

Физика ультрахолодных нейтронов (УХН)

(магистерская программа, III семестр)

Тема 1. ВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ УХН

Свойства нейтронов и их классификация. Потенциал взаимодействия медленных нейтронов с веществом. Определение ультрахолодных нейтронов (УХН), характеристики УХН. Первые эксперименты по наблюдению УХН. Современное состояние физики УХН. Научные центры, развивающие физику УХН.

Тема 2. ОТРАЖЕНИЕ УХН ОТ ГРАНИЦЫ ВЕЩЕСТВА

Отражение нейтронов от поверхности. Коэффициент потерь УХН. Прохождение УХН через тонкие фольги.

Тема 3. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ УХН

Получение УХН. Конвертеры УХН. Гелиевый источник УХН. Получение УХН отражением от движущихся зеркал. Накопление УХН на импульсных источниках. Действующие источники УХН. Проекты новых источников.

Тема 4. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХРАНЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ УХН В МОДЕЛИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Свойства газа УХН. Распределение плотности и потока УХН по высоте. Зависимость коэффициента потерь от энергии. Кривая хранения, характерные времена заполнения и вытекания нейтронов из ловушки. Распространение УХН. Измерение потока УХН. Различные модели расчёта пропускания нейтронпроводов. Транспортировка УХН в замкнутых сосудах. Результаты экспериментов по пропусканию нейтронпроводных систем.

Тема 5. ПРОБЛЕМА АНОМАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ УХН

Определение потерь УХН при хранении. Методы определения парциальных потерь. История поиска причин аномальных потерь УХН. Аномалия хранения на бериллии.

Тема 6. ДЕТЕКТОРЫ И СПЕКТРОМЕТРЫ УХН

Пропорциональные счётчики для регистрации УХН. Твердотельный ПЧД детектор высокого разрешения. Спектрометры УХН. Монохроматоры УХН.

Тема 7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УХН С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Взаимодействие УХН с магнитным полем. Хранение УХН в магнитных ловушках. Проблемы магнитного хранения.

Тема 8. ПРИМЕНЕНИЕ УХН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕЙТРОНА

Эксперименты по измерению времени жизни нейтрона. Актуальность измерения. История вопроса. Эксперименты с хранением в вещественных ловушках. Метод калибровок потерь УХН в ловушках. Эксперименты с магнитным удержанием нейтронов. Систематические эффекты в эксперименте. Проекты новых экспериментов.

Тема 9. **ПРИМЕНЕНИЕ УХН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИПОЛЬНОГО МОМЕНТА НЕЙТРОНА**

Эксперименты по определению ЭДМ нейтрона. Актуальность поиска ЭДМ нейтрона. Эксперименты различных групп. Систематические погрешности эксперимента. Проекты новых экспериментов.

Тема 10. **ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИКИ УХН ДЛЯ ЗАДАЧ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

Измерение электрического заряда нейтрона. Эксперимент по проверке слабого принципа эквивалентности для нейтрона.

Тема 11. **КВАНТОВЫЕ УРОВНИ УХН В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НИМИ**

Квантовые уровни УХН в гравитационном поле Земли. Первый эксперимент по наблюдению гравитационных уровней УХН. Спектрометр GRANIT. Квантовые состояния нейтронов в центробежном потенциале.

Тема 12. **ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВЕЩЕСТВА ПРИ ПОМОЩИ УХН**

Квазиупругое отражение УХН. Исследование малого нагрева УХН и взаимодействие УХН с поверхностными наночастицами. Отражатели медленных нейтронов из наночастиц.

Литература

Основная литература

1. В.К. Игнатович “Физика ультрахолодных нейтронов”, М., Наука, 1986.
2. R. Golub, D. Richardson, S.K.Lamoreaux “Ultra-Cold Neutrons” Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 1991.

Дополнительная литература

1. ЮзД., Нейтронная оптика, пер. с англ., М., 1955
2. И.И. Гуревич, Л.В.Тарасов “Физика нейтронов низких энергий” М., Наука, 1965.
3. Власов Н.А. Нейтроны. Изд. Наука, 1971.
4. V.V. Nesvizhevsky, and K.V. Protasov (2006). Quantum states of neutrons in the earth’s gravitational field: state of the art, applications, perspectives. Edited book on Trends in quantum gravity research. D.C. Moore. New York, NOVA science publishers: 65-107

Периодическая литература

1. “New methodical developments for GRANIT” // Comptes Rendus Physique, Volume 12, Issue 8, October 2011
2. А.В. Стрелков «[Хранение нейтронов](#)» УФН, 174 565 (2004)
3. А.В. Стрелков, В.В. Несвижевский «[Объединенная научная сессия Отделения физических наук Российской академии наук и Объединенного физического общества Российской Федерации \(29 октября 2003 г.\)](#)» УФН, 174 565 (2004)
4. В.В. Несвижевский «[Квантовые состояния нейтронов в гравитационном поле и взаимодействие нейтронов с наночастицами](#)» УФН, 173 102–106 (2003)

5. В.В. Несвижевский «[Исследование квантовых состояний нейтронов в гравитационном поле Земли над зеркалом](#)» УФН, 174 569–576 (2004)
6. А.П. Серебров «[Измерение времени жизни нейтрона с использованием гравитационных ловушек ультрахолодных нейтронов](#)» УФН, 175 905–924 (2005)
7. В.В. Несвижевский «[Приповерхностные квантовые состояния нейтронов в гравитационном и центробежном потенциалах](#)» УФН, 180 673–707 (2010)
8. А.П. Серебров «[Исследования фундаментальных взаимодействий в ПИЯФ НИЦ КИ с нейтронами и нейтрино на реакторах](#)» УФН, 185 1179–1201 (2015)

<http://nedm.ph.tum.de/index.html>

Темы рефератов

к курсу «Физика ультрахолодных нейтронов» (магистры, III семестр)

1. Псевдопотенциал Ферми. Потенциал взаимодействия медленных нейтронов с веществом.
2. Потери УХН при отражении. Зависимость коэффициента отражения от энергии нейтрона.
3. Рассеяние УХН на газе.
4. Неупругое рассеяние УХН на поверхности.
5. Производство УХН. Общая формула для потока УХН из конвертора. Сравнение различных типов конверторов.
6. Особенности производства УХН на импульсных источниках.
7. Постоянная времени хранения УХН. Эффективная частота соударений нейтронов о стенки ловушки.
8. Методы регистрации УХН.
9. Спектрометрия УХН, способы, достоинства и недостатки.
10. Хранение УХН в магнитном поле.

Литература

1. Ю.М.Ципенюк. Квантовая микро- и макро-физика. М.: Физматкнига, 2006.
2. М.Клеман, О.Д.Лаврентович. Основы физики частично упорядоченных сред. М.: Физматлит, 2007 (перевод с англ. M.Kleman, O.D.Lavrentovich. Soft Matter Phsics. An Introduction. Springer, 2003).
3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика в 10 т. Том V . Статистическая физика, ч. I; Том IX Статистическая физика, ч. 2. Теория конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2001.

Промежуточная аттестация экзамен.

Примерные вопросы для экзамена

1. Псевдопотенциал Ферми. Потенциал взаимодействия медленных нейтронов с веществом.
2. Потери УХН при отражении. Зависимость коэффициента отражения от энергии нейтрона.
3. Рассеяние УХН на газе.
4. Неупругое рассеяние УХН на поверхности.
5. Производство УХН. Общая формула для потока УХН из конвертора. Сравнение различных типов конверторов.
6. Особенности производства УХН на импульсных источниках.
7. Постоянная времени хранения УХН. Эффективная частота соударений нейтронов о стенки ловушки.
8. Методы регистрации УХН.
9. Спектрометрия УХН, способы, достоинства и недостатки.
10. Хранение УХН в магнитном поле.
11. Эксперимент по определению времени жизни нейтрона с УХН.
12. Эксперимент по определению ЭДМ нейтрона с УХН.
13. Возможность измерения электрического заряда нейтрона с УХН.
14. Квантование энергии УХН в гравитационном поле земли. Способ наблюдения гравитационных уровней нейтронов.
15. Основные закономерности взаимодействия УХН с наночастицами (сечение взаимодействия, передача энергии при взаимодействии).
- 16.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. В.К. Игнатович “Физика ультрахолодных нейтронов”, М., Наука, 1986.
2. R. Golub, D. Richardson, S.K.Lamoreaux “Ultra-Cold Neutrons” Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 1991.

Дополнительная литература

1. ЮзД., Нейтронная оптика, пер. с англ., М., 1955
2. И.И. Гуревич, Л.В.Тарасов “Физика нейтронов низких энергий” М., Наука, 1965.
3. Власов Н.А. Нейтроны. Изд. Наука, 1971.

Периодическая литература

1. “New methodical developments for GRANIT” // Comptes Rendus Physique, Volume 12, Issue 8, October 2011
2. V.V. Nesvizhevsky, and K.V. Protasov (2006). Quantum states of neutrons in the earth’s gravitational field: state of the art, applications, perspectives. Edited book on Trends in quantum gravity research. D.C. Moore. New York, NOVA science publishers: 65-107.
2. <http://nedm.ph.tum.de/index.html>