

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Материалы XX Международного
симпозиума**

14–18 марта 2016 г., Нижний Новгород

Том 1

Секции 1, 2, 4, 5

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского
2016

Нестационарное преобразование энергии нейтронов при дифракции на движущейся решетке

А.И. Франк^{1*}, В.А. Бушуев², В.Г. Кулин¹

¹ Лаборатория нейтронной физики имени И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Моск. обл., 141980.

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, 119991.

*frank@nf.jinr.ru

В докладе дается краткий обзор работ по изучению и применению нестационарного преобразования нейтронной волны при дифракции нейтронов на движущейся периодической структуре. Работы охватывают период с 1994 по 2016 гг.

Поиск экспериментальных возможностей проверки нестационарного уравнения Шредингера привел в начале девяностых годов прошлого столетия к идее о быстром прерывателе нейтронного пучка периодического действия, трансформирующего монохроматическую плоскую волну в нестационарную суперпозицию волн с дискретным спектром.

Вскоре было осознано, что периодическая структура,двигающаяся поперек монохроматического пучка нейтронов, формирует аналогичный спектр [1]. Тогда же был предложен эксперимент по наблюдению квантовой трансформации спектра нейтронов с помощью гравитационного спектрометра ультрахолодных нейтронов (УХН) с интерферометрами Фабри–Перо [2] (рис. 1). В 2001 г. такой эксперимент был осуществлен [3] (рис. 2). Помимо яркой демонстрации нестационарного воздействия на нейтронную волну и справедливости галилеевского преобразования волновой функции он открыл путь для создания новых методов нейтронного эксперимента.

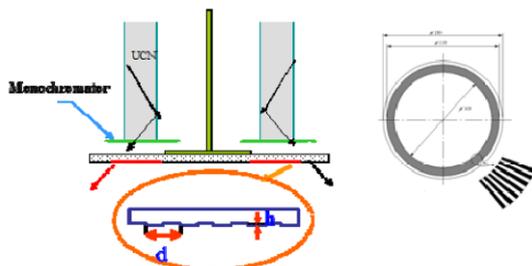


Рис. 1. Принцип первого эксперимента по наблюдению дифракции УХН на движущейся решетке. Фазовая решетка приготовлена на поверхности кремниевого диска, который может вращаться. Справа – геометрия решетки и ориентация штрихов

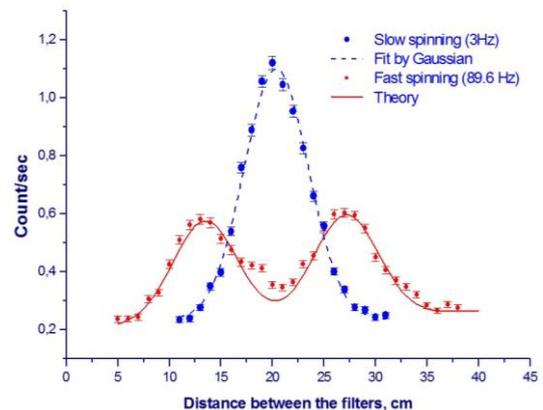


Рис. 2. Первая демонстрация расщепления энергетического спектра УХН при дифракции на движущейся решетке

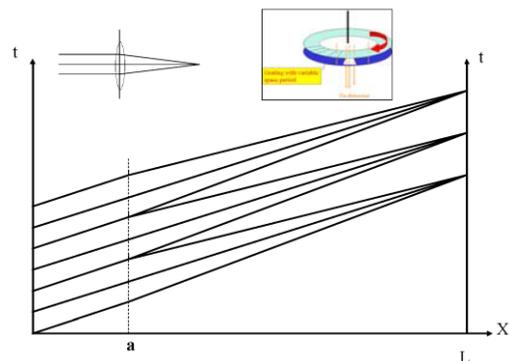


Рис. 3. Координатно-временная схема эксперимента по временной фокусировке нейтронов

Позже появилось понимание, что с помощью аperiodической движущейся структуры можно создать временную нейтронную линзу (рис. 3), являющуюся временным аналогом зонной пластинки Френеля [4]. В эксперименте [5], демонстрирующем такую возможность, использовалась апериро-

дическая вращающаяся решетка, причем нейтроны проходили лишь через небольшой ее фрагмент. Таким образом, эффективная пространственная частота решетки и, соответственно, передача энергии нейтрону менялась во времени. Нейтроны +1-го дифракционного порядка ускорялись, а -1-го – замедлялись (см. рис. 3). Результаты эксперимента иллюстрируются рисунком 4.

Развитие гравитационной спектроскопии состояний с дискретным спектром, возникающих при дифракции на движущейся решетке, привело к идее о возможности осуществления гравитационного эксперимента нового типа [6, 7]. Он был основан на принципе компенсации изменения энергии нейтрона при падении в гравитационном поле Земли квантом энергии, передаваемым нейтрону движущейся решеткой. Величина последнего точно известна. Эксперимент по проверке слабого принципа эквивалентности для нейтрона, основанный на этой идее, был успешно осуществлен [8].

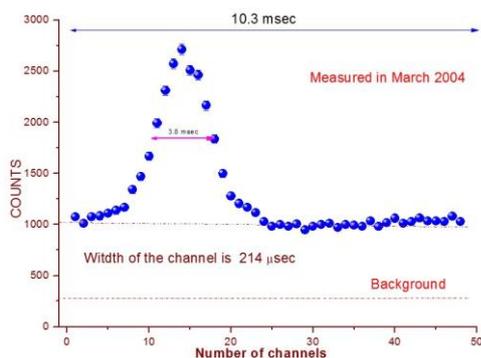


Рис. 4. Пик временной фокусировки – распределение времен пролета нейтронов, построенное на интервале, равном периоду вращения решетки

В настоящее время ведется эксперимент следующего поколения, основанный на сходных идеях [9]. При его осуществлении было осознано, что само квантовое явления дифракции на движущейся решетке (ДДД), положенное в его основу, изучено недостаточно хорошо. Это обстоятельство явилось стимулом для появления новых теоретических результатов [10] и нового метода спектрометрии дискретных спектров при ДДД – время-пролетной фурье-дифрактометрии УХН [11].

Первые спектры такого рода недавно успешно наблюдались [12] (рис. 5).

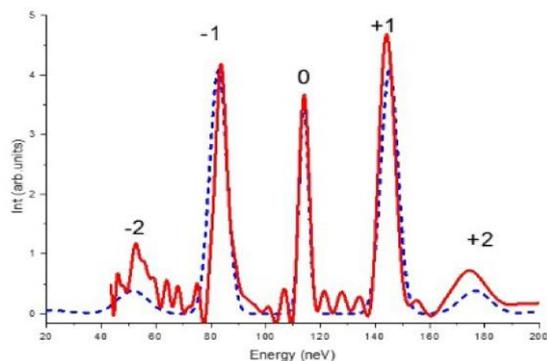


Рис. 5. Энергетический спектр нейтронов, дифрагированных на движущейся решетке, измеренный время-пролетным Фурье-дифрактометром. Эксперимент (сплошная кривая) и теория (пунктир)

Уникальная особенность ДДД состоит в том, что величина передачи энергии нейтрону точно известна, а возникающий энергетический спектр строго эквидистантен. Это создает возможность для экспериментов совершенно нового типа [13].

Литература

1. A. I. Frank, V. G. Nosov // *Phys. Lett. A*, V. 188, 120 (1994).
2. I. V. Bondarenko, S. N. Balashov, A. Cimmino, *et al.* // *Nucl. Instr. Meth. A*, V. 440, 591 (2000).
3. A. I. Frank, S. N. Balashov, I. V. Bondarenko, *et al.* // *Physics Letter A*, V. 311, 6 (2003).
4. А. И. Франк, Р. Гэйлер // *Ядерная Физика*, Т. 63, 605 (2000).
5. S. N. Balashov, I. V. Bondarenko, A. I. Frank, *et al.* // *Physica B*, V. 350, 246 (2004).
6. A. I. Frank, P. Geltenbort, G. V. Kulin and A. N. Strepetov // *Письма в ЖЭТФ*, Т. 78, 224 (2003).
7. A. I. Frank, S. V. Masalovich, V. G. Nosov // *Proceeding of the ISINN-12 seminar*. JINR E3-2004-169, Dubna, 2004, P. 215.
8. А. И. Франк, П. Гелтенборт, М. Жентшель // *Письма в ЖЭТФ*, Т. 86, 255 (2007).
9. G. V. Kulin, A. I. Frank, S. V. Goryunov, *et al.* // *Nucl. Instr. Meth. A*, V. 792, 38 (2015).
10. В. А. Бушуев, А. И. Франк, Г. В. Кулин // *ЖЭТФ*, Т. 149, 41 (2016).
11. G. V. Kulin, A. I. Frank, S. V. Goryunov, *et al.* // *VI European Conference on Neutron Scattering. Book of Abstracts*, P. 675 (2015).
12. G. V. Kulin, A. I. Frank, S. V. Goryunov, *et al.* *Spectroscopy of UCN diffracted by a moving grating* // *Phys. Rev. A* (in print).
13. М. А. Захаров, А. И. Франк, Д. В. Кустов, *et al.* // *VI European Conference on Neutron Scattering, Book of Abstracts*, P. 599 (2015).

УДК 538.9
ББК 22.37; 22.33
Н-25

Нанозлектроника и нанозлектроника. Материалы XX Международного симпозиума (Нижний Новгород, 14–18 марта 2016 г.) В 2 т. Том 1. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2016. — 434 с.
ISBN 978-5-91326-378-0

Организаторы

Федеральное агентство научных организаций РФ
Отделение физических наук РАН
Научный совет РАН по физике полупроводников
Научный совет РАН по физике конденсированных сред
Институт физики микроструктур РАН
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Нижегородский фонд содействия образованию и исследованиям

Сопредседатели Симпозиума

С.В. Гапонов, академик РАН, ИФМ РАН
З.Ф. Красильник, д.ф.-м.н., ИФМ РАН

Учёный секретарь Симпозиума

А.В. Новиков, к.ф.-м.н., ИФМ РАН

Программный комитет

В.В. Бельков, д.ф.-м.н., ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
В.А. Бушуев, д.ф.-м.н., МГУ, Москва
В.А. Быков, д.т.н., ЗАО «НТ-МДТ», Москва
В.А. Волков, д.ф.-м.н., ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
В.И. Гавриленко, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород
К.Н. Ельцов, д.ф.-м.н., ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва
С.В. Иванов, д.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
Е.Л. Ивченко, д.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
В.В. Кведер, чл.-корр. РАН, ИФТТ РАН, Черногловка
А.В. Латышев, чл.-корр. РАН, ИФП СО РАН, Новосибирск
А.С. Мельников, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород
В.Л. Миронов, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород
С.А. Никитов, чл.-корр. РАН, ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
Д.В. Рошупкин, д.ф.-м.н., ИПТМ РАН, Черногловка
В.В. Рязанов, д.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черногловка
Н.Н. Салашенко, чл.-корр. РАН, ИФМ РАН, Н. Новгород
А.А. Саранин, чл.-корр. РАН, ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
Н.Н. Сибельдин, чл.-корр. РАН, ФИАН, Москва
В.Б. Тимофеев, академик РАН, ИФТТ РАН, Черногловка
Ю.А. Филимонов, д.ф.-м.н., Саратовский филиал ИРЭ РАН, Саратов
А.А. Фраерман, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород
Д.Р. Хохлов, чл.-корр. РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
А.В. Чаплик, академик РАН, ИФП СО РАН, Новосибирск
Е.В. Чупрунов, д.ф.-м.н., ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород
Н.И. Чхало, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н.Новгород

Организационный комитет

В.Г. Беллюстина, ИФМ РАН, Н. Новгород
М.В. Зорина, ИФМ РАН, Н. Новгород
А.В. Иконников, к.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород
Д.А. Камелин, ИФМ РАН, Н. Новгород
Р.С. Малофеев, ИФМ РАН, Н. Новгород
А.В. Новиков, к.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород
Н.А. Байдакова, ИФМ РАН, Н. Новгород

УДК 538.9
ББК 22.37; 22.33

ISBN 978-5-91326-378-0

© Институт физики микроструктур
РАН, 2016
© Нижегородский госуниверситет
им. Н.И. Лобачевского, 2016