

РЕЗОНАНСНАЯ НЕЙТРОННАЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ

В. Л. Аксенов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

E-mail: kzenov@nf.jinr.ru

Во всех стандартных курсах квантовой механики имеется раздел, посвященный изучению свойств уравнения Шредингера на примере систем в одном измерении, приводятся различные схемы вычисления коэффициентов отражения и прохождения через потенциальные барьеры. Решение этих задач составляет основу рефлектометрии.

В конечной прямоугольной потенциальной яме при определенных условиях возникает явление резонанса, когда в некотором интервале энергий интенсивность волны сильно возрастает. Этот эффект имеет чисто волновую природу – в резонаторе происходит конструктивная интерференция между падающей и отраженной волнами. Если рассматривать пространственное распределение волновой функции, то такое усиление волнового поля проявляется в виде усиленных стоячих волн. Наибольшее усиление наблюдается в режиме полного отражения.

В обычной рефлектометрии измеряют коэффициенты отражения и прохождения. Чтобы измерить волновую функцию, надо поместить зонд, например, тонкий слой поглощающего нейтроны вещества, в область пучности стоячей волны. Тогда нейтронный пучок будет ослаблен, а выход продуктов ядерной реакции после захвата нейтронов увеличится (Рис. 1).

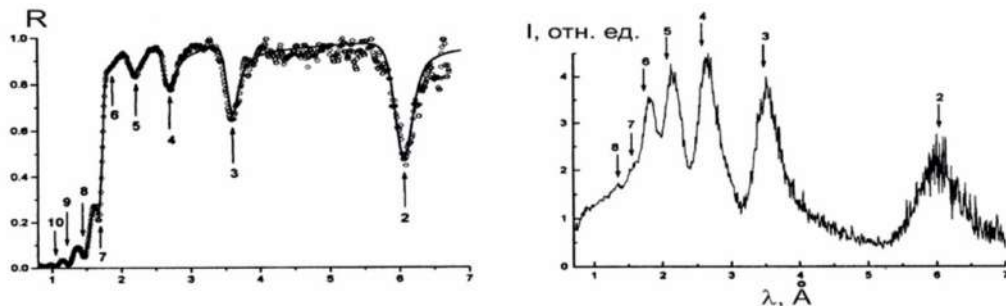


Рис. 1. Слева: зависимость от длины волны нейтронов λ коэффициента отражения зеркально отраженных нейтронов $R(\lambda)$, точки – экспериментальные данные, сплошная кривая – расчет. Справа: экспериментальная зависимость от длины волны нейтронов λ интенсивности счета альфа частиц и тритонов $I(\lambda)$, образованных захватом нейтронов ядрами изотопа ${}^6\text{Li}$ ($\sigma = 945$ барн).

Использование резонансного усиления нейтронного волнового поля и составляет основу резонансной нейтронной рефлектометрии, которая может служить хорошим дополнением к стандартной в случае слабо возмущенных структур.

Резонансная нейтронная рефлектометрия (РНР) появилась в середине 1990-х годов вслед за рентгеновской. В пионерских работах [1] изучалась полимерная пленка, в которую вносили в качестве зонда пленку гадолиния. В резонаторе усиливался выход гамма-квантов. Систематическое развитие метод получил в Дубне, где мы расширили спектр вторичного излучения на заряженные частицы и продукты ядерного деления. На рис. 1 показаны типичные спектры РНР при регистрации вторичного излучения из зонда в виде заряженных частиц [2].

Принципиально новым шагом стало распространение метода в область магнитных систем и использование поляризованных нейтронов, когда в резонатор в пучность стоячей волны помещается магнитно-неколлинеарный слой, чувствительный к поляризации нейтронов [3]. В эксперименте регистрируется усиление деполяризации падающего поляризованного пучка. На рис. 2. показан вид спектров РНР в задаче об изучении влияния сверхпроводимости на магнитное состояние квази-двумерной наноструктуры сверхпроводник/ферромагнетик при регистрации поляризованных нейтронов с переверотом спина.

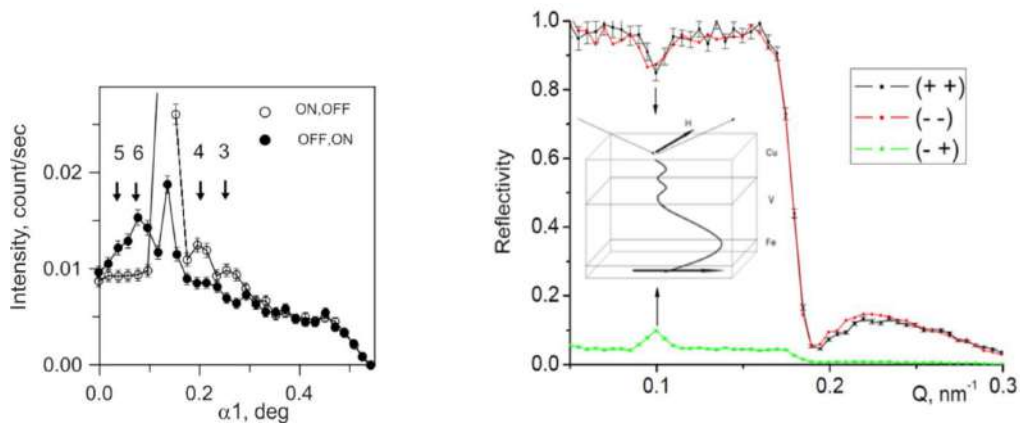


Рис. 2. Слева: Интенсивность отраженного пучка нейтронов с переверотом спина (светлые символы для перехода « $-+$ », темные символы для перехода « $+-$ ») в зависимости от конечного угла скольжения. Исследована резонансная структура. Индексами $n = 3, 4, 5, 6$ указаны максимумы интенсивности, которые соответствуют резонансам по длине волны внутри резонатора. Справа: Коэффициент отражения без переверота спина R^{++} и R^{--} и с переверотом спина для тонкой пленки Cu/V/Fe.

Теоретические основы РНР даны в работе [4]. В настоящее время на реакторе ИБР-2М создан измерительный комплекс РНР с использованием всех видов вторичного излучения и поляризованных нейтронов [5].

В докладе рассматриваются принципы полной (трехмерной) рефлектометрии и приближения теории, позволяющие использовать решения одномерных задач квантовой механики; общая схема описания резонансов при рассеянии на одномерных потенциалах; зондирование волновой функции по резонансному усилению вторичного излучения и по отражению поляризованных нейтронов в заданном спиновом состоянии; обсуждаются актуальные методические и физические задачи.

1. H. Zhang, P. Gallagher, S. Satija et al. PRL **79**, 19, 3044 (1994).
2. V. Aksenov, Yu. Nikitenko, F. Radu, et al., Physica B **276–278**, 946 (2000).
3. V. Aksenov, Yu. Nikitenko. Physica B **267–268**, 313 (1999).
4. В. Л. Аксенов, В. К. Игнатович, Ю. В. Никитенко, Кристаллография **51**, 5, 23 (2006).
5. В. Л. Аксенов, В. В. Жакетов, Ю. В. Никитенко, ЭЧАЯ **54**, 4, 898 (2023).