

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СЕЧЕНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРОНОВ

По предложению Вигнера рядом исследователей теоретически разработан¹ и практически осуществлён² метод измерения эффективных сечений поглощения нейтронов с помощью так называемого «котлового осциллятора». Метод основан на том, что при периодическом перемещении поглотителя в нейтронном потоке результирующая величина полного нейтронного потока, а также величина нейтронного потока в каждой точке испытывает периодическое изменение. В силу линейности уравнений для нейтронного потока в котле, амплитуда получающихся колебаний нейтронного потока пропорциональна величине поглощения в исследуемом образце. Поэтому, сравнивая действие исследуемого поглотителя с действием известного поглотителя, можно измерить величину поглощения в первом.

Следует различать две разновидности этого метода. Перемещение поглотителя в котле, находящемся в среднем при критических условиях, приводит к тому, что в течение части периода перемещения условия оказываются ниже критических (выход нейтронов уменьшается), а в течение другой части — выше критических (выход нейтронов растёт). Иными словами, перемещение поглотителя вызывает соответствующее изменение коэффициента размножения нейтронов в котле. Коэффициент размножения определяет собою скорость нарастания интенсивности нейтронного потока, поэтому сам нейтронный поток, исходящий из котла, отличается по фазе от смещения поглотителя на 90° и амплитуда его колебаний пропорциональна величине поглощения. Вейнберг и Швейнлер¹ рассчитали колебания нейтронного потока в любой точке котла при периодическом перемещении поглотителя. В частности, для величины колебаний полного нейтронного потока из котла или, что то же самое, для колебаний потока в точках, достаточно удалённых от поглотителя, их расчёты подтвердили, что при достаточно малой частоте колебаний амплитуда колебаний потока пропорциональна величине поглощения в образце, а фаза отличается на 90° от фазы перемещения поглотителя. Таким образом, при достаточно медленных колебаниях (времена запаздывания нейтронов должны быть много меньше периода колебания образца) интенсивность нейтронного потока колеблется как целое, синхронно в каждой точке (кроме области, близкой к поглотителю). Эти колебания полной интенсивности нейтронного потока в котле использованы для измерения эффективных сечений поглощения нейтронов в экспериментах Лангсдорфа³.

В другой разновидности описываемого метода используются локальные колебания интенсивности вблизи поглотителя. Расчёт и опыт показывают, что использование локальных колебаний нейтронного потока делает метод более чувствительным, позволяя поместить детектор вблизи поглотителя, где его влияние сильнее. Правда, картина локальных колебаний

значительно сложнее, чем рассмотренные выше колебания полной интенсивности нейтронного потока. Вблизи котлового осциллятора (колеблющегося поглотителя) сильны распространяющиеся от осциллятора затухающие нейтронные волны, аналогичные известным термическим волнам в методе измерения теплопроводности Ангстрема. Однако характерное свойство этих колебаний интенсивности нейтронного потока — их пропорцио-

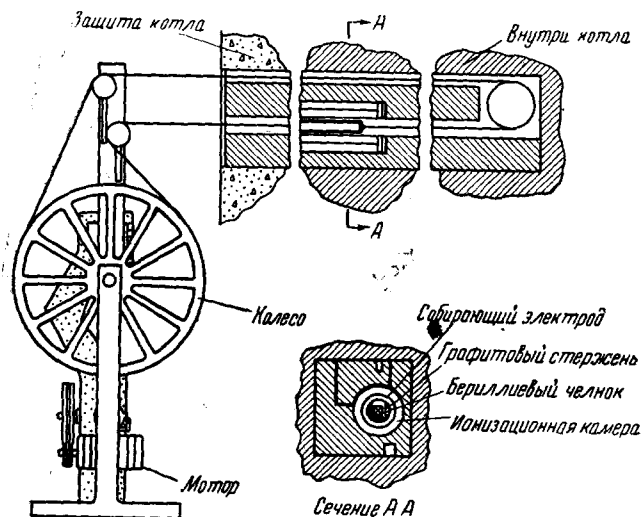


Рис. 1.

нальность поглощению в образце — остаётся верным и здесь, что позволяет использовать этот метод для быстрого и точного измерения эффективных сечений.

К преимуществам метода котлового осциллятора следует отнести то, что он даёт результат, усреднённый по большому числу периодов колебаний, исключая при этом влияние случайных отклонений; кроме того, получающийся переменный ток допускает лёгкое усиление.

В статье Гувера и др.² даётся подробное описание последнего метода, применявшегося в Окридже для систематического измерения эффективных сечений различных изотопов.

Механическая часть котлового осциллятора показана на рис. 1. Мотор качает простое маховое колесо диаметром 75 см. Одетый на колесо приводной ремень связан с помощью системы блоков с прямоугольным бериллиевым челноком, имеющим полость размером $10 \times 10 \times 60$ мм. В эту полость помещается исследуемый образец. Колебания челнока с образцом имеют частоту около 1 колебания в секунду и размах 80 см.

Нейтронный поток измерялся с помощью ионизационных камер двух различных типов. Первый тип камеры — алюминиевый цилиндр длиной 25 см и диаметром 2,5 см, покрытый изнутри обогащённым бором (2 мг/см^2). Ось этой камеры была расположена параллельно оси челнока прямо под ним на расстоянии 1 см. Камера второго типа, оказавшаяся более пригодной, показана на рис. 1. Активный объём ограничен в ней двумя алюминиевыми цилиндрами длиной 28 см, с диаметром 2,2 и 5,0 см. Собирающий электрод камеры, изолированный от остальной камеры полистиролом, имел длину 25 см и диаметр 3,8 см. Он был покрыт с обеих сторон обогащён-

ным бором (1 мг/см^2). По оси камеры был расположен графитовый стержень, внутри которого находился челнок с испытываемым образцом. Графитовый стержень служил для уменьшения влияния рассеяния потока нейтронов, проникающего через челночный канал.

Импульс напряжения от ионизационной камеры измерялся резонансным гальванометром или же интегратором. Последний метод оказался более удобным. Схема усилителя и интегратора показана на рис. 2. Сигнал от ионизационной камеры усиливался узкополосным усилителем с обратной связью, выпрямлялся синхронным переключателем и интегрировался в интеграторной схеме. Напряжение на конденсаторе интегратора измерялось ламповым вольтметром. Применение синхронного выпрямителя и интегратора приводит к отсеиванию частот, отличных от желаемой, так что влияние шума, вызываемого статистическими флуктуациями ионного тока в камере, сильно уменьшается. Выпрямляющий переключатель управляется кулачком, связанным с механизмом, перемещающим челнок. С помощью регулировки можно добиться использования любой части периода колебания челнока. Это существенно с точки зрения устранения влияния рассеяния нейтронов.

Опыт показывает, что колебания потока нейтронов через ионизационную камеру могут быть обусловлены не только поглощением в колеблющемся образце, но и рассеянием на этом образце. Если, например, в качестве образца берётся графит, для которого поглощение пренебрежимо мало, то ионизационная камера всё же регистрирует колебания нейтронного потока. Поэтому точное измерение поглощения в образце возможно только при исключении влияния рассеяния. Для этого используется различие в форме импульсов напряжения для рассеивающего и для поглощающего образцов. В камере первого типа (см. выше) эти импульсы настолько близки по форме, что их разделение невозможно. Поэтому и пришлось отказаться от этого типа камеры в пользу камеры второго типа. В этой камере импульсы от поглощения и рассеяния различаются по знаку, по крутизне нарастания напряжения и, главное, несколько отличаются по фазе. Подбирая положение выпрямляющего переключателя, можно добиться того, чтобы пропускался преимущественно сигнал, вызываемый поглощением в образце. Надлежащей подгонкой удаётся подобрать такое положение переключателя, при котором одинаковым эффективным сечением рассеяния и поглощения соответствуют импульсы, отличающиеся в 200 раз (в камере первого типа импульсы будут отличаться лишь в 20 раз). Это позволяет измерять поглощение образцов с эффективным сечением поглощения порядка долей барна *).

Эффективное сечение поглощения исследуемого образца определялось сравнением эффекта, вызываемого этим образцом, с эффектом стандартного поглотителя, в качестве которого было выбрано золото, поскольку для него эффективное сечение хорошо известно и, кроме того, оно подчиняется закону $1/v$ в тепловой области.

Как и при всяких измерениях эффективных сечений особое значение играют чистота образца, его форма и положение. Образец должен быть достаточно тонким, чтобы поправка на самопоглощение была мала. Поскольку измерения основаны на сравнении со стандартом, наилучшие результаты достигаются, когда образец и стандарт имеют одинаковые размеры, форму, положение в челноке и одинаковую величину самопоглощения.

С помощью описанного прибора были измерены эффективные сечения целого ряда элементов и изотопов, однако результаты измерений в реферируемой статье не опубликованы. Метод позволяет измерять полные

* $1 \text{ барн} = 1 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$.

эффективные сечения порядка 10^{-3} см². Такая высокая чувствительность позволяет применять его для исследования эффективных сечений изотопов, имеющих лишь в небольших количествах. Приведённые для примера результаты измерения сечений поглощения для In (191,2 барна), Ag (29,9 барна) и Ag¹⁰⁹ (83,7 барна) свидетельствуют о хорошей чувствительности и точности описанного метода.

Э. Бурштейн

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. A. M. Weinberg and H. C. Schweinler, Phys. Rev. **74**, 851 (1948).
2. J. I. Hoover, W. H. Jordan, C. D. Moak, L. Pardue, H. Pomerance, J. D. Strong and E. O. Wollan Phys. Rev. **74**, 864 (1948).
3. A. Langsdorf, Bull. Amer. Phys. Soc. **23** № 3, 20 (1948).