

**Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования Московской области «Международный  
университет природы, общества и человека «Дубна»  
(университет «Дубна»)  
Факультет естественных и инженерных наук  
Кафедра «Ядерная физика»**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

**«НЕЙТРОНАЯ ОПТИКА И ОСНОВЫ  
НЕЙТРОНОГРАФИИ»**

**направления 011700 «Физика»**

**Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»**

г. Дубна, 2011 г.

УМК разработан \_\_\_\_\_ д. ф.-м. н. профессором А.И.Франком . \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество разработчиков)

\_\_\_\_\_  
Протокол заседания кафедры **ядерной физики** № \_\_\_\_\_ от “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой д. ф.-м. н. профессор / \_\_\_\_\_ / Оганесян Ю.Ц.

Декан факультета естественных и инженерных наук \_\_\_\_\_ / А.С. Деникин /  
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Проректор по учебной работе \_\_\_\_\_ к.х.н., доцент С.В. Моржухина

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## Оглавление

<b>ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА</b> .....	4
<b>КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН (РАБОЧАЯ ПРОГРАММА)</b> .....	5
<b>1. Выписка из ГОС ВПО</b> .....	10
<b>2. Аннотация</b> .....	10
<b>3. Цели и задачи дисциплины.</b> .....	11
<b>4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.</b> .....	11
<b>5. Объём дисциплины и виды учебной работы (час):</b> .....	11
<b>6. Разделы (темы) дисциплины.</b> .....	12
Содержание разделов дисциплины .....	12
<b>7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.</b> .....	13
Основная литература.....	13
Дополнительная литература: .....	13
Периодические издания: .....	13
Справочные ресурсы и материалы в Интернет:.....	13
<b>8. Материально-техническое обеспечение дисциплины</b> .....	13
<b>9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины</b> .....	14
Вопросы к зачету.....	14
<b>10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины</b> .....	15
Методические рекомендации преподавателю .....	15
Методические указания студентам.....	15

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Курс изучается на 5 курсе в А семестре

Целью курса «Нейтронная оптика и основы нейтронографии» является углубление студентами знаний физики взаимодействия нейтронов с атомными ядрами и с веществом.

В ходе изучения данного курса студент должен изучить технологию применения пучков нейтронов разных энергий в прикладных целях.

При разработке учебно-методического комплекса курса «Нейтронная оптика и основы нейтронографии» особое внимание уделялось тому, чтобы ее содержание было ориентировано на изложение материала с учетом современного состояния предмета, а также с использованием современных компьютерных и Интернет технологий при организации учебного процесса и самостоятельной работы студентов.

По содержанию данная дисциплина является продолжением изученных в рамках подготовки бакалавров дисциплин специализации «Физика конденсированных сред и наносистем», «Взаимодействие излучения с веществом» и «Специальный семинар по физике ядра и ядерным реакциям» и связана с изучаемой одновременно дисциплиной «Приборы и техника физического эксперимента».

Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН (РАБОЧАЯ ПРОГРАММА)**

Утверждаю:  
 проректор.....С.В.Моржухина

Учебно-методическая карта дисциплины «Нейтронная оптика и основы нейтронографии»

“.....” .....2011г.

Кафедра Ядерной физики.....направление: Физика.....курс.....5.....семестр...А(10)...2011/2012 учебного года, учебный план 2011г.

Номера и даты недель	Виды и содержание учебных занятий											
	Лекции ( 2 час. в неделю)*						Практические занятия ( час. в неделю)	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студентов			
	В аудитоии			Самостоятельное изучение					№	Вид задан	Содержание	Часы
	Даты лекций	Часы	Содержание	Исполз. ТСО**	Содержание и раздел учебника (глава, параграф)	Форма контроля						
1 нед.		2	Введение: свойства нейтрона		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 99 3,1	К			А	Введение: свойства нейтрона	3	К
2 нед.		2	Введение: свойства нейтрона		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 99 3,1	К			А	Введение: свойства нейтрона	3	К
3 нед.		2	Рассеяние нейтрона на атомных ядрах		2, гл. 10 § 2,4,5 5, гл. 15, § 99.	К			А	Рассеяние нейтрона на атомных ядрах	3	К
4 нед.		2	Рассеяние нейтрона на атомных ядрах		2, гл. 10 § 2,4,5 5, гл. 15, § 99.	2			А	Рассеяние нейтрона на атомных ядрах	3	К
5 нед.		2	Рассеяние нейтрона в среде		2, гл. 10 § 1,2 5, гл. 15, § 99 3,1	К			А	Рассеяние нейтрона в среде	3	К
6 нед.		2	Рассеяние нейтрона в среде		2, гл. 10 § 1,2 5, гл. 15, § 99 3,1	К			А	Рассеяние нейтрона в среде	3	К
7 нед.		2	Нейтрон в магнитном поле		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 99	К			А	Нейтрон в магнитном поле	3	К
8 нед.		2	Нейтрон в магнитном поле		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 99	К			А	Нейтрон в магнитном поле	3	К
9 нед.		2	Ультрахолодные нейтроны		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 99 3,1	К			А	Ультрахолодные нейтроны	3	К
10 нед.		2	Ультрахолодные нейтроны		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 99 3,1	К			А	Ультрахолодные нейтроны	3	К
11 нед.		2	Дифракция нейтронов		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 9 3,4	К			А	Дифракция нейтронов	3	К
12 нед.		2	Дифракция нейтронов		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 9 3,4	К			А	Дифракция нейтронов	3	К

13 нед.		2	Дифракция нейтронов		2, гл. 10 § 1 5, гл. 15, § 99 3,4	К				А	Дифракция нейтронов	3	К	
<b>УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА (ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ)</b>											А		39	
														Зачет

№	Название, автор, год издания	Примечания
1	К.Н. Мухин. "Экспериментальная ядерная физика" (в трех томах), СПб., Издательство Лань, 2008.	
2	Ю.М. Широков и Н.П. Юдин. Ядерная физика. М.: Наука, 1972	
3	Юз Д. История нейтрона. - М.: Атомиздат, 1964.	
4	Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел / Киттель Чарльз; Пер.с англ. А.А.Гусева. - М.: Наука, 1967. - 492с.	
5	Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5, Атомная и ядерная физика. М.- ФИЗМАТЛИТ, 2011	

Виды заданий:

- А – задание к практич. занятиям
- Л – задание к лабор. занятиям
- Р – расчетное задание
- Т – типовой расчет
- П – курсовой проект
- К – контрольная или проверочная работа

"Утверждаю"

Дата 01.09.2011 г. Лектор \_\_\_\_\_ Франк А.И. Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Оганесян Ю.Ц.

подпись, фамилия, и., о.

Зав.кафедрой .....(...Ю.Ц.Оганесян.....)

Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования Московской области  
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
(университет «Дубна»)  
Факультет естественных и инженерных наук  
Кафедра «Ядерная физика»

УТВЕРЖДАЮ

проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Моржухина

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
**«НЕЙТРОНАЯ ОПТИКА И ОСНОВЫ  
НЕЙТРОНОГРАФИИ»**

направления **011700.68 Физика**

Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: \_\_\_\_\_ *магистр* \_\_\_\_\_

Курс (семестр): 5 курс, 10 семестр

г. Дубна, 2011 г.

Автор программы:

Франк А.И.

доктор физико-математических наук

профессор кафедры «Ядерная физика» \_\_\_\_\_

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планом по направлению подготовки 011200.68 Физика

Программа рассмотрена на заседании кафедры «Ядерная физика»

Протокол заседания № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / Оганесян Ю.Ц. /

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета естественных и инженерных наук \_\_\_\_\_ / Деникин А.С. /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Рецензент: \_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание, Ф.И.О., место работы, должность)

Руководитель библиотечной системы \_\_\_\_\_ / Черепанова В.Г. /  
(подпись) (ФИО)



## Оглавление

1. Выписка из ГОС ВПО.....	10
2. Аннотация .....	10
3. Цели и задачи дисциплины.....	11
4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.....	11
5. Объём дисциплины и виды учебной работы (час):.....	11
6. Разделы (темы) дисциплины.....	12
Содержание разделов дисциплины .....	12
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....	13
Основная литература .....	13
Дополнительная литература: .....	13
Периодические издания: .....	13
Справочные ресурсы и материалы в Интернет:.....	13
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	13
9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины .....	14
Вопросы к зачету.....	14
10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины .....	15
Методические рекомендации преподавателю .....	15
Методические указания студентам .....	15

## 1. Выписка из ГОС ВПО

Выписка из государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования. Специальность 010700 Физика. Квалификация – физик. Регистрационный N 177 ен/маг (утв. Минобразованием РФ 17.03.2000г.).

1.5 Аннотированный перечень магистерских программ:

### 510401 - Физика ядра и элементарных частиц

Источники, методы регистрации и измерения физических характеристик ядер и элементарных частиц. Взаимодействия частиц. Ядерные реакции и реакторы. Ускорители. Экспериментальное изучение фундаментальных явлений физики микромира. Современные теоретические представления и математические методы исследований в физике ядра и элементарных частиц. Практика научной работы.

#### Требования к обязательному минимуму содержания специализированной подготовки

СДМ.00	<b><u>Специальные дисциплины</u></b>	<b>800</b>	
СДМ.01	<b>Специальный физический практикум</b>	160	
	Лабораторные работы, связанные с изучением экспериментальными методами фундаментальных эффектов и явлений по областям физики в соответствии с перечнем магистерских программ.		
СДМ.02 и т.д.	Состав и содержание <b>специальных дисциплин</b> определяется требованиями специализации магистра физики при реализации конкретной магистерской программы	500	

## 2. Аннотация

*Место курса в профессиональной подготовке магистров*

Дисциплина «Нейтронная оптика и основы нейтрографии» относится к циклу специальных дисциплин. До данной дисциплины студенты изучили бакалаврские курсы специализации «Взаимодействие излучения с веществом», «Физика конденсированных сред и наносистем» и «Специальный семинар по физике ядра и ядерным реакциям». По содержанию она связана с изучаемой одновременно дисциплиной «Приборы и техника физического эксперимента».

*Методы обучения (в т.ч. инновационные)*

Преподавание дисциплины «Нейтронная оптика и основы нейтрографии» предусматривает активное использование следующих методов обучения: мультимедийных презентаций с представлением схем ядерно-физического оборудования; в т.ч. инновационных методов: ознакомлением с действующими установками ОИЯИ, использованием образовательных Интернет-ресурсов.

*Требования к студентам*

В качестве входных знаний студенты должны владеть основными законами общей и квантовой физики.

*Виды контроля и формы работ студентов:*

краткий опрос на лекционных занятиях занятия, итоговый контроль – зачет.

*Методика формирования результирующей оценки.*

Для оценки результатов деятельности студента по изучению дисциплины используется три показателя:

участие в аудиторной работе ответы при кратких опросах на лекционных занятиях,  
посещение занятий,  
уровень ответов на зачетные вопросы.

### 3. Цели и задачи дисциплины.

#### Цели освоения дисциплины:

- приобретение знаний основ физики поляризованных нейтронов и дифракции нейтронов;
- ознакомление с основными направлениями научного и прикладного применения пучков нейтронов в ядерной физике и смежных областях науки и техники;

#### Задачи освоения дисциплины:

- освоение фундаментальных основ нейтронной оптики;
- изучение применения нейтронографии для изучения конденсированных сред;
- практическое ознакомление с действующими нейтронными установками ОИЯИ.

### 4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** основы физики поляризованных нейтронов и дифракции нейтронов.

**Уметь:** объяснять свойства пучков нейтронов и характеристики их взаимодействия с конденсированными средами и поверхностью твердых тел.

**Владеть навыками:** обработки данных по нейтронографии и дифракции нейтронов.

**Приобрести опыт деятельности:** применения нейтронографии для изучения конденсированных сред.

### 5. Объем дисциплины и виды учебной работы (час):

Вид занятий	Всего часов	Семестр
		A(10)
Общая трудоемкость	65	65
Аудиторные занятия:		
Лекции	26	26
Практические занятия (ПЗ)		
Самостоятельная работа:	39	39
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	зачет

## 6. Разделы (темы) дисциплины.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины, содержание	Лк	СР
1	Введение: свойства нейтрона	4	6
2	Рассеяние нейтрона на атомных ядрах	4	6
3	Рассеяние нейтрона в среде	4	6
4	Нейтрон в магнитном поле	4	6
5	Ультрахолодные нейтроны	4	6
6	Дифракция нейтронов	6	9
Всего		26	39

### Содержание разделов дисциплины

#### 1. Введение: свойства нейтрона

Предмет нейтронной оптики. Фундаментальные свойства нейтрона. Масса, заряд, магнитный момент, оценка размеров нейтрона. Классификации нейтронов по энергии и длине волны. Нейтрон и фундаментальные взаимодействия.

#### 2. Рассеяние нейтрона на атомных ядрах

Рассеяние нейтрона на одиночном ядре. Амплитуда рассеяния и полное сечение рассеяния. Оптическая теорема. Длина рассеяния и ее физический смысл. Рассеяние на свободном и на закрепленном ядре. Связь между длинами рассеяния в этих случаях. Понятие о когерентном и некогерентном рассеянии. Источники некогерентности. Рассеяние нейтронов коллективом ядер. Показатель преломления и эффективный потенциал.

#### 3. Рассеяние нейтрона в среде

Комплексность длины рассеяния и комплексность потенциала. Волновая функция нейтронной волны в среде. Действительная и мнимая части волнового числа в среде. Пороговое (граничное) значение волнового числа. Эксперименты, демонстрирующие существование показателя преломления для нейтронов. Эксперимент(ы), демонстрирующие проникновение волны в вещество при «полном» отражении от среды. Особенность «потенциального» закона дисперсии. Нейтронно-оптические явления.

#### 4. Нейтрон в магнитном поле

Взаимодействие нейтрона с магнитным полем. Методы получения поляризованных нейтронов. Прецессия спина в магнитном поле. Две картины спиновой прецессии – приготовления состояния с прецессирующим нейтроном: стационарный и радиочастотный флипперы.

#### 5. Ультрахолодные нейтроны

Полное отражение нейтронов от поверхности вещества и ультрахолодные нейтроны. Коэффициент поглощения ультрахолодных нейтронов. Магнитные зеркала для УХН. Фундаментальные исследования с УХН

#### 6. Дифракция нейтронов

Дифракция нейтронов на макроскопических объектах. Дифракция на периодической структуре и переданный импульс. Дифракция нейтронов в кристаллах – условие Брэгга. Дифракция Брэгга и дифракция Лауэ. Представление о нейтронном интерферометре. Квантовые эксперименты в нейтронной оптике. Представление о

нейтронной рефлектометрии. Представление о дифракционных методах исследования вещества. Представление о спин –эхо.

## **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.**

### **Основная литература**

1. К.Н. Мухин. "Экспериментальная ядерная физика" (в трех томах), СПб., Издательство Лань, 2008.
2. Ю.М. Широков и Н.П. Юдин. Ядерная физика. М.: Наука, 1972
3. Юз Д. История нейтрона / Юз Дональд; Пер.с англ. Г.А.Васильева и др. - М.: Атомиздат, 1964. - 120с.: ил.
4. Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел / Киттель Чарльз; Пер.с англ. А.А.Гусева. - М.: Наука, 1967. - 492с.
5. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н. П. Юдин. "Частицы и атомные ядра", М., Издательство ЛКИ, 2007.

### **Дополнительная литература:**

1. Экспериментальная ядерная физика: Пер.с англ. Т.1 / Под ред. Э.Сегре. - М.: Издательство иностранной литературы, 1955. - 662с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5, Атомная и ядерная физика. М.- ФИЗМАТЛИТ, 2011
3. Бор Н. Прохождение атомных частиц через вещество / Бор Нильс; Пер.с англ.А.Д.Галанина; Под ред.Я.А.Смородинского. - М.: Иностранная литература, 1950. - 152с.
4. Методы анализа данных в физическом эксперименте / Под ред.М.Реглера; Пер.с англ.под ред.Э.П.Кистенева,В.П.Жигунова. - М.: Мир, 1993. - 478с.:
5. Экспериментальная ядерная физика: Пер.с англ. Т.2 / Под ред. Э.Сегре. - М.: Издательство иностранной литературы, 1955. - 494с.
6. Ядерная энциклопедия / Авт.и гл.ред. А.А.Ярошинская. - М.: Благотворительный фонд Ярошинской, 1996. - 656с.
7. Справочник по ядерной физике / Кларк Р.У., Барнес Д.Э., Перкин Дж.П. и др.; Пер.с англ. под ред. Л.А.Арцимовича. - М.: Физматгиз, 1963. - 632с.

### **Периодические издания:**

1. Успехи физических наук/ Учредитель: РАН; Гл.ред. Л.В.Келдыш. - М.: Успехи физических наук. - Журнал, выходит 1 раз в месяц. - Основан в 1918 году. - См. электронные версии статей: <http://ufn.ru/ru/articles/>.
2. Ядерная физика / Учредитель: РАН; Гл.ред. Ю.Г. Абов. - М. : Наука. - Журнал, выходит 1 раз в месяц. - Основан в 1965 году.

### **Справочные ресурсы и материалы в Интернет:**

1. <http://nr.v.jinr.ru/nrv>
2. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. мультимедийный проектор;
2. иллюстративный материал в форме компьютерных презентаций и образовательных материалов из Интернет;
3. нейтронные установки ОИЯИ.

## 9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

### Вопросы к зачету

1. Когерентное и некогерентное рассеяние нейтронов. Источники некогерентности.
2. Природа показателя преломления нейтронных волн.
3. Методы получения поляризованных нейтронов.
4. Дифракция нейтронов в кристаллах и условие Брэгга. Дифракция Брэгга и дифракция Лауэ
5. Предмет нейтронной оптики
6. Фундаментальные свойства нейтрона. Масса, заряд, магнитный момент, оценка размеров нейтрона.
7. Классификации нейтронов по энергии и длине волны.
8. Нейтрон и фундаментальные взаимодействия.
9. Рассеяние нейтрона на одиночном ядре
10. Амплитуда рассеяния и полное сечение рассеяния
11. Оптическая теорема
12. Длина рассеяния и ее физический смысл
13. Рассеяние на свободном и на закрепленном ядре. Связь между длинами рассеяния в этих случаях.
14. Понятие о когерентном и некогерентном рассеянии. Источники некогерентности.
15. Рассеяние нейтронов коллективом ядер. Показатель преломления и эффективный потенциал.
16. Комплексность длины рассеяния и комплексность потенциала. Волновая функция нейтронной волны в среде
17. Действительная и мнимая части волнового числа в среде.
18. Пороговое (граничное) значение волнового числа.
19. Эксперименты, демонстрирующие существование показателя преломления для нейтронов
20. Эксперимент(ы), демонстрирующие проникновение волны в вещество при «полном»
21. отражении от среды
22. Особенность «потенциального» закона дисперсии.
23. Нейтронно-оптические явления
24. Взаимодействие нейтрона с магнитным полем
25. Методы получения поляризованных нейтронов.
26. Прецессия спина в магнитном поле.
27. Две картины спиновой прецессии – приготовления состояния с прецессирующим нейтроном: стационарный и радиочастотный флипперы.
28. Полное отражение нейтронов от поверхности вещества и ультрахолодные нейтроны
29. Коэффициент поглощения ультрахолодных нейтронов
30. Магнитные зеркала для УХН
31. Фундаментальные исследования с УХН
32. Дифракция нейтронов на макроскопических объектах
33. Дифракция на периодической структуре и переданный импульс
34. Дифракция нейтронов в кристаллах – условие Брэгга
35. Дифракция Брэгга и дифракция Лауэ
36. Представление о нейтронном интерферометре
37. Квантовые эксперименты в нейтронной оптике
38. Представление о нейтронной рефлектометрии
39. Представление о дифракционных методах исследования вещества
40. Представление о спин -эхо

## **10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### **Методические рекомендации преподавателю**

Изучаются основы физики поляризованных нейтронов. Дается представление о физических основах дифракции нейтронов. Фундаментальные основы нейтронной оптики рассматриваются как научная база для нейтронно-оптических методов изучения конденсированных сред – нейтронографии. В процессе освоения студентами данного курса, закрепляется материал ранее пройденных курсов.

### **Методические указания студентам**

В силу большого объема изучаемого материала и ограниченного количества занятий работа студентов во многом должна быть самостоятельной. Допускается использование любой литературы и Интернет-ресурсов: материалов сайтов рекомендованных преподавателем и результатов поиска в различных системах. Одобряется обращаться к преподавателю за консультациями. После каждой лекции материал должен самостоятельно прорабатываться с помощью конспекта и рекомендованной литературы и из Интернет. По каждой теме рекомендуется иметь краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания.