

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ИЗОТОПИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
В ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Многие экспериментальные результаты ядерной физики содержат в себе неопределённость, обусловленную сложностью изотопического состава элементов. Например, результат измерения резонансного поглощения нейтронов каким-либо элементом обычно даётся в виде поперечного сечения захвата нейтронов, рассчитанного из общего количества всех атомов этого элемента в поглотителе. Более интересной цифрой было бы истинное сечение захвата, т. е. сечение, относящееся к атомам только этого изотопа, который ответственен за данное резонансное поглощение. Однако в большинстве случаев на вопрос о том, какой именно изотоп элемента обладает рассматриваемым резонансным уровнем, нельзя было дать определённого ответа, так как применявшиеся косвенные методы изотопической идентификации имели ограниченную область применения.

Другая обширная группа экспериментальных результатов, оставшихся неопределёнными, относится к изучению искусственной радиоактивности. В таблице искусственно-радиоактивных изотопов (см., например, таблицу Сиборга¹⁾) до настоящего времени остаётся весьма большое число случаев, когда найденная на опыте активность не приписана какому-либо определённому ядру, так как косвенные методы не позволили сделать это однозначно.

В последнее время вопросы изотопической идентификации успешно решаются прямыми методами. Их применение стало возможным благодаря новому уровню технических средств ядерной физики. Появление новых мощных источников нейтронов в виде котлов с цепной реакцией в сотни раз повысило нейтронную интенсивность, имеющуюся в распоряжении экспериментатора, а развитие техники разделения изотопов позволило ставить эксперименты с весовыми количествами вещества, состоящего целиком или почти целиком из одного изотопа.

Можно указать несколько разновидностей прямого метода изотопической идентификации. Для определения массового числа изотопа, ответственного за сильное поглощение нейтронов, были использованы следующие методы.

1) Исследуемое вещество с естественным изотопическим составом подвергается длительному облучению мощным потоком нейтронов. При достаточно большом сечении захвата нейтронов и достаточной интенсивности их потока в образце происходит настолько большое изменение изотопического состава (в результате превращения одних изотопов в другие при захвате нейтронов), что оно легко может быть обнаружено обычным масс-спектрографическим путём. Анализ происшедшего изменения позволяет сделать вывод о том, какие именно изотопы данного элемента сильно поглощают нейтроны.

Этот метод был применён, в частности, к кадмию². Для исследования в масс-спектрографе был взят только поверхностный слой пластинки кадмия, обращённый к источнику нейтронов, так как только в этом слое и происходит сильное поглощение нейтронов и, следовательно, изменение изотопического состава образца здесь будет наибольшим. В масс-спектрограмме облучённого образца оказалась почти невидимой линия $M = 113$, а линия $M = 114$ была гуще, чем в спектрограмме необлучённого образца кадмия. В остальных спектры масс облучённого и необлучённого образцов кадмия практически не отличались.

Фотометрическое определение процентного содержания указанных изотопов в облучённом и необлучённом образце кадмия дало следующие цифры: в необлучённом кадмии содержание Cd^{113} составляет 12,5%, $Cd^{114} - 28\%$, в облучённом образце $Cd^{113} 1,6 \pm 0,2\%$, $Cd^{114} - 39,5 \pm 1,5\%$. Таким образом, в пределах точности измерений увеличение содержания Cd^{114} равно уменьшению содержания Cd^{113} . Эти измерения показывают однозначно, что изотопом, ответственным за сильное поглощение медленных нейтронов кадмием, является Cd^{113} [реакция $Cd^{113} (n, \gamma) Cd^{114}$].

Следует заметить, что в данном случае продуктом реакции является стабильный изотоп кадмия, и поэтому идентификация с помощью радиоактивных методов здесь невозможна.

Тем же методом³ было установлено, что сильное поглощение медленных нейтронов самарием обязано изотопу Sm^{149} , а поглощение нейтронов гадолинием — изотопам Gd^{155} и Gd^{157} , причём сечение захвата медленных нейтронов ядром Gd^{157} приблизительно в 3,5 раза больше сечения для ядра Gd^{155} .

2) С помощью какой-либо установки для разделения изотопов изготавливаются образцы элемента с очень высоким содержанием одного из его изотопов, разного в разных образцах. Затем производится сравнительное измерение сечений резонансного захвата нейтронов для нескольких образцов, из которых один — нормальный, а остальные — обогащённые. Результат позволяет указать массовое число изотопа, ответственного за сильное поглощение нейтронов с определённой энергией.

Этот метод был также применён к кадмию⁴. Обогащённые образцы были получены с помощью масс-спектрографа. Всего было изготовлено семь обогащённых образцов, из которых один имел большое процентное содержание Cd^{113} (порядка 70—80%), второй — Cd^{106} , третий — Cd^{108} и т. д. Измерение поглощения медленных нейтронов в этих образцах показало, что для образца, обогащённого изотопом Cd^{113} , сечение поглощения в 6 раз больше, чем для кадмия с нормальным изотопическим составом, тогда как для всех остальных обогащённых образцов сечения оказались гораздо меньшими, чем для нормального кадмия. Эти результаты показывают, что большое сечение захвата медленных нейтронов кадмием следует приписать изотопу Cd^{113} и что все остальные изотопы кадмия обладают несравненно меньшими сечениями захвата нейтронов.

Для определения массового числа носителя той или иной активности были использованы следующие методы.

1) При помощи интенсивного облучения нейтронами в образце создаётся возможно большее количество искусственно-радиоактивных ядер данного сорта. Затем в масс-спектрографе производится разделение образца на изотопы, и каждая линия полученного спектра масс изучается с помощью счётчика Гейгера-Мюллера или каким-либо иным способом. При этом в качестве основного опознавательного параметра данного искусственно, радиоактивного ядра измеряется период полураспада. Таким образом, получается непосредственное приписание каждого периода ядру с определённым массовым числом.

Этот метод не нов⁵, но лишь в последнее время появились возможности широкого пользования им.

Одна из групп физиков, осуществляющих обширную программу изотопической идентификации в области искусственной радиоактивности и в области продуктов деления урана, пользуется специально сконструированным светосильным масс-спектрографом⁶. На регистрирующей пластинке прибора собирается до $1/40$ всех образующихся в ионном источнике ионов. Конструкция самого источника отличается достигнутым высоким выходом ионов (например, в случае лантана ионизировалось до 16% всех атомов).

Положение линий радиоактивных изотопов на пластинке спектрографа часто определяется с помощью метода ауторадиографии, который состоит в следующем. На экспонированную в масс-спектрографе фотопластинку до её проявления накладывается вторая пластинка так, чтобы свои эмульсии соприкасались друг с другом; в этом положении пластинки выдерживаются определенное время. После этого следует стандартный процесс проявления обеих пластинок. На первой пластинке получается весь наличный спектр масс, а на второй — только те линии, которые соответствуют β -радиоактивным изотопам. Для суждения о периоде полураспада каждого из активных изотопов изготавливается несколько ауторадиографий с разной выдержкой времени, и после проявления фотометрически сравнивается плотность почернения соответствующих линий. Указанным способом было сделано большое число приписаний радиоактивных периодов определённым ядрам⁷. Следует особо отметить изотопическое приписание периодов продуктам деления урана⁶. В этом случае косвенные методы изотопической идентификации (например, «метод перекрестных бомбардировок») неприменимы, так как ядра, которые получаются при делении урана, в большинстве случаев нет возможности получить в ядерных реакциях обычного типа.

2) Изготавливается ряд образцов, каждый из которых сильно обогащён одним из изотопов данного элемента, разным для разных образцов. Изотопический состав каждого образца определяется в масс-спектрографе. Далее все образцы, а также необогащённый образец, подвергаются одинаковому облучению, после чего сравниваются активности исследуемого периода, возникшие в этих образцах. Это позволяет сделать вывод о массовом числе изотопа, которому нужно приписать данную активность.

В качестве примера рассмотрим приписание массового числа изотопу Cd (6,7 часа). Косвенные методы приписания показывают, что носителем этой активности может быть либо Cd^{107} , либо Cd^{109} . Для получения однозначного приписания были изготовлены два образца⁶ весом каждый приблизительно по 100 мг, из которых один был обогащён изотопом Cd^{106} , а другой — Cd^{108} . Масс-спектрографический анализ показал, что первый содержит 58,3% Cd^{106} и 0,6% Cd^{108} , а второй — 0,7% Cd^{106} и 45,4% Cd^{108} . Относительное содержание остальных изотопов примерно соответствовало нормальному составу кадмия.

Образцы были подвергнуты облучению дейтонами в циклотроне в течение нескольких часов. Образец, обогащённый Cd^{106} , дал большую активность с периодом в 6,7 часа, тогда как в образце, обогащённом Cd^{108} , этого периода не оказалось. Отсюда следует, что активность с периодом в 6,7 часа принадлежит Cd^{107} , который образуется в данном случае в реакции $Cd^{106}(d, p)$.

Второй пример — приписание массового числа изотопу Co (1,75 часа). С помощью калотрона (электромагнитная установка для разделения изотопов) были изготовлены два образца никеля⁹, обогащённых соответственно изотопами Ni^{61} и Ni^{62} . После облучения образцов быстрыми нейтронами от циклотрона оказалось, что в образце с Ni^{61} активность с периодом в 1,75 часа — одна из наиболее сильных. Химически было показано, что эта активность относится к кобальту. Таким образом, изотопом Co (1,75 часа) является Co^{61} , который в данном случае возникает в реакции $Ni^{61}(n, p)$. Это заключение было проверено следующим образом. Было показано, что после облучения чистой меди быстрыми нейтронами в химическом сепарате

кобальта наблюдается активность с периодом 1,75 часа. Тогда облучённый быстрыми нейтронами образец меди был с помощью калюотрона разделён на изотопы, и активность с периодом 1,75 часа оказалась собранной в линии, соответствующей массовому числу 61. Следовательно, Co (1,75 часа) является Co^{61} , причём здесь он образуется в реакции $Si^{65}(n, \alpha)Co^{61}$.

Этот пример показывает, что прямой метод изотопической идентификации ценен также тем, что он позволяет с определённой установкой тип реакции, имевшей место в том или ином случае, что без этого способа могло бы оказаться весьма затруднительным.

А. П. Гринберг

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Т. Сиборг, УФН, **28**, 145 (1946).
2. A. J. Dempster, Phys. Rev., **71**, 829 (1947).
3. R. E. Lapp, J. R. Van Horn a. A. J. Dempster, Phys. Rev., **71**, 745 (1947).
4. B. J. Moyer, B. Peters a. F. N. Schmidt, Phys. Rev., **69**, 666 (1946).
5. Библиографию см., например, А. П. Гринберг, Природа **1**, стр. 59 (1943). См. также W. M. Schwarz a. M. L. Pool, Phys. Rev., **64**, 43 (A6) (1943).
6. L. G. Lewis a. R. J. Hayden, Phys. Rev. **70**, 111 (R 3, R 4) (1946); W. Rall, Phys. Rev., **70** 112 (R 8), (1946).
7. M. G. Inghram a. R. J. Hayden, Phys. Rev., **70**, 130 (1947); M. G. Inghram, R. J. Hayden a. D. C. Hess, Phys. Rev., **71**, 270 (1947) и др.
8. A. C. Helmholtz, Phys. Rev., **70**, 982 (1946).
9. T. J. Parmly a. B. J. Moyer, Phys. Rev., **72**, 82 (1947).