

# НЕЙТРОННАЯ ОТМЫЧКА К ТАЙНАМ ПРИРОДЫ\*

Новые возможности в структурных исследованиях современных материалов

*Е. Антипов, Ю. Третьяков*

Прогресс во многих областях науки и техники напрямую связан либо с открытием необычных свойств у уже известных материалов, либо с появлением новых химических соединений. Яркий пример, известный, в том числе, и неспециалистам, – открытие в конце 80-х годов целого семейства соединений, в которых состояние сверхпроводимости, то есть отсутствие сопротивления электрическому току, возникает при довольно высоких температурах.

Совсем свежий пример – открытие оксидных соединений, в которых реализуется эффект магнетосопротивления. Суть эффекта состоит в том, что электрическое сопротивление вещества изменяется во много тысяч раз при наложении на него сравнительно несильного магнитного поля.

С точки зрения фундаментально науки необходимый этап перед практическим применением новых материалов – их полноценное изучение физическими и химическими методами. На одном из первых мест в ряду этих методов стоит определение структуры вещества с помощью дифракции рентгеновских лучей или нейтронов. Рентгеновский структурный анализ, возникший в начале нашего столетия, давно уже превратился в обязательную процедуру исследования химических соединений. Для применения нейтронного структурного анализа или, как этот метод обычно называют в России, структурной нейтронографии нужны источники нейтронов, поэтому естественно, что его применяют только в тех случаях, когда структурную задачу трудно или даже невозможно решить с помощью рентгеновских лучей.

Нейтроннографические исследования ведутся на мощных источниках нейтронов (ядерных исследовательских реакторах постоянного или импульсного действия и нейтронных источниках на базе ускорителей). Это дорогостоящие сооружения, требующие значительных средств для эксплуатации. К счастью для наших исследователей, в России все еще существуют работоспособные источники нейтронов и к тому же оснащенные современным парком спектрометров. Это, прежде всего, уникальный импульсный источник нейтронов ИБР-2 в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне, стационарный реактор в Российском научном центре «Курчатовский институт» в Москве и в Институте ядерной физики РАН в Гатчине.

Наиболее современный из них – импульсный быстрый реактор ИБР-2, который работает в Дубне в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка с 1984 г. Но до сих пор это самый интенсивный источник нейтронов в мире.

Роль российских ученых в появлении новых методик нейтроннографического эксперимента была и остается очень высокой. Именно в Дубне, в начале 60-х годов, после создания там первого в мире импульсного реактора, удалось выполнить первые реальные эксперименты с использованием так называемого метода времени пролета. В этом методе распределение нейтронов по энергиям происходит с помощью измерения времени, которое потребовалось нейтрону для пролета расстояния между источником нейтронов и детектором. Несмотря на то, что, как правило, эти времена составляют несколько миллисекунд, современная техника позволяет провести их надежное и достаточно точное измерение. В настоящее время этот метод стал основным при проведении структурных экспериментов на импульсных источниках нейтронов.

---

\* Независимая газета. № 5. МАЙ. 1999. С. 7.

Юрий Дмитриевич Третьяков – академик.

Евгений Викторович Антипов – доктор химических наук, профессор.



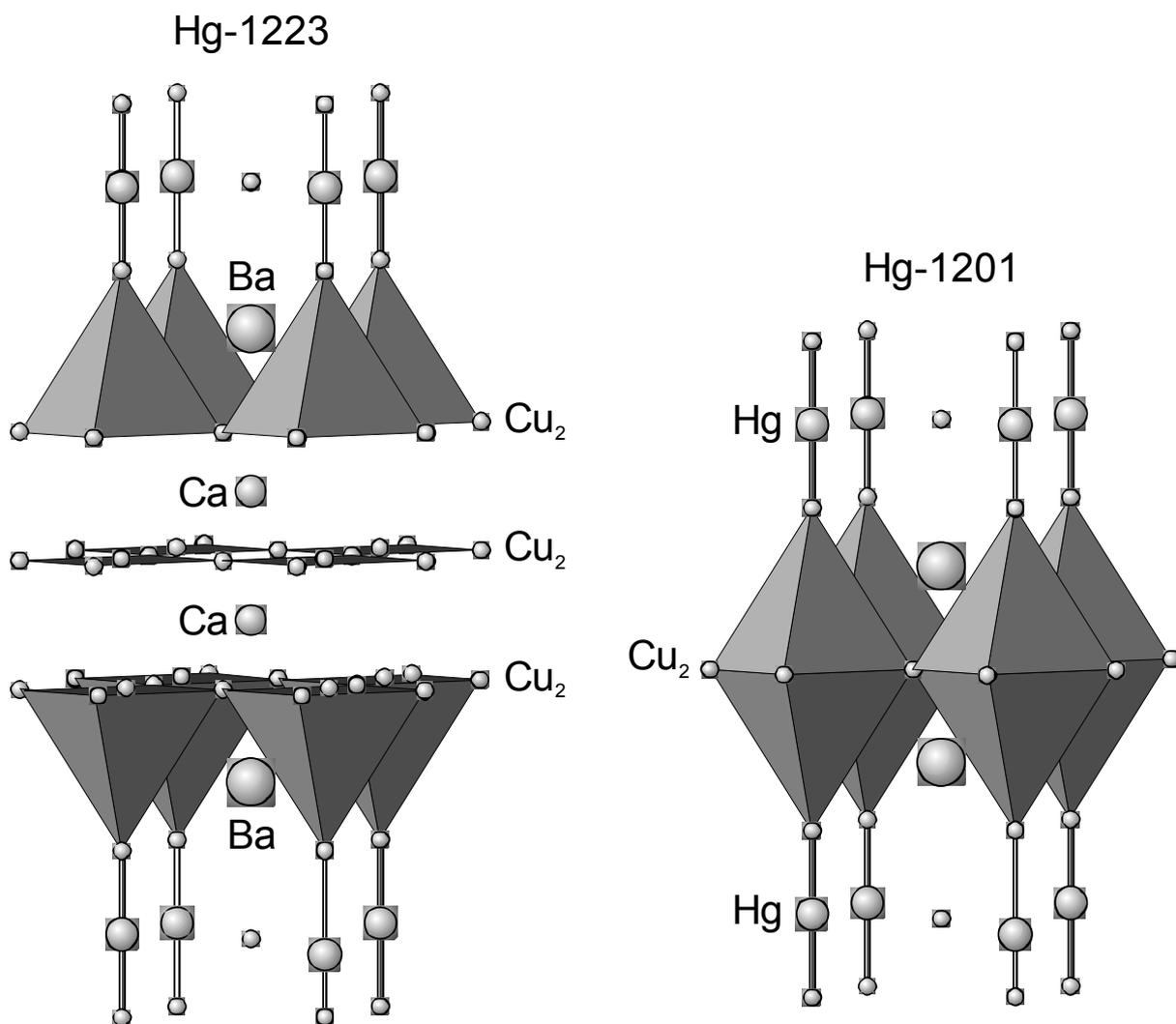
*Импульсный быстрый реактор ИБР-2 в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка  
Объединенного института ядерных исследований – самый интенсивный источник нейтронов в мире.*

В 80-х годах российские физики сделали еще один шаг принципиального значения в развитии этого метода. Сначала на реакторе в Гатчине, а затем на реакторе ИБР-2 в Дубне были созданы установки, получившие название «фурье-дифрактометры высокого разрешения». По своим основным характеристикам, светосиле и разрешающей способности эти установки входят в число лучших в мире нейтронных дифрактометров. Особенно это относится к дифрактометру в Дубне, который сразу задумывался как прибор, рассчитанный на рекордное разрешение. Несколько лет, прошедшие с момента ввода фурье-дифрактометра в Дубне в эксплуатацию, полностью подтвердили исходные предположения. Действительно удалось создать установку, которая позволяет российским ученым, занимающимся проблемами структуры кристаллов решать эти задачи на самом высоком уровне.

В качестве примера того, как структурные проблемы, возникающие при создании новых материалов, решаются с помощью нейтронографии, можно привести выполненные в течение нескольких последних лет исследования высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), основанных на соединениях ртути. Этот пример интересен еще и тем, что открытие ртутных сверхпроводников – один из случаев, когда российские химики (сотрудники химического факультета МГУ) осуществили синтез нового материала первыми в мире, и более того, лидирующее положение российских ученых в изучении ртутных сверхпроводников сохраняется до сих пор.

Наличие в ртутных ВТСП очень тяжелых элементов сильно затрудняло изучение их структуры с помощью рентгеновских лучей. Дело в том, что основные вопросы касались роли кислорода в формировании сверхпроводящих свойств, а он был практически невидим на фоне ртути и бария. Поскольку во взаимодействии нейтронов с ядрами атомов не существует никакой регулярности при переходе от атома к атому, легкий атом кислорода является для нейтронов также хорошо видимым, как барий и ртуть. Проведенная в Дубне серия экспериментов с ртутными ВТСП, включавшая

измерения дифракционных спектров при разных температурах и давлениях от образцов, содержащих разное количество кислорода, позволила дать ответ сразу на несколько принципиальных вопросов. Прежде всего – при каком количестве кислорода температура перехода в сверхпроводящее состояние будет максимальной.



*Структуры высокотемпературных сверхпроводников на основе соединений ртути, выявленные методом нейтрографии.*

Весьма интересную и важную для теории сверхпроводимости информацию удалось получить в нейтрографических исследованиях ртутных образцов, в которых часть кислорода была заменена на фтор. Разная валентность кислорода и фтора требует их разного количества для образования сверхпроводника с примерно равными температурами перехода. Прецизионная структурная информация, полученная на нейтронном фурье-дифрактометре в Дубне, позволила сделать выводы относительно механизма формирования сверхпроводящих свойств ртутных соединений.

Нет сомнений в том, что объем требуемых практикой структурных нейтрографических исследований будет возрастать. Поэтому значение развитых и реализованных в ведущих нейтронных центрах нашей страны методов структурной нейтрографии по времени пролета, которые уже показали себя как выдающиеся достижения российской науки, также будет возрастать по мере развития наук о новых материалах.