

## § 17. НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПОВ

**Использование изотопных индикаторов (меченых атомов).** Изотопные индикаторы — вещества, в которых какой-либо химический элемент имеет отличный от природного изотопный состав и которые применяются для маркировки атомов, молекул и других объектов. Химические свойства изотопов данного элемента одинаковы, благодаря чему введение меченых атомов не влияет на протекание физических, химических и биологических процессов. Присутствие радиоактивных изотопов обнаруживается по их радиоактивности. Такая маркировка позволяет, проследивая перемещение радиоактивности, изучать количество меченого объекта — изотопа данного элемента в средах, в которых содержатся те же элементы, но другого изотопического состава. Например, нанесение железа, содержащего его радиоактивный изотоп  $\text{Fe}_{26}^{59}$ , на обыкновенное железо позволяет по распространению активности изучать диффузию железа в железе.

Вводя в почву суперфосфатное удобрение, содержащее радиоактивный изотоп фосфора  $\text{P}_{15}^{32}$ , можно следить за усвоением растением фосфора из удобрения.

С помощью меченых атомов удается проследить обмен веществ в организме, установить время, за которое введенные в организм атомы достигают различных органов, определить степень усвояемости продуктов питания, измерять объем крови в живом организме и т. д.

Следующие расчеты дадут представление о чувствительности методов исследования с применением радиоактивных изотопов. Согласно уравнению (41) скорость распада радиоактивного элемента  $\lambda N = \frac{0,693N}{T}$ , и если  $T$  выражено в секундах, уравнение даст количество частиц, испускаемых  $N$  атомами данного изотопа в течение 1 сек.

В принципе счетчик  $\alpha$ -частиц (см. § 27) может зарегистрировать каждую частицу, но из-за наличия фона (от космических лучей и радиоактивности атмосферы, стен и т. п.) точные измерения следует производить при скорости счета, большей, чем дает фон. Минимально допустимая скорость счета обычно составляет 20 отсчетов в минуту; предположим также, что в счетчик попадает около 10% частиц, испускаемых источником; тогда количество радиоактивного материала, испускающего примерно 200 частиц в минуту (4 в секунду), является наименьшим, с которым могут быть проведены удовлетворительные измерения. Полученное из уравнения значение  $N$ , равное

$$N = \frac{4T}{0,693} \approx 6 \cdot T \text{ атомов,}$$

даст, грубо говоря, минимальное количество радиоактивных атомов, имеющих период полураспада  $T$  сек, которое может быть обнаружено.

Чтобы перевести это число в граммы, надо умножить его на массовое число  $A$  и разделить на число Авогадро ( $6 \cdot 10^{23}$ ). Тогда минимальный вес радиоактивного вещества, при котором его можно обнаружить, приблизительно дается выражением: миним. вес =  $10^{-23} T \cdot A$  г.

О порядке величины, который он имеет, можно получить представление на примере для двух изотопов: углерода-14 и фосфора-32.

Для  $\text{C}_6^{14}$   $T = 5600 \text{ лет} = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ сек}$ ,  $A = 14$ . Минимальный вес близок к  $2 \cdot 10^{-11}$  г.

Для  $\text{P}_{15}^{32}$   $T = 14,3 \text{ дня} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ сек}$ ,  $A = 32$ . Минимальный вес равен примерно  $4 \cdot 10^{-16}$  г.

Такие ничтожно малые количества радиоактивного индикатора нельзя заметить при других методах наблюдения.

**Определение возраста минералов при помощи изотопов.** После того как было доказано, что конечными продуктами естественных радиоактивных семейств являются различные изотопы свинца, стали определять возраст урановых минералов по относительному содержанию в них свинца и урана.

Допустим, что в момент образования минерала в нем содержалось  $N_0$  ядер  $U_{92}^{238}$ . Через время  $t$ , равное возрасту минерала, в нем останется  $N_t$  ядер урана. Следовательно,  $(N_0 - N_t)$  ядер урана в результате последовательных распадов превратилось в  $(N_0 - N_t)$  ядер стабильного изотопа свинца  $Pb_{92}^{206}$ , который должен присутствовать в минерале<sup>1</sup>. Напишем для этого случая уравнение распада (38):

$$U^{238} = (U^{238} + Pb^{206}) e^{-\lambda t},$$

где  $U^{238}$  и  $Pb^{206}$  обозначают количества соответствующих изотопов, находящихся в куске минерала в данный момент. Эти величины можно определить экспериментально;  $\lambda$  — постоянная распада  $U^{238}$  известна; отсюда можно найти возраст минерала. Самый старый из известных урановых минералов имеет возраст  $4,5 \cdot 10^9$  лет.

Возраст минерала, содержащего рубидий, можно определить, используя тот факт, что естественный  $Rb^{87}$  подвергается  $\beta$ -распаду и образует  $Sr^{87}$ . Таким образом,

$$Rb^{87} = (Rb^{87} + Sr^{87}) e^{-\lambda t},$$

где  $\lambda$  — постоянная распада  $Rb^{87}$ . Возраст самого старого рубидиевого минерала был оценен примерно в  $3,4 \cdot 10^9$  лет.

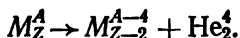
Для объектов меньшего возраста ценным оказался метод с применением радиоактивного углерода ( $C^{14}$ ) с периодом полураспада 5568 лет. Этот изотоп углерода непрерывно образуется в верхних слоях атмосферы под действием космических лучей и распределяется затем в растительных и животных организмах.

Погибшие растения не поглощают углерод и поэтому его количество в них непрерывно уменьшается за счет распада. Сравнив содержание  $C^{14}$  в живых и неживых образцах, можно вычислить время, прошедшее со времени их гибели.

Можно привести множество других примеров, показывающих, насколько широкое применение в различных областях науки и техники нашли изотопные методы исследования — от фотосинтеза до лечения заболеваний крови, от изучения усвоения фосфора растениями до определения температур морей в отдаленные геологические эпохи.

## § 18. АЛЬФА-РАСПАД

**Основные характеристики  $\alpha$ -распада.** Явление  $\alpha$ -распада состоит в том, что ядро самопроизвольно испускает  $\alpha$ -частицу и превращается в другое ядро с массовым числом, на 4 единицы меньшим, и с атомным номером, меньшим на 2 единицы:



Ранее (§ 4) было показано, что ядро может самопроизвольно разделиться на две части, если энергия его связи  $\Delta E$  относительно этих составных частей отрицательна. Или, другими словами, масса исходного ядра больше суммы масс образующихся ядер. Таким образом, энергетическое условие возможности самопроизвольного  $\alpha$ -распада записывается в виде

<sup>1</sup> При этом учитывается, что периоды полураспада всех элементов между  $U$  и  $Pb$  гораздо меньше, чем  $T_{U^{238}}$ .