



# НЕЙТРОНОГРАФИЯ СТРУКТУРНАЯ

Авторы: А. М. Балагуров

---

НЕЙТРОНОГРАФИЯ СТРУКТУРНАЯ, эксперим. метод исследования атомной структуры конденсиров. сред с помощью упругого когерентного рассеяния нейтронов ([дифракции нейтронов](#)) низких энергий ( $<0,5$  эВ) на атомных ядрах. Метод аналогичен [рентгеновскому структурному анализу](#) и, как правило, применяется после него, что позволяет опустить начальные этапы анализа структуры вещества. Амплитуда рассеяния нейтронов на ядрах (в отличие от рассеяния рентгеновских лучей) не уменьшается с увеличением переданного при рассеянии импульса и нерегулярным образом зависит от массового числа ядра и его заряда. Эти свойства определяют специфику использования дифракции нейтронов для структурного анализа. Н. с. позволяет надёжнее и точнее, чем др. методы, определять координаты лёгких атомов (в частности, кислорода в оксидах и водорода в гидридах и органич. молекулах), исследовать вещества, содержащие атомы с близкими атомными номерами (напр., Fe, Co и Ni в сплавах), использовать метод изотопного замещения (как правило, водорода на дейтерий) для контрастирования фрагментов структуры, достигать лучшего пространственного разрешения при восстановлении структуры макромолекул. Особенностью рассеяния нейтронов на ядрах является необходимость учёта спиновых состояний и изотопного состава ансамбля ядер, эквивалентных в структурном отношении.

В Н. с. используются нейтроны, получаемые на исследоват. [нейтронных источниках](#). Особенности постановки эксперимента и конструкций применяемых нейтронных дифрактометров зависят от конкретной задачи, типов изучаемого образца и нейтронного источника. Принято выделять структурные эксперименты, выполняемые на монокристаллах или поликристаллах (требующие, как правило, высокого разрешения), и эксперименты, проводимые в реальном времени или с образцами

очень малого объёма (здесь важна высокая светосила дифрактометра).

Разрешающая способность (

$\Delta d/d$ , где

$d$  – межплоскостное расстояние в кристалле) лучших нейтронных дифрактометров для анализа структуры поликристаллов составляет ок. 0,001, что позволяет определять межатомные расстояния с точностью ок. 0,0001 нм. Интенсивные потоки нейтронов, создаваемые совр. источниками, и применение детекторов с большим телесным углом дают возможность измерять дифракционные спектры за 1 мин (а в благоприятных случаях – за 1 с) или проводить эксперименты на образцах объёмом ок. 0,1 мм<sup>3</sup> (что требуется, напр., при работе с камерами высокого давления).

К Н. с. принято относить также изучение структуры веществ, не обладающих дальним порядком в расположении атомов (аморфных тел и жидкостей). В этом случае определяется корреляционная функция, характеризующая вероятность взаимного расположения атомов. Специфика Н. с. в этом случае проявляется в возможности определения парциальных корреляционных функций (методом изотопного замещения).

При использовании стационарного источника нейтронов (реактора) для измерения дифракционных спектров применяется традиц. методика, основанная на регистрации зависимости интенсивности рассеяния от угла рассеяния хорошо коллимированного монохроматич. пучка (с энергией нейтронов ок. 0,02 эВ и длиной волны де Бройля ок. 0,2 нм). Регистрируются максимумы рассеяния, соответствующие Брэгга – Вульфа условию для разл. кристаллографич. плоскостей.

При работе с импульсными источниками используется метод времени пролёта (не имеющий аналога в рентгеновском анализе), позволяющий работать при фиксиров. угле рассеяния и использовать поток нейтронов в широком интервале длин волн (преим. от 0,05 до 1 нм). В этом методе возможна синхронизация импульсов нейтронов с внешним полем (электрич. или магнитным), что позволяет изучать кинетику перестройки структуры под воздействием поля.

Первые систематич. эксперименты с использованием Н. с. относятся к 1950-м гг.,

поскольку именно в это время были созданы первые мощные ядерные реакторы, служившие источниками нейтронов для Н. с. В России Н. с. развивается в нескольких исследовательских ядерных центрах, прежде всего на стационарных реакторах в Нац. исследовательском центре «Курчатовский институт» (Москва), Петерб. ин-те ядерной физики (Гатчина) и на импульсном реакторе в Объединённом ин-те ядерных исследований (Дубна).

## **Литература**

Лит.: Гуревич И. И., Тарасов Л. В. Физика медленных нейтронов. М., 1965; Нейтроны и твердое тело / Под ред. Р. П. Озерова. М., 1979. Т. 1.