жизнедеятельности и, тем самым, не меняя характера самих реакций.

Использование атомов, обладающих радиоактивностью, позволяет непрерывно следить за ними. При этом достаточна столь малая радиоактивность, т. е. число радиоактивных ядер среди стабильных той же природы так мало, что их излучение практически не влияет на ход изучаемых процессов.

В настоящее время в сельском хозяйстве все шире применяются высокоэффективные гранулированные удобрения. Для их исследования был использован радиоактивный P^{32} (β^- -с энергией: 1,712 Мэв при периоде полураспада 14,3 дня). Оказалось, что фосфор обнаруживается в листьях уже через 15—20 мин.(!) после

встречи корешка с удобрением. Совершенно очевидно, что только присутствие в фосфоре удобрения ничтожных долей P^{32} позволило определить эту удивительную величину. Обычное химическое исследование листьев на фосфор не показало бы ничего, так как нет возможности (в обычном случае) отличить фосфор, бывший уже ранее в листьях, от того, который поступил из удобрения. Далее выяснилось, что в случае, например, овса наличие гранул в 3—4 см под высеваемыми семенами приводит к встрече корешков с удобрением через 3—4 дня. Отклонение гранул в сторону на 5—6 мм удлиняет этот срок на 3—4 недели. Выяснилось, что роль отдельных корешков различна, в зависимости от того, как богата необходимыми веществами окружающая среда. При наличии нужных веществ поглощающая способность корешка возрастает в 20—30 раз.

Методом меченых атомов была установлена эффективность внекорневой подкормки растений (опылением листьев) — метод, ныне все шире применяемый на свекловичных и хлопковых полях.

С помощью радиоактивного изотопа углерода C^{14} (β^- с энергией 0,154 Мэв, $T=5100$ лет) была установлена совершенно новая функция корней — поглощение ими углекислоты из почвы. Далее удалось установить, что корни являются не просто органами, всасывающими воду и питательные вещества из почвы. Целый ряд сложных органических веществ, образующихся в листьях, возвращается в корневую систему, где и происходит синтез ряда аминокислот. Было установлено, что передвижение соков от корней к листьям происходит со скоростью в несколько десятков сантиметров, а иногда и нескольких метров в час.

В биологии с помощью меченых атомов удалось установить весьма быстрое обновление составных частей всех тканей и органов. Так, за 3 месяца в теле человека обновляется 50% всех белков. Неожиданно быстрым оказался обмен веществ в костях. У кролика после введения радиоактивного фосфора обменялось с ним 0,18% неорганического фосфора кости через 2 часа. Еще быстрее проникает в кости кальций.

С помощью меченых атомов удается установить скорость диффузии атомов в твердых телах, скорость расстворения слабо растворимых веществ и т. д. Весьма широко применяются меченые атомы в аналитической химии.

Методика обнаружения радиоактивности очень проста — чаще всего обнаружение и определение интенсивности излучения, а следовательно, и содержания исследуемого элемента производится с помощью счетчиков Гейгера. К сожалению, использование радиоактивных меченых атомов не всегда возможно. Так, например, среди элементов, представляющих очень часто огромный интерес, могут оказаться такие, у которых нет подходящих радиоактивных изотопов. К таким элементам относится, например, кислород. Все

его радиоактивные изотопы обладают столь малыми периодами полураспада ($O^{15}-\beta^+$, $T=2$ мин. 3,95 сек.; $O^{14}-\beta^+$, $T=1$ мин. 16,5 сек.; $O^{19}-\beta^-$, $T=29,4$ сек.), что работать с ними практически невозможно. В этом случае в качестве меченых атомов используются стабильные изотопы. В природной смеси изотопов O^{16} содержится в количестве 99,759%, O^{17} в количестве 0,037% и $O^{18}-0,204\%$. Обогащая кислород т я жел ы м и и з о т о п а м и, можно в дальнейшем по их относительной концентрации судить о путях следования изучаемого вещества.

Не так давно полагали, что, поглощая углекислоту, растения ассимилируют углерод, а кислород возвращают в атмосферу. С помощью меченого кислорода было установлено, что все атомы, входящие в молекулу CO_2 , ассимилируются растением. В атмосферу же выделяется кислород, полученный растениями из впитываемой корнями воды.

По тем же причинам, что и для кислорода, почти невозможно пользоваться радиоактивным азотом. Для исследования этого важного в живых организмах элемента использовали метод обогащения изотопом N^{15} , содержащимся в природном азоте в количестве 0,365%.

Методика применения стабильных изотопов сложнее, чем радиоактивных. Для определения их относительного содержания необходимо иметь специальные масс-спектрографы. Правда, в этом случае целью является не определение масс изотопов с большой точностью, но лишь нахождение их относительного содержания. Приборы, предназначенные для этого, много проще и дешевле.

В медицине пользуются избирательным биологическим действием ряда элементов. Так, например, иод после введения в организм концентрируется почти полностью и сравнительно быстро в щитовидной железе. Поэтому предпринимаются попытки лечить рак щитовидной железы при помощи I^{131} (β^- , $T=8,0$ дня, энергия 0,595 Мэв). Лечение производится «на месте», без попутного повреждения здоровых тканей. Этот же изотоп помогает в диагностике зоба.

Мы ограничим этими, к сожалению отрывочными, примерами перечень все растущего и в наши дни уже огромного круга применений радиоактивных излучений и меченых атомов в науке и народном хозяйстве.

§ 69. Термоядерные реакции

Термоядерные реакции — реакции синтеза атомных ядер, текущие при высоких температурах, — играют огромную роль в жизни вселенной, являясь основным источником энергии звезд. Большой интерес представляет и возможность реализации управляемых