

А  
Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

В.П. Алексеев, В.П. Глушаков

# ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Допущено УМО по классическому университетскому  
образованию РФ в качестве учебного пособия для  
студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по специальности 010701.65 Физика и направлениям  
010700.62 Физика и 010800.62 Радиофизика*

Ярославль 2009

УДК 539.12/.17  
ББК В38я73  
А47

*Рекомендовано  
редакционно-издательским советом ЯрГУ  
в качестве учебного издания. План 2008 года*

Рецензенты: доктор техн. наук, проф. В.И. Полуничев;  
кафедра физики ЯГТУ

А47 Алексеев, В.П. Ядерная физика: лабораторный прак-  
тикум / В.П. Алексеев, В.П. Глушаков; Яросл. гос.  
ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2009. – 236 с.

ISBN 978-5-8397-0616-3

В учебном пособии изложены основные понятия и методы измерений в экспериментальной ядерной физике, приведено описание лабораторных работ учебного практикума для студентов, обучающихся по направлению 010700 Физика; специальностям 010701 Физика; 010801 Радиофизика и электроника; 010803 Микроэлектроника и полупроводниковые приборы (дисциплины "Физика атомного ядра и элементарных частиц" и "Физический практикум" блока ЕН Государственных образовательных стандартов соответствующих направлений и специальностей), очной формы обучения.

УДК 539.12/.17  
ББК В38я73

ISBN 978-5-8397-0616-3 © Ярославский государственный  
университет, 2009

# Оглавление

Предисловие	5
Глава 1. Регистрация ядерного излучения	7
1.1. Основные понятия	7
1.2. Статистика регистрации ядерного излучения	13
1.2.1. Статистические модели процессов регистрации ядерного излучения	13
1.2.2. Эмпирическое распределение, выборочные характеристики	17
1.2.3. Статистические оценки	19
Работа 1. Проверка гипотезы о законе распределения.	
Оценка параметров распределения	24
1.3. Детекторы ядерного излучения	32
1.3.1. Газонаполненные детекторы	34
Работа 2. Исследование характеристик самогасящегося галогенного счетчика Гейгера — Мюллера	41
1.3.2. Сцинтилляционный детектор	47
Работа 3. Исследование характеристик сцинтилляционного детектора	51
1.3.3. Полупроводниковый детектор	60
1.3.4. Трековые детекторы	67
1.4. Спектрометр энергии	72
Работа 4. Градуировка спектрометра энергии	76
Глава 2. Взаимодействие ядерного излучения с веществом	83
2.1. Основные понятия	83
2.2. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом	87
Работа 5. Исследование распределения пробегов альфа-частиц в воздухе	91
2.3. Взаимодействие электронов с веществом	99
Работа 6. Исследование поглощения бета-излучения в веществе	103
2.4. Взаимодействие гамма-квантов с веществом	110
Работа 7. Исследование ослабления гамма-излучения в веществе	114

<b>Глава 3. Превращения атомных ядер и элементарных частиц</b>	<b>120</b>
3.1. Свойства атомных ядер . . . . .	120
3.2. Радиоактивность . . . . .	127
Работа 8. Измерение объемной активности дочерних продуктов радона в воздухе . . . . .	132
3.3. Альфа-распад . . . . .	140
Работа 9. Исследование спектров альфа-распада . . . . .	144
3.4. Бета-распад . . . . .	150
Работа 10. Исследование спектров бета-распада . . . . .	155
3.5. Электромагнитные переходы ядер . . . . .	160
Работа 11. Измерение характеристик ядер в ЯГР-спектроскопии . . . . .	167
3.6. Ядерные реакции . . . . .	175
Работа 12. Исследование реакций расщепления легких ядер нейтронами . . . . .	180
3.7. Основные свойства элементарных частиц . . . . .	184
Работа 13. Измерение среднего времени жизни мюона . . . . .	188
Работа 14. Определение масс и времени жизни $K$ -мезонов и $\Lambda$ -гиперона . . . . .	197
<b>Глава 4. Статистическая обработка результатов эксперимента</b>	<b>201</b>
4.1. Погрешности косвенных измерений . . . . .	201
4.2. Регрессионный анализ . . . . .	204
4.3. Линейная регрессия . . . . .	206
4.4. Простая линейная регрессия . . . . .	209
4.5. Модель нелинейной регрессии . . . . .	210
4.6. Аппроксимация пиков амплитудного спектра . . . . .	211
4.7. Аппроксимация сплайнами . . . . .	215
<b>Приложение</b>	<b>217</b>
<b>Предметный указатель</b>	<b>230</b>
<b>Литература</b>	<b>232</b>



## Предисловие

Учебное пособие содержит краткое изложение основ экспериментальной ядерной физики и описание совокупности лабораторных работ, посвященных методам и средствам ядерно-физического эксперимента, вопросам взаимодействия ядерного излучения с веществом, явлениям превращений атомных ядер и элементарных частиц, статистической обработке и интерпретации результатов измерений. Основу данного пособия составляет лабораторный практикум по субатомной физике [16], существенно переработанный для созданной В.П. Глушаковым лаборатории ядерной физики общезначимого практикума ЯрГУ. Лабораторный практикум эффективно дополняет лекционный и практический курсы по физике атомного ядра и элементарных частиц.

В первой главе пособия изложены основы статистики регистрации ядерного излучения, принципы действия наиболее распространенных детекторов излучений и электронных устройств обработки информации, методы ядерной спектрометрии. Объем и уровень изложения материала учитывают профессиональную направленность подготовки студентов и возможность вынесения указанных вопросов из лекционного курса по ядерной физике на самостоятельное изучение. По каждой из перечисленных тем главы предлагается одна или несколько практических задач (лабораторные работы) для ознакомления студентов с методами физических измерений в ядерной физике.

Вторая глава книги посвящена вопросам взаимодействия заряженных частиц и гамма-излучения с веществом. Процессы, возникающие при прохождении частиц через вещество, важны не только для понимания физических принципов детектирования излучений. Начиная с первых опытов Резерфорда, анализ этих процессов неоднократно давал возможность проверки методов и результатов квантовой механики, служил основой для большинства методов исследования атомных ядер, космического излучения, структуры и свойств твердого тела и т.д., поэтому необходимость включения соответствующих лабораторных работ в учебный практикум совершенно очевидна.

В третьей главе дано описание основных свойств и превращений атомных ядер и элементарных частиц. Особое внимание уделено физике тех явлений, изучение которых является целью лабора-