

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

Кафедра Ядерной физики

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Экспериментальная физика высоких энергий»**

Для направления 010700 «Физика»

Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»

УМК разработан д.ф.-м.н., профессором В.А.Никитиным _____

Протокол заседания кафедры «Ядерная физика»

№ _____ от «_____» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____ /Ю.Ц. Оганесян/

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета _____ /Деникин А.С. /
(подпись)

«_____» _____ 201__ г.

Проректор по учебной работе _____ /Моржухина С.В. /
(подпись)

«_____» _____ 201__ г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ (КАЛЕНДАРНЫЙ) ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ	5
ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ	8
1. Аннотация	11
<i>Место курса в профессиональной подготовке магистров</i>	11
<i>Формы работы студентов</i>	11
<i>Самостоятельная работа студентов</i>	11
<i>Виды текущего контроля</i>	11
<i>Форма итогового контроля</i>	11
2. Цель и задачи дисциплины	11
3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины	12
4. Объём дисциплины и виды учебной работы:	12
5. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий	13
<i>Содержание разделов дисциплины:</i>	13
<i>Материалы, используемые при контроле знаний студентов</i>	14
<i>Практические занятия</i>	16
6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины	16
7. Технические и электронные средства обучения	18
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	18
9. Формы контроля	18
<i>Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:</i>	18
<i>Экзаменационные вопросы по курсу «Экспериментальная физика высоких энергий»</i>	18
10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины	19
<i>Методические рекомендации для преподавателей</i>	19
<i>Методические рекомендации для студентов</i>	20
<i>Материалы, используемые при контроле знаний студентов</i>	20

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

Целью курса «Экспериментальная физика высоких энергий» является освоение студентами основных понятий физики адронов, которая входит в состав Стандартной Модели (СМ) частиц. Изучаются процессы взаимодействия фундаментальных частиц материи. Студент должен получить представление о теориях и моделях, описывающих свойства и систематику частиц, на каких наблюдательных данных основаны эти представления. Описываются характерные постановки экспериментов на ускорителях и в космических лучах. Рассматривается техника детектирования и идентификации частиц в различных диапазонах энергии, анализируются факторы, определяющие точность измерений и достоверность результатов. При чтении курса предполагается, что студенты уже изучили общие курсы «Ядерная физика», «Квантовая механика», «Ускорители частиц».

При разработке программы особое внимание уделено изложению материала, отражающего современное состояние знаний о фундаментальных частицах материи и законах их взаимодействия. Рассматриваются последние результаты, полученные на коллайдерах Брукхейвенской лаборатории, Лаборатории им. Ферми (США) и ЦЕРН, анализируется соответствующая техника измерений и обработки данных. Упоминается практическое применение ускорителей в медицине, биологии, материаловедении и других смежных областях техники. Данный курс является необходимой вводной частью для выполнения преддипломной практики и дипломной работы.

Утверждаю:
Проректор _____ С.В.Моржухина

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ (КАЛЕНДАРНЫЙ) ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

ГОУ ВПО Московской области «Международный университет ПРИРОДЫ, ОБЩЕСТВА И ЧЕЛОВЕКА «ДУБНА»

Календарный план (РАБОЧАЯ ПРОГРАММА)

Кафедра ядерной физики. Магистрская программа «Физика ядра и элементарных частиц» Курс_6 семестр_11 2011/2012 учебного года

Виды и содержание учебных занятий													
Номер и дата недели	Лекции (.....2..... час. в неделю)*						Практические занятия (.....1..... час в неделю)	Лабораторные работы (час. в неделю)		Самостоятельная работа Студентов			
	В аудитории			Самостоятельное изучение				№	название	Вид задания	Содержание	часы	Форма контроля
	Дата лекции	час	Содержание	Исп. ТСО	Содержание и раздел учебника (глава, параграф)	Форма контроля							
1 нед	10.09	2	Введение. Роль эксперимента и теории в формировании научного знания. Классификация физических теорий.	КП	А.Л.Любимов, Д.Киш. Введение в экспериментальную физику частиц. Дубна, 1999. Материалы лекций				А	Повторение лекционного материала.	2		
2 нед	17.09	2	Основные положения физики фундаментальных частиц. Типы взаимодействия. Стандартная Модель физики частиц, её экспериментальные и теоретические основания.	КП	И.М.Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. М. 2004. В.М.Емельянов. Стандартная модель и её расширения. Визматлит, 2007. Материалы лекций	КО			А	Повторение лекционного материала.	2	КО	
3 нед	24.09	2	Принципы планирования электронного эксперимента и проектирования физической установки. Выбор физической задачи. Анализ задачи с экспериментальной и теоретической точек зрения. Выбор параметров и установление необходимой точности их измерения. Выбор метода исследования и состава аппаратуры. Пример планирования эксперимента на конкретных характерных примерах.	КП	В.А.Григорьев и др. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. Энергоатомиздат, 1988. Ландау, Механика, гл. 4, пар. 17-18. Материалы лекций	КО			А	Повторение лекционного материала.	2	КО	
4 нед	1.10	2	Процессы, сопровождающие прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизация, многократное рассеяние, электромагнитное и ядерное взаимодействия, каскадные процессы, черенковское излучение, переходное излучение.	КП	К.Н.Мухин. Экспериментальная ядерная физика. М. 1983. Материалы лекций	К			А	Повторение лекционного материала.	2	К	

5 нед	7.10	2	Детекторы частиц: сцинтилляционные счётчики, полупроводниковые детекторы, пороговые и дифференциальные черенковские счётчики, детекторы переходного излучения.		D.H.Perkins. Introduction to High Energy Physics. 4 th Edition. University of Oxford. 2000. Материалы лекций		Анализ теплового и токового шума в электрических цепях и детекторах.			А	Повторение лекционного материала.	2	К
6 нед	14.10	2	Продолжение: электромагнитные и адронные калориметры, пропорциональные, дрейфовые и время-проекционные камеры.	кп	Материалы лекций	К	Качественный анализ восстановления траекторий частиц в проволочных камерах.			А	Повторение лекционного материала.	2	К
7 нед	21.10	2	Методы идентификации частиц: измерение ионизации и определение заряда частицы, идентификация методом (дельта – E – E). Измерение скорости частицы черенковским счётчиком.	кп	Ю.К.Акимов и др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М.Энергоатомиздат, 1989. Материалы лекций	К	Вычисление массового разрешения дифференциального черенковского счётчика при заданном угловом разрешении оптической системы и фоторегистратора.			А	Повторение лекционного материала.	2	К
8 нед	28.10	2	Продолжение: идентификация методом времени пролёта; метод магнитного спектрометра.	кп	Материалы лекций	К	Вычисление импульсного разрешения магнитного спектрометра при заданной толщине материала трековых детекторов.			А	Повторение лекционного материала. Домашняя работа: решение задач.	2	К
9 нед	04.11	2	Характерные эксперименты в физике частиц и ядер. Характеристики внутренних и выведенных пучков ускорителей. Методы формирования и транспортировки пучков. Спектрометрия с помощью сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов.	кп	Н.М.Никитюк, В.Н.Самойлов. Физические установки на Большом Адронном Коллайдере. ОИЯИ. Дубна, 2008 г. Материалы лекций	К	Графическое решение задачи фокусировки пучка заряженных частиц парой квадрупольных магнитных линз.			А	Повторение лекционного материала. Домашняя работа: решение задач.	2	К
10 нед	09.11	2	Продолжение. Эксперименты на фиксированных мишенях. Особенности работы на внутренних мишенях циклического ускорителя. Эксперименты на коллайдерах. Системы триггера для отбора редких событий.		В.А.Бедняков и др. Лаборатория ядерных проблем им. В.П.Джелепова на рубеже тысячелетий. ЭЧАЯ, т. 32, вып. 3, стр. 514, 2002.	К	Анализ условий устойчивости пучка циклического ускорителя при наличии тонкой внутренней мишени.			А	Повторение лекционного материала.	2	К
11 нед	16.11	2	Основные типы и параметры ускорителей. Принцип автофазировки. Магнитная оптика и принцип построения каналов транспортировки выведенных пучков..	кп	Ю.М.Адо. Ускорители заряженных частиц. УФН, т.145, №1, стр. 87.	К	Вычисление светимости встречных пучков в коллайдере и внешней мишени при заданном токе и профиле пучка.			АП	Повторение лекционного материала. Обсуждение экзаменационных вопросов.	2	К
12	23.11	2	Подведение итогов курса. Консультация.			К					Повторение лекционного материала. Обсуждение экзаменационных вопросов	2	К
										К	Всего	24	

КО	Всего	8	
----	-------	---	--

- Числитель - аудиторные занятия, знаменатель - самостоятельное изучение

А - задание к практическим занятиям
Л - задание к лабораторным занятиям
К - контрольные задания
Т - типовой расчет
П - курсовой проект
КО – контрольный опрос
КП – компьютерная презентация

• Учебная литература

№	Название, автор, год издания	
1	Ишханов Б.С. Частицы и атомные ядра: Учебник для вузов / Ишханов Борис Саркисович, Капитонов Игорь Михайлович, Юдин Николай Прокофьевич. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. - 584с.: --20 шт.	Основная
2	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Курс теоретической физики. Квантовая механика (нерелятивистская теория). 6-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2008	Основная
3	Дж.Тейлор, Теория рассеяния, М., Мир, 1975.	Основная
4	D.H.Perkins. Introduction to High Energy Physics. 4 th Edition. University of Oxford. 2000.	дополнительная
5	А.Л.Любимов, Д.Киш. Введение в экспериментальную физику частиц. Дубна, 1999.	дополнительная
6	Ю.К.Акимов и др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М. Энергоатомиздат, 1989.	дополнительная
7	Н.М.Никитюк, В.Н.Самойлов. Физические установки на Большом Адронном Коллайдере. ОИЯИ. Дубна, 2008 г.	дополнительная
8	В.А.Бедняков и др. Лаборатория ядерных проблем им. В.П.Джелепова на рубеже тысячелетий. ЭЧАЯ, т. 32, вып. 3, стр. 514, 2002.	дополнительная
9	Г.А.Ососков и др. Методы обработки экспериментальных данных в физике высоких энергий. ЭЧАЯ, т. 32, вып. 3, стр. 676, 2002.	дополнительная
10	Ю.М.Адо. Ускорители заряженных частиц. УФН, т.145, №1, стр. 87. Г.В.Долбилов и др. Разработка и исследование ускорительных систем. ЭЧАЯ, т. 32, вып. 3, стр. 576, 2002.	дополнительная

**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
«Экспериментальная физика высоких энергий»**

по направления **010700.68 «Физика»**

Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: _____ *магистр* _____

Курс (семестр): 6 курс, 11 семестр

г. Дубна, 2010 г.

Автор программы:
Никитин В.А.,
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 010700.68 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)

Содержание

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ	8
Выписка из образовательного стандарта	
1. Аннотация	11
<i>Место курса в профессиональной подготовке магистров</i>	11
<i>Формы работы студентов</i>	11
<i>Самостоятельная работа студентов</i>	11
<i>Виды текущего контроля</i>	11
<i>Форма итогового контроля</i>	11
2. Цель и задачи дисциплины	11
3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины	12
4. Объём дисциплины и виды учебной работы:	12
5. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий	13
<i>Содержание разделов дисциплины:</i>	13
<i>Материалы, используемые при контроле знаний студентов</i>	14
<i>Практические занятия</i>	16
6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины	16
7. Технические и электронные средства обучения	18
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	18
9. Формы контроля	18
<i>Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:</i>	18
<i>Экзаменационные вопросы по курсу «Экспериментальная физика высоких энергий»</i>	18
10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины	19
<i>Методические рекомендации для преподавателей</i>	19
<i>Методические рекомендации для студентов</i>	20
<i>Материалы, используемые при контроле знаний студентов</i>	20

Выписка из образовательного стандарта

Индекс	Наименование дисциплин и их основные разделы	Всего часов
СД.00	Специальные дисциплины Устанавливаются вузом, включая дисциплины по выбору студента	800

1. Аннотация

Тип курса – СДМ (специальные дисциплины)

Год обучения – 6

Семестр – 11

Место курса в профессиональной подготовке магистров

Курс опирается на знания магистрантов, приобретенные ранее при изучении курсов «Квантовая механика», «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Численные методы и математическое моделирование», а также ряда специальных дисциплин. Курс обеспечивает студентов теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для описания характеристик фундаментальных частиц материи и процессов их взаимодействия. Описываются характерные постановки экспериментов на ускорителях и в космических лучах. Рассматривается техника детектирования и идентификации частиц в различных диапазонах энергии, анализируются факторы, определяющие точность измерений и достоверность результатов. При разработке программы особое внимание уделено изложению материала, отражающего современное состояние знаний о фундаментальных частицах материи. Рассматриваются последние результаты, полученные на коллайдерах Брукхейвенской лаборатории, Лаборатории им. Ферми (США) и ЦЕРН, анализируется соответствующая техника измерений и обработки данных. Коротко представлен проект НИКА – строительства ускорительного комплекса тяжёлых ионов высокой энергии в ОИЯИ. Упоминается практическое применение ускорителей в медицине, биологии, материаловедении и других смежных областях техники. Данный курс является необходимой вводной частью для выполнения преддипломной практики и дипломной работы.

Формы работы студентов

Форма работы студентов в ходе изучения дисциплины предусмотрена в виде семинарских занятий, работы над текущими заданиями, подготовки и представления рефератов на заданные темы.

Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом в объеме **45 часов**, выполняется в ходе семестра в виде выполнения текущих заданий, а также в форме подготовки рефератов по индивидуальному заданию.

Виды текущего контроля

Контроль выполнения текущих заданий.

Форма итогового контроля

Экзамен.

2. Цель и задачи дисциплины

Целью курса «Экспериментальная физика высоких энергий» является изучение студентами основных процессов взаимодействия фундаментальных частиц материи. Студент должен получить представление о теориях и моделях, описывающих свойства и систематику частиц, на каких наблюдательных данных основаны эти представления. Описываются характерные постановки экспериментов на ускорителях и в космических лучах. Рас-

смачивается техника детектирования и идентификации частиц в различных диапазонах энергии, анализируются факторы, определяющие точность измерений и достоверность результатов. Рассматриваются исследовательские программы основных ускорительных центров мира. Приводятся характеристики ускорителей, пучков частиц и экспериментальных установок. Дается краткий обзор применения ускорителей в смежных областях науки и в прикладных целях.

3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В ходе изучения дисциплины студенты получают:

- Знания основ Стандартной Модели фундаментальных частиц материи и их взаимодействий, включая понятия из области астрофизики.
- Базовые знания об экспериментальной методике измерения характеристик различных процессов с частицами и ядрами; типичные компоненты аппаратуры: полупроводниковые, сцинтилляционные и черенковские счётчики, проволочные камеры, основные модули электроники: усилители, кодировщики, быстрые процессоры, системы отбора событий (триггеры), системы транспортировки пучков частиц на ускорителях.
- Умение применять полученные знания на практике для расчёта величин, измеряемых экспериментально: угловые и импульсные распределения вторичных частиц в некоторых процессах, количество взаимодействий в мишени, учитывать многократное рассеяние в элементах аппаратуры и оценивать точность измерений, частоту наложений событий в пространстве и времени, оценивать статистические и систематические ошибки получаемых результатов.

Обеспечиваемые компетенции:

В результате освоения материала курса магистр должен компетентно ориентироваться в понятиях и методах классической и квантовой теории столкновения атомных ядер. Должен уметь эффективно использовать существующие компьютерные программы, реализующие общеизвестные подходы в теории столкновений, для анализа процессов, происходящих при столкновении частиц и атомных ядер. Должен знать общие и частные способы компоновки аппаратуры физических экспериментов. Компетентно оценивать возможность и необходимость выполнения задач, которые ставит перед ним руководитель или коллектив.

4. Объём дисциплины и виды учебной работы:

Вид занятий	Всего часов в семестре 9.
Общая трудоемкость	67
Аудиторные занятия:	22
Лекции	20
Представление и обсуждение рефератов.	2
Самостоятельная работа:	45
Решение задач	8
Работа с рекомендованной литературой.	16
Подготовка реферата	21
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Экзамен

5. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Лек-ции	Рефе-раты	Сам. работа
1	Стандартная модель физики частиц и астрофизики	4		6
2	Экспериментальные основания Стандартной модели	3		6
3	Процессы, сопровождающие прохождение частиц через вещество.	2		6
4	Принципы планирования эксперимента.	2		3
5	Методы детектирования частиц	2		5
6	Методы идентификации частиц	2		7
7	Характерные эксперименты в физике частиц и ядер. Ускорители, пучки частиц и ядер. Архитектура экспериментальных установок.	3		6
8	Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	2		6
	Представление и обсуждение рефератов		2	
	Итого	20	2	32

Содержание разделов дисциплины:

1. Стандартная модель физики частиц и астрофизики.

- 1.1 Соотношение теории и эксперимента.
- 1.2 Классификация физических теорий.
- 1.3 Типы взаимодействия частиц.
- 1.4 Стандартная Модель частиц, её экспериментальные и теоретические основания.
- 1.5 Кварковая модель.
- 1.6 Неполнота Стандартной Модели и возможности её расширения.
- 1.7 Эволюция вселенной. Модель Большого взрыва. Фазовые переходы в процессе эволюции вселенной. Общие проблемы астрофизики и физики частиц.

2. Экспериментальные основания Стандартной модели.

- 2.1 Систематика частиц. Экзотические состояния.
- 2.2 Кварконию и потенциал взаимодействия кварков.
- 2.3 Мягкие и жёсткие процессы столкновения частиц. Конфайнмент цветных кварков и глюонов.
- 2.4 Струйная топология жёстких процессов – свидетельство партонной структуры адронов.
- 2.5 Исследование взаимодействия тяжёлых ионов при высокой энергии. Поиск фазовых переходов в плотной ядерной материи.
- 2.6 Новые данные об адронной динамике по данным с коллайдеров Брукхейвенской лаборатории, Лаборатории им. Ферми и ЦЕРН.

3. Процессы, сопровождающие прохождение частиц через вещество.

- 3.1 Ионизация.
- 3.2 Электромагнитные и ядерные процессы.
- 3.3 Поглощение, многократное рассеяние и др.
- 3.4 Черенковское излучение.
- 3.5 Переходное излучение.
- 3.6 Каскадные процессы.

4. Принципы планирования эксперимента

- 4.1 Анализ состояния заданной проблемы и постановка задачи.
- 4.2 Анализ необходимой точности измерений.
- 4.3 Выбор методики и составление схемы аппаратуры.
- 4.4 Анализ систематических ошибок. Источники фона и способы его подавления.
- 4.5 Анализ конкурентоспособности выбранного решения проблемы.
- 4.6 Разработка математического обеспечения проекта.
- 4.7 Написание и защита проекта исследований.

5. Методы детектирования частиц.

- 5.1 Сцинтилляционные счётчики.
- 5.2 Полупроводниковые детекторы.
- 5.3 Пороговые и дифференциальные черенковские счётчики.
- 5.4 Детекторы переходного излучения.
- 5.5 Электромагнитные и адронные калориметры.
- 5.6 Пропорциональные, дрейфовые и время-проекционные камеры.
- 5.7 Камера с резистивными пластинами – прецизионный детектор времени.

6. Методы идентификации частиц.

- 6.1 Измерение ионизации и определение заряда частицы.
- 6.2 Идентификация методом ($\Delta E - E$).
- 6.3 Измерение скорости частицы черенковским счётчиком и методом времени пролёта.
- 6.4 Идентификация в магнитном спектрометре.

7. Характерные эксперименты в физике частиц и ядер. Ускорители, пучки частиц и ядер. Архитектура экспериментальных установок.

- 7.1 Характеристики внутренних и выведенных пучков ускорителей.
- 7.2 Методы формирования и транспортировки пучков.
- 7.3 Спектрометрия с помощью сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов.
- 7.4 Эксперименты на фиксированных мишенях.
- 7.5 Особенности работы на внутренних мишенях циклического ускорителя.
- 7.6 Эксперименты на коллайдерах.
- 7.7 Системы триггера для отбора редких событий.

8. Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.

- 8.1 Некоторые программы: природа спина адронов (поляризационные измерения), поиск экзотических состояний – глюоболов, пентакварков и др., исследование плотной и возбуждённой адронной материи (кварк-глюонная плазма и др.), физика нейтрино, поиск эффектов (частиц) за пределами стандартной модели.
- 8.2 Действующие ускорители и их характеристики.
- 8.3 Ускорители ближайшего будущего: НИКА (ОИЯИ), FAIR (Германия), ILC (Международный Линейный Коллайдер).

Материалы, используемые при контроле знаний студентов

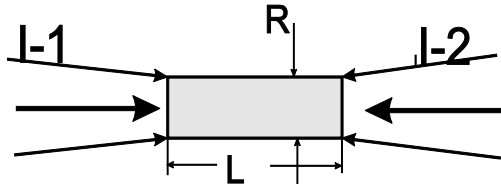
Во время опроса студентов кратко повторяется материал некоторых лекций, и решаются задачи. Ниже приводятся несколько характерных задачи.

1. Вычислить светимость цилиндрического объёма встречных протонных пучков с током $I_1 = 0,5$ А и $I_2 = 0,2$ А. Размеры цилиндра: радиус $r = 0,2$ мм и длина $l = 0,5$ м. Пучки пересекаются под углом, близким к нулю. Интенсивность пучков равномерная внутри цилиндра.

Решение.

Определение светимости L мишени или встречных пучков.

$$N_{\text{int}} = F\rho_{\text{arg}}l\sigma; \quad N_{\text{int}} = L\sigma; \quad L = F\rho_{\text{arg}}l.$$



Здесь N_{int} – число взаимодействий пучка с мишенью; I ток пучка; $F = I/e$ – число частиц в пучке, падающих на мишень в единицу времени; e – заряд частиц пучка; ρ – плотность мишени или пучка (число ядер в единице объёма); l – толщина мишени; σ – сечение взаимодействия частиц пучка с частицами мишени.

Определим плотность частиц в пучке. Рассмотрим произвольный интервал времени τ . За это время любое сечение пучка заметает цилиндр с длиной $l = \tau \cdot v$, v – скорость частиц в пучке. Объём цилиндра есть: $V = l \cdot \pi r^2$. Число частиц в цилиндре $n = I/e \cdot \tau$. Получаем искомую плотность частиц в пучке. (Один из пучков считаем мишенью).

$$\rho = \frac{n}{V}; \quad \rho = \frac{I\tau}{e\tau\pi r^2 v} = \frac{I}{e\pi r^2 v}; \quad \text{Answer: } L = \frac{I_1 I_2 l}{e^2 \pi r^2 v_1 v_2}; \quad [L] = \text{cm}^{-2} \text{c}^{-1}; [I] = \text{A}; [e] = \text{C}.$$

2. В пучке присутствуют μ и π - мезоны с одинаковым импульсом $p = 1$ ГэВ/с. Найти интервал, в котором должен находиться коэффициент преломления вещества радиатора черенковского счётчика, чтобы регистрировать только μ - мезоны.

Решение.

Скорость частицы вычисляется из соотношения $p = m\beta\gamma$, $\gamma = \sqrt{1 - \beta^2}$. Так как $m_\mu < m_\pi$, то $\beta_\mu > \beta_\pi$.

Минимальное значение коэффициента преломления, необходимое для регистрации μ , вычисляется по из соотношения $\beta_\mu = 1/n_{\mu, \text{min}}$. Максимальное значение – вычисляется из соотношения $\beta_\pi = 1/n_{\mu, \text{max}}$.

3. Ускоритель дейтронов имеет радиус $r = 10$ м. Импульс дейтронов $p = 2$ ГэВ/с. Найти напряжённость магнитного поля и частоту ускоряющего электрического поля.

Решение.

Магнитное поле B находится из соотношения $p = kB r$, $k = 0,3$, $[B] = Tl$, $[r] = m$. Скорость частицы определяется соотношениями $V = \beta c$, $p = m\beta\gamma$. Период вращения $T = 2\pi r/V$. Ответ $B = p/k r$, $v = 1/T$.

4. В пучке π - мезонов с импульсом $p = 1$ ГэВ/с имеется примесь электронов с тем же импульсом. В пучке установлены два счётчика на расстоянии $L = 10$ м. С какой точностью необходимо измерять время пролёта частиц для разделения π - мезонов и электронов?

Решение.

Скорость частицы вычисляется из соотношения $\beta = p/E$, $E = \sqrt{p^2 + m^2}$. Точность измерения времени пролёта частиц должна быть лучше, чем $\tau_\pi - \tau_e = L/c(1/\beta_\pi - 1/\beta_e)$.

5. Магнитный спектрометр имеет следующие компоненты.

Магнит имеет длину $l = 1$ м и напряжённость поля $B = 1$ Тл. Угол частиц на входе и выходе из магнита измеряется парой кремниевых детекторов с толщиной одного детектора $h = 1$ мм. Радиационная длина кремния равна $l_{\text{rad}} = 9,4$ см. Учитывая многократное рассеяние частиц во входном и выходном детекторах, определить импульсное разрешение спектрометра для импульса протонов $p = 1$ ГэВ/с.

Решение.

Угол поворота частицы в магните есть:

$$\theta = \frac{l}{r} = \frac{l}{p/kB} = \frac{kBl}{p} = \frac{C}{p}; \quad C = kBl, \quad k = 0,3.$$

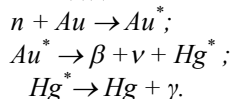
Здесь r – радиус кривизны траектории частицы в магните. Искомая неопределённость импульса δp связана с неопределённостью угла $\delta\theta$ соотношением

$$\delta\theta = \frac{C\delta p}{p^2};$$

С другой стороны неопределённость измеренного детекторами угла поворота $\delta(\theta_1 - \theta_2)$ есть

$$\delta(\theta_1 - \theta_2) = \sqrt{2}\delta\theta_{ms}; \quad \delta\theta_{ms} = \frac{K_M \sqrt{h/l_{\text{rad}}}}{p\beta c}; \quad \text{result: } \frac{\delta p}{p} = \sqrt{2}\delta\theta_{ms} \cdot p/C.$$

6. Под действием нейтронов происходит следующая цепочка реакций.



Последняя реакция – излучение γ возбуждённым ядром Hg^* имеет характерное время ~ 10 нс. Предложить схему аппаратуры для измерения этого времени и обсудить факторы, определяющие точность измерения.

Решение.

В районе мишени расположены два сцинтилляционных счётчика. Один счётчик регистрирует β , а другой γ . Сигнал с первого счётчика подаётся на «старт» ВЦП, а сигнал со второго – на «стоп» ВЦП. ВЦП регистрирует искомое время жизни ядра Hg^* .

Практические занятия.

Заслушивание и обсуждение рефератов, подготовленных студентами по рекомендованной литературе. Недали 12-я и 13-я.

Ниже приводится несколько характерных тем рефератов.

Устные доклады (около 15 мин) по рефератам входят в зачёт (или экзамен) по данному курсу.

Установка для исследования кумулятивных процессов.

Литература. И.Г.Алексеев и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента», ПТЭ, №4, стр. 5, 2008 г.

Дифференциальный счётчик Черенкова.

Литература. Фирузабади М.М. и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента» - ПТЭ, №2, стр. 43, 1999.

Изучение светосбора в калориметрах.

Литература. А.Б.Арефьев и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента», ПТЭ, №4, стр. 25, 2008 г.

Система лазерного контроля сцинтилляционного калориметра.

Литература. П.И.Гончаров и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента», ПТЭ, №6, стр. 11, 2000 г.

Калибровка CsI(Tl) калориметра с помощью продуктов распада каонов.

Литература. М.М.Хабибулин и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента», ПТЭ, №5, стр. 9, 2000 г.

Система измерения времени пролёта для установкиHADES.

Литература. Н.В.Рабин и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента», ПТЭ, №4, стр. 5, 2000.

Детектор заряженных частиц на основе пропорциональных трубок с сегментированным катодом.

Литература. А.М.Блик и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента», ПТЭ, №3, стр.63, 2001 г.

Плоскопараллельная камера как детектор для времяпролётных измерений.

Литература. В.А.Акимов и др. Журнал «Приборы и техника эксперимента», ПТЭ, №4, стр. 63, 2002 г.

Темы для рефератов на английском языке.

1. A.Gunsal et. al. A low pressure gas detector. Journal “Nuclear Instruments and methods.” NIM A, vol. 495, p. 216, 2002.
2. J.McDonald et al. Ionization chamber for monitoring of high-intensity charged particle beam. Journal “Nuclear Instruments and methods.” NIM A, vol. 496, #23, p. 293, 2003.
3. M.Hori et al. Analog Cherenkov detector. Journal “Nuclear Instruments and methods.” NIM A, vol. 496, p. 102, 2003.

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

Рекомендуемая литература

1 Основная литература.

- Ишханов Б.С. Частицы и атомные ядра: Учебник для вузов / Ишханов Борис Саркисович, Капитонов Игорь Михайлович, Юдин Николай Прокофьевич. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. - 584с.: --20 шт
- Л.Б. Окунь. Физика элементарных частиц. М., 1984 г.
- Л.Б. Окунь. Лептоны и кварки. М., 1990 г.
- D.H.Perkins. Introduction to High Energy Physics. 4th Edition. University of Oxford. 2000.
- В.М. Емельянов. Стандартная модель и её расширения. Физматлит, 2007.
- А.Л.Любимов, Д.Киш. Введение в экспериментальную физику частиц. Дубна, 1999.
- Н.М.Никитюк, В.Н.Самойлов. Физические установки на Большом Адронном Коллайдере. ОИЯИ. Дубна, 2008 г.
7. Ю.К.Акимов и др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М. Энергоатомиздат, 1989.
8. А.Н.Скринский. Ускорители, детекторы и перспективы физики элементарных частиц. УФН, т. 138, стр. 3.
9. Сборники лекций на школах ОИЯИ – ЦЕРН после 2000 г (жёлтые книги).
- Ландау Л.Д. Механика: Учебное пособие для вузов. 5-е изд., стер. - М.: Физматлит, 2004.
- Ландау Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория): Учебное пособие для вузов. 6-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2004.
- Тейлор Дж. Теория рассеяния. Квантовая теория нерелятивистских столкновений. М.: Мир, 1975.

2 Дополнительная литература

1. В.А.Григорьев и др. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. Энергоатомиздат, 1988.
2. В.А.Смирнов. Средства организации систем сбора данных. ЭЧАЯ, т. 286, вып. 5, стр. 1295, 1997.
3. Ю.М.Адо. Ускорители заряженных частиц. УФН, т.145, №1, стр. 87.
4. В.П. Карташов, В.И. Котов. Основные методы в оптике пучков заряженных частиц. М., 1984 г.
5. В.Dolgoshein. Transition radiation detectors. NIM, A326, p. 434, (1993).
6. В.Д.Пешехонов. Методика координатных газонаполненных детекторов... ЭЧАЯ, т. 17, в. 5, стр. 1030, (1986).
7. В.А.Бедняков и др. Лаборатория ядерных проблем им. В.П.Джелепова. На рубеже тысячелетий. ЭЧАЯ, т. 32, вып. 3, стр. 514, 2002.
8. Бом Д. Квантовая теория. 2-е изд., испр. - М.: Госиздат физико-математической литературы, 1965.

Периодические издания:

1. Успехи физических наук. / Учредитель: РАН; Гл.ред. Л.В.Келдыш. М.: 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. - Основан в 1965 году.
3. ЭЧАЯ (Элементарные частицы и атомные ядра). / Научный обзорный журнал. Основан ОИЯИ в 1970 г.

Справочные ресурсы и материалы в Интернет:

1. <http://nrv.jinr.ru/nrv>
2. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
3. <http://algolist.manual.ru/>
4. <http://www.poiskknig.ru/cgi-bin/poisk.cgi?>

7. Технические и электронные средства обучения

В ходе изучения курса предусмотрено использование компьютера для визуализации данных и работы в сети Интернет.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

(указываются специализированные лаборатории и классы, основные приборы, установки)

Практические задания выполняются в аудиториях оборудованных персональными компьютерами с доступом в Интернет, а также отдельным компьютером для преподавателя снабженным проектором для мультимедийных презентаций.

9. Формы контроля

Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:

1. Дать характеристику ускорительного комплекса ЦЕРН, или Лаборатории им. Ферми в США (FNAL), или Брукхейвенской Национальной Лаборатории США (BNL).
2. Открытие глубоко неупругих процессов во взаимодействии лептонов с нуклонами и жестких процессов во взаимодействии адронов (реакции с большой передачей импульса).
3. Элементы магнитной оптики и принцип построения каналов транспортировки пучка заряженных частиц. Графический расчёт фокусировки частиц парой квадрупольных магнитных линз и дипольным магнитом.
4. Основные понятия специальной теории относительности: скорость света как мировая константа, преобразования Галилея и Лоренца, четырёхмерные векторы. Вычислить энергию в с.ц.м. при столкновении pp и pd с заданными импульсами и с заданным относительным углом траекторий первичных частиц.

Экзаменационные вопросы по курсу «Экспериментальная физика высоких энергий»

І. Физические проблемы.

5. Стандартная Модель в физике частиц и ее основные положения. Фундаментальные конститuentы материи – кварки, лептоны и калибровочные бозоны.
6. Точечноподобные конститuentы адронов. Партоновая модель. От партонов к кваркам и глюонам. Аналогия с опытом Резерфорда.
7. Квантовая хромодинамика и ее экспериментальные основания. Спектр масс кваркониев. Потенциал кварк-антикваркового взаимодействия. Цвет и его пленение – конфайнмент.
8. Рождение струй адронов. Кварковые и глюонные струи. Подтверждение предсказаний КХД в рамках теории возмущений.
9. Систематика частиц. Распределение частиц по мультиплетам. Экзотические и неэкзотические состояния.

10. Постановка вопроса о фазовых переходах в плотной и возбуждённой ядерной материи. Оценка плотности энергии, достигаемой во взаимодействии тяжёлых ионов.
11. Основные коллективные эффекты, наблюдаемые в событиях столкновения тяжёлых ионов: течение ядерной материи, поглощение струй и частиц с большим импульсом.

II. Техника эксперимента

12. Типы ускорителей заряженных частиц: электростатические, линейные, циклические, коллайдеры.
13. Основные принципы планирования электронного эксперимента.
14. Процессы, сопровождающие прохождение заряженных частиц через вещество.
15. Принцип работы ППД.
16. Тепловой и токовый шум в электронных схемах.
17. Принцип построения спектрометрического канала регистрации частиц.
18. Методы идентификации частиц в области низких и высоких энергий.
19. Характерные блок-схемы аппаратуры в спектрометрических экспериментах с ППД.
20. Принцип подавления событий с наложением двух и более сигналов.
21. Принцип действия пропорциональной и дрейфовой камеры. Восстановление координат многочастичных событий.
22. Пороговые и дифференциальные черенковские счётчики и их характеристики.

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.

Методические рекомендации для преподавателей

Курс лекций рассчитан на студентов кафедры экспериментальной ядерной физики. В связи с этим необходимо сделать упор на изложении материала в приложении к задачам исследования реакций с частицами и ядрами. Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных презентаций. Следует уделить особое внимание практическим расчетам, выполняемым самими студентами при работе над текущими заданиями и рефератами. Допускается использование студентами уже существующих пакетов расчета характеристик ядерных реакций. Следует поощрять самостоятельное программирование.

Формулировку практических заданий следует выполнять подробно, а так же допускать использование интернет-ресурсов при работе над заданиями.

Контроль работы студента проводить в виде опроса по выполненному заданию и в виде реферативных докладов.

Дополнительная литература для разработки и переработки лекционных материалов:

1. Н. Мотт, Г. Месси, Теория атомных столкновений, М., Мир, 1969.
2. Р. Ньютон, Теория рассеяния волн и частиц, М., Мир, 1969.

3. А.И. Базь и др., Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике, М., Наука, 1971.
4. В.В. Балашов, Квантовая теория столкновений, М., МГУ, 1985.
5. В.М. Емельянов. Стандартная модель и её расширения. М., физматлит, 2007.
6. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. М., УРСС, 2004.
7. Ч.Пул. Справочное пособие по физике. М., Мир, 2001.

Методические рекомендации для студентов.

В силу большого объема изучаемого материала и ограниченного количества занятий работа студента над заданиями во многом должна быть самостоятельной. Допускается использование любой литературы и Интернет-ресурсов. Одобряется обращаться к преподавателю за консультациями.

Рабочей программой дисциплины «*Экспериментальная физика высоких энергий*» предусмотрена самостоятельная работа студентов **в объеме 45 часа**.

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины по материалам лекции и рекомендованной литературе;
- подготовку к практическим занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля.

Программой дисциплины предусмотрено решение задач и подготовка рефератов по индивидуальным заданиям, которые выполняются с использованием компьютера. Последовательность всех контрольных мероприятий изложена в календарном плане, который доводится до сведения каждого студента в начале семестра, а также размещен на сайте кафедры.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе данной дисциплины следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Материалы, используемые при контроле знаний студентов

1. Индивидуальные задания – задачи и рефераты.
2. Проверка и приём практических заданий.
3. Устный опрос на семинаре.