

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора
филиала МГУ в г.Дубне
/ Э.Э. Боос /
«01» сентября 2024 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Современная физика высоких энергий

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Физика элементарных частиц

Форма обучения:

Очная

Дубна 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению 03.04.02 «Физика», утвержденным приказом МГУ от 30.12.2020 г. № 1366.

Год (годы) приема на обучение_____

Авторы-составители:

1. Доктор физ.-мат. наук Строковский Евгений Афанасьевич, профессор физического факультета МГУ по совместительству

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, профессор академик РАН В.А. Матвеев, заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины

Курс посвящен ознакомлению с основными понятиями и методами в системе представлений о физике элементарных частиц и релятивистской ядерной физике; практике работы с базовыми понятиями физики элементарных частиц, квантовой теории поля, квантовой хромодинамики, теории электрослабого взаимодействия; обсуждение классических экспериментов по физике элементарных частиц; обсуждение связи космологии и физики элементарных частиц.

Дисциплина реализуется на 1 курсе в 1 семестре и является обязательной для освоения обучающимися.

Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 36 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часа, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) – зачет в 1 семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Современная физика высоких энергий» входит в блок «Профессиональный» вариативной части и является обязательной для освоения обучающимися в 1 семестре

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Компетенции	Результаты обучения
ПК-1	<p><u>Знать</u> разделы ядерной физики, необходимыми для решения поставленной научной задачи</p> <p><u>Уметь</u> применять экспериментальные и теоретические знания при решении поставленной научной задачи</p> <p><u>Владеть</u> экспериментальными и теоретическими методами исследования при решении научных задач в области современной ядерной физики</p>
МПК-2	<p><u>Знать</u> основные идеи методов, используемых для решения экспериментальных и теоретических задач в физике элементарных частиц и релятивистской ядерной физики и основные выполняемые эксперименты по физике элементарных частиц и релятивистской ядерной физике на международном уровне и внутри страны.</p> <p><u>Уметь</u> оценивать применимость различных методов и выбирать наилучший способ решения определенной задачи, а также находить актуальную и новую информацию по исследованиям в физике элементарных частиц и релятивистской ядерной физике.</p> <p><u>Владеть</u> способностью выделить недостатки и оценить неточность для определенного метода решения задач физики элементарных частиц и релятивистской ядерной физике; работать с книгами, публикациям, статьями и препринтами по физике высоких энергий и релятивистской ядерной физике и анализировать их.</p>

--	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная работа включает в себя: занятия лекционного типа и занятия семинарского типа.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Форма текущего контроля успеваемости, наименование
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, академические часы¹</i>						
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			Всего		
Семинары	Лабораторные занятия*		Практические занятия*					
Элементарные частицы материи - кварки и лептоны	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
Естественная система единиц	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
Изоспин	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
Бозоны и фермионы	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
P-четность	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
C-четность. Частицы и античастицы.	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания

¹Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

Странность.	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
CP-четность. Нарушение CP.	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
Очарованный кварк	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
В-кварк. Мезоны и барионы с b-кварком.	4	1	1			2	2	Опрос, проверка домашнего задания
Топ-кварк. Наивная кварковая модель.	7	2	2			4	3	Опрос, проверка домашнего задания
Мультиплеты мезонов в SU(2), SU(3) и SU(4).	7	2	2			4	3	Опрос, проверка домашнего задания
Векторные и псевдоскалярные мезоны. Массовые формулы Гелл-Манна- Окубо.	7	2	2			4	3	Опрос, проверка домашнего задания
Классификация барионов по мультиплетам.	7	2	2			4	3	Опрос, проверка домашнего задания
Промежуточная аттестация							4²	Зачет
Итого	72	36					36	

*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

²Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Типовые вопросы для проведения текущей проверки успеваемости:

1. Назовите действующие в настоящее время российские ускорители для физики частиц промежуточных и высоких энергий.
2. Каковы следствия зарядовой независимости ядерных сил для пи-мезонов?
3. Как обычно измеряются полные сечения рассеяния элементарных частиц?
4. Что такое «Мэдисоновская конвенция» и что она регламентирует?
5. Вы намерены создать пучок частиц со спином 1 (векторных), который должен иметь только векторную поляризацию (то есть, его тензорной поляризации нет). Какова может быть максимальная (по модулю!) векторная поляризация этого пучка?
6. Является ли нуклон «абсолютно чёрной» частицей?
7. Назовите главнейшие результаты экспериментов на коллайдере LEP.
8. Вы изучаете упругое рассеяние двух тождественных частиц, например – протона на протоне. Какую частицу вы назовёте рассеянной и каков максимальный угол её рассеяния, взятый в центре масс реакции?
9. Покажите, что эффективная масса группы фотонов, летящих в одном направлении, равна нулю.
10. Докажите, что если в некоторой системе отсчета направления движения двух фотонов совпадают, то они совпадают в любой другой системе отсчета. (На простом языке: вы, настроили, отъюстировали и включили 2 лазера (с пучками разных цветов), которые дали 2 параллельных пучка. Наблюдатель из любой другой (инерциальной) системы отсчета (Ийон Тихий, например, из своего звездолета) - тоже увидит эти пучки параллельными (хотя, м.б., других цветов) или эти пучки не будут для него параллельными?
11. Какие из перечисленных далее реакций имеют порог? $Kp \rightarrow \Lambda p$; $N(\Lambda, \Sigma)N$; $\Sigma N \rightarrow \Lambda N$
12. Имеется 2 частицы с массами m_1 и m_2 , 4-импульсы которых есть P_1 и P_2 . Когда эффективная масса такой системы максимальна, и когда она минимальна, если **энергии и массы частиц не меняются**, но **вы можете все-таки варьировать нечто иное**? Обоснуйте ответ.

Типовые вопросы, задания для проведения промежуточной аттестации (зачета):

Билет 1.

1. Каковы следствия зарядовой независимости ядерных сил для пиона?
2. Что такое переменная Фейнмана x_F ?

3. Меняется ли «размер» адрона (например, нуклона) при переходе от энергий ускорителя ПИЯФ к энергиям ЛНС, оцениваемый из данных об их взаимодействии с нуклоном?
4. Дайте качественный анализ изменения эллипса импульсов вторичной частицы, рожденной в реакции, имеющей порог, при росте энергии снаряда от нуля и до произвольно большой величины.

Билет 2.

1. Отличаются ли друг от друга реакции «формирования резонанса» (resonance formation) и «рождения резонанса» (resonance production)? Приведите (на схематических диаграммах) примеры реакций этих типов.
2. Что такое «отталкивающий кор» в нуклон-нуклонном потенциале?
3. Какие значения поляризации пучка векторных частиц возможны?
4. Чем отличается «эффективная масса» системы частиц от «недостающей массы»?

Билет 3.

1. Что такое «диаграмма Аргана»?
2. Вы проводите эксперимент по множественному рождению частиц в инклюзивной постановке, регистрируя некоторую частицу, и намерены изучить этот процесс в малой окрестности ее максимально возможного поперечного импульса p_{\perp} . Как вы определите переменную Фейнмана x_F в этой области фазового пространства?
3. Чему равны изоспины дейтрона и ядра гелия-4 (альфа-частицы) и какие экспериментальные факты подтверждают ваши утверждения о величине изоспинов этих ядер?
4. Что такое «слабый изоспин»? Совпадает ли он с «обычным» изоспином?

Билет 4.

1. Насколько общий характер имеют дисперсионные соотношения для амплитуды упругого рассеяния «вперед»?
2. До каких расстояний между элементарными частицами можно пользоваться понятием потенциала их взаимодействия? Дайте ответ в единицах Фм и обоснуйте его.
3. Что такое «эллипс импульсов»?
4. Каковы максимальные и минимальные численные значения анализирующих способностей реакций с участием поляризованных частиц? Откуда эти ограничения возникают?

Билет 5.

1. Что такое «фазовый анализ» и для чего он нужен?
2. Существуют два типа экспериментов: (а) на встречных пучках (коллайдерные) и (б) на выведенных (или вторичных) пучках с мишенью, покоящейся в

- лаборатории («эксперименты с фиксированной мишенью»). Охарактеризуйте их основные достоинства и недостатки по отношению друг к другу.
3. Вы намерены создать пучок векторных частиц, имеющих только векторную поляризацию (то есть, тензорная поляризация отсутствует). Какова максимальная (по модулю) векторная поляризация вашего пучка, которую вы можете достигнуть?
 4. Вы проводите эксперимент по множественному рождению частиц в инклюзивной постановке, регистрируя некоторую частицу, и намерены изучить этот процесс в малой окрестности ее максимально возможного поперечного импульса p_{\perp} . В какой области будут находиться значения недостающей массы?

Билет 6.

1. Что такое «полюс Померанчука»?
2. Какие нуклон-нуклонные потенциалы вы знаете и в какой энергетической области можно пользоваться понятием потенциала? Если эта область ограничена, то где эта энергетическая граница (в ГэВ)?
3. Дайте качественный анализ изменения эллипса импульсов вторичной частицы, рожденной в реакции, имеющей порог, при росте энергии снаряда от нуля и до произвольно большой величины.
4. Что такое «диаграмма Раби»? Дайте характерный вид диаграммы Раби для водорода и дейтерия и объясните ее.

Билет 7.

1. Вы проводите эксперимент по множественному рождению частиц в инклюзивной постановке, регистрируя некоторую частицу, и намерены изучить этот процесс в малой окрестности вблизи максимального, разрешенного кинематикой, значения недостающей массы. В какой области будут находиться значения поперечного импульса p_{\perp} и переменной x_F для этой частицы?
2. Для каких взаимодействий изоспиновая симметрия является точной?
3. Что такое «поколения кварков»? Существуют ли поколения лептонов?
4. Почему кваркам пришлось приписать «цветовое» квантовое число?

Билет 8.

1. Назовите главнейшие результаты экспериментов на коллайдере LEP.
2. Что такое «поляризация» пучка частиц? Сколько поляризационных параметров характеризуют состояние пучка частиц со спином S ?
3. Что такое «время-проекционная камера»? Где такие детекторы применяются?
4. Чем замечательны дисперсионные соотношения в физике частиц?

Билет 9.

1. Как можно было бы охарактеризовать качественные признаки неупругого дифракционного рассеяния (дифракционной диссоциации)?
2. Пусть упругое рассеяние частицы спина $\frac{1}{2}$ на бесспиновой мишени имеет ненулевую анализирующую способность A . Вы рассеиваете неполяризованный пучок упомянутых выше частиц на той же мишени и измеряете поляризацию P рассеянных частиц. Как соотносятся A и P при одном и том же угле рассеяния и одной и той же энергии столкновения в этой реакции?
3. Что такое «дифракционный конус»?
4. Что такое «прямая реконструкция амплитуды рассеяния»? Для чего она используется?

Билет 10.

1. Пусть в вашем распоряжении есть пучок векторных частиц с векторной поляризацией $+1$. Имеет ли он также и тензорную поляризацию? Если имеет, то какую?
2. Что такое «кумулятивная реакция»?
3. Существует ли фазовый анализ каон-протонного рассеяния и нужен ли он?
4. Опишите принцип работы источника поляризованных частиц.

Билет 11.

1. Какие методы идентификации элементарных частиц вы знаете?
2. Предположим, что вы надежно установили нарушение дисперсионных соотношений в упругом рассеянии некоторых частиц. Что следовало бы из этого факта?
3. В результате чего возникает чувствительность реакции к поляризации пучка?
4. Как ведут себя полное парциальное сечение рассеяния и отношение вещественной части амплитуды рассеяния «вперед» к ее мнимой части при прохождении через резонанс?

Билет 12.

1. В какого типа экспериментах можно сосчитать число кварков в природе, если кварки – физические частицы?
2. Что понимается под эффективными $3N$ -силами?
3. Что такое длина рассеяния и о чем говорит ее знак?
4. В чём состоит основная идея Редже и «реджистики»? Что такое «полюса Редже»?

Билет 13.

1. Что такое «изоспин»? Выпишите квантовые числа изоспина для протона, нейтрона, антипротона и антинейтрона.
2. Может ли быть ненулевая тензорная анализирующая способность у некоторой реакции рассеяния векторной частицы, если рассеяние произошло «вперед» (т.е. на нулевой угол)? Обоснуйте ответ.
3. Что такое «Мэдисоновская конвенция» и что она регламентирует?

4. Одинаковы ли «размеры» частицы и античастицы (например, протона и антипротона), оцениваемые из данных об их взаимодействии с нуклоном?

6.2. Шкала и критерии оценивания

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний	В целом успешные, но не систематические знания	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания	Успешные и систематические знания
Умения	Отсутствие умения применять знания фундаментальных и актуальных проблем.	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания	Успешное и систематическое умение применять знания
Навыки	Отсутствие/фрагментарные навыки в решении задач	В целом успешные, но не систематические навыки в решении задач	В целом успешные, но содержащее отдельные пробелы навыки в решении задач	Успешные и систематические навыки в решении задач

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Л.Б.Окунь Физика элементарных частиц. М., Наука., 1988
2. Д.Перкинс, Введение в физику высоких энергий, М., Энергоатомиздат, 1991
3. М.Е.Пескин, Д.В.Шредер, Введение в квантовую теорию поля., Ижевск, НИЦ РХД, 2001
4. Г.И.Копылов, Основы кинематики резонансов, М., Наука, 1970

Дополнительная литература

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 2, М. Наука, 1988
2. Е. Бюклинг, К. Каянти, Кинематика элементарных частиц, М., Мир, 1975

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования)
<http://www.elibrary.ru>
- Открытая база данных Particle Data Group
- поисковая система INSPIRE (<http://inspirehep.net/>)
- Электронные версии журналов Phys. Lett., Phys. Rev., Eur. Phys. J., Nucl. Phys., Nucl. Instrum and Meth.

Описание материально-технической базы: курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски

8. Язык преподавания: русский