



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
физический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
/Буднев Н.М.
"25" 03 2019 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Код дисциплины Б1.В.ДВ.1.1

Наименование дисциплины: **Феноменологические модели физики высоких энергий**

Направление подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

03.06.01 – Физика и астрономия

Направленность (научная специальность) **Теоретическая физика**

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол №20 от «17» апреля 2019 г.
Председатель УМК /Буднев Н.М./

Программа рассмотрена на заседании
кафедры теоретической физики
«20» марта 2019 г. Протокол № 8
И.о. зав. кафедрой /С.В. Ловцов/

Иркутск 2019 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины.....	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля).....	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы.....	4
5. Содержание дисциплины (модуля).....	4
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	8
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	8
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	9
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	9
10. Образовательные технологии.....	9
11. Оценочные средства (ОС).....	9

1. Цели и задачи дисциплины

Курс «Феноменологические модели физики высоких энергий» является важной частью универсальной базы для изучения специальных дисциплин, вооружает аспирантов необходимыми знаниями для решения теоретических и прикладных аспектов научных задач, знакомит с синтезом первоначально несвязанных идей и подходов и формированием фундаментального направления в физике мягких адронных процессов, остающихся и на сегодняшний день за пределами применимости теории возмущений квантовой хромодинамики.

Цель курса «Феноменологические модели физики высоких энергий» - изучение процессов сильного взаимодействия при высоких энергиях, описание характеристик инклюзивных реакций с участием нуклонов и мезонов в рамках моделей, которые используются для расчета и моделирования широких атмосферных ливней, генерируемых космическими лучами в атмосфере Земли и в астрофизических объектах, представляющих интерес как источники космического излучения высокой и сверхвысокой энергии. В результате изучения курса аспирант приобретает фундаментальные знания об адронных взаимодействиях, составляющих основу механизмов генерации космических лучей, гамма-квантов и нейтрино.

Задачи курса: изучить основные феноменологические подходы к описанию характеристик мягких адронных процессов при очень высоких энергиях, исследование которых лежит за пределами применимости теории возмущений квантовой хромодинамики. Адронные взаимодействия с небольшими передачами импульса играют важную роль в развитии широких атмосферных ливней, регистрация которых и измерение характеристик является важным звеном изучения спектра космических лучей и исследования механизма генерации потоков мюонов и нейтрино в атмосфере Земли. Детально проработанные феноменологические модели адронных процессов (QGSJET, SIBYLL, DPM, EPOS и др.) служат инструментом для моделирования развития ШАЛ и в настоящее время подвергаются всесторонним проверкам в экспериментах с космическими лучами и на Большом адронном коллайдере.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Феноменологические модели физики высоких энергий» относится к вариативной части математического и естественнонаучного цикла дисциплин и является основой таких дисциплин как «Астрофизика высоких энергий» и «Нейтринная астрофизика». Поэтому изучение данной дисциплины является неотъемлемой частью образовательного цикла по кафедре теоретической физики.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин: «Теория рассеяния», «Введение в квантовую теорию поля», «Релятивистская квантовая теория», «Феноменологические модели адронных взаимодействий при высоких энергиях».

При изучении дисциплины «Феноменологические модели физики высоких энергий» аспиранты изучают и осваивают наиболее необходимые понятия и методы физики высоких энергий, способы теоретического описания, количественного и качественного анализа квантовых процессов в системах, состоящих из одной или многих частиц, а также в системах с неопределенным или меняющимся числом частиц.

Программа курса ориентирована на тематику научных исследований Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, базовой кафедрой которого является кафедра теоретической физики ИГУ и Научно-исследовательского института прикладной физики ИГУ.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование профессиональной компетенций:

- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-1);
 - владеть разделами физики, необходимыми для решения научно- инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);
 - владение новыми методами и методологическими подходами необходимыми для участия в научно- инновационных исследованиях и инженерно- технологической деятельности (ПК-3).
- В результате изучения курса «Феноменологические модели физики высоких энергий» аспиранты должны

знать:

- основные закономерности и характеристики адронных процессов при высоких энергиях;
- общие теоремы адронных взаимодействий: оптическую, Фруассара, Померанчука;
- теорию Грибова-Редже;
- обобщенную оптическую теорему Мюллера;
- подход, основанный на топологическом разложении амплитуды адронного взаимодействия;
- основные модели адронных взаимодействий, зашитых в коды моделирования ШАЛ.

уметь:

- получать оценки характеристик процессов множественных рождения частиц в рамках мультипериферической модели,
- находить асимптотику поведения полных и упругих сечений адронных взаимодействий;
- проводить реджевский анализ инклюзивных процессов в различных кинематических областях.

владеть: математическим аппаратом описания упругих и неупругих процессов, навыками расчета характеристик множественных процессов при высоких энергиях в рамках основных феноменологических моделей.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Курсы			
		1	2	3	4
Аудиторные занятия (всего)	36/1		36		
В том числе:					
Лекции	18/0,5		18		
Практические занятия (ПЗ)	18/0,5		18		
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)					
КСР					
Самостоятельная работа (всего)	72/2		72		
В том числе:					
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)					
Общая трудоемкость	часы	108	108		
	зачетные единицы	3	3		

5. Содержание дисциплины (модуля)**5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)**

Тема 1. Постулаты аналитической теории S-матрицы: лоренц-инвариантность, унитарность, аналитичность. Амплитуда рассеяния частиц при высоких энергиях, кинематика четырех-хвостки, переменные Манделъстама. Кроссинг-симметрия двухчастичных реакций, s -, t -, u -каналы, плоскость Манделъстама. Связь между амплитудой рассеяния и измеряемыми величинами.

Тема 2. Физические области в пространстве s -, t -, u -инвариантов. Характер сингулярностей амплитуды рассеяния на физическом и нефизических листах. Дисперсионные соотношения для амплитуды рассеяния, представление Манделъстама для двойных дисперсионных соотношений. Строго доказанные аналитические свойства в аксиоматической квантовой теории поля.

Тема 3. Три теоремы адронных взаимодействий: оптическая теорема, ограничение Фруассара и теорема Померанчука.

Тема 4. Разложение амплитуды по парциальным волнам, асимптотическое поведение, представление Грибова-Фруассара. Полиномиальная ограниченность роста амплитуды, граница Фруассара. Аналитическое продолжение амплитуды рассеяния в комплексную плоскость углового момента, теорема Карлсона, преобразование Зоммерфельда-Ватсона. Потенциальное рассеяние, модель полюсов Редже.

Тема 5. Релятивистская теория полюсов Редже, свойства траектории Редже. Связь рождения резонансов (s -канал) и процессов обмена реджеоном (t -канал). Вычет в полюсе Редже, асимптотика амплитуды рассеяния, правая особенность. Свойство дуальности высокоэнергетической амплитуды, амплитуда Венециано.

Тема 6. Полюс Померанчука и его свойства. Множественный обмен реджеонами и померонами, движущиеся точки ветвления в комплексной J -плоскости и разрезы. Свойство дуальности высокоэнергетической амплитуды, амплитуда Венециано.

Тема 7. Множественные процессы, кинематика, инклюзивные реакции, инварианты инклюзивных распределений. Три кинематические области множественных процессов - область фрагментации пучка, область фрагментации мишени и область пионизации (центральная область). Гипотеза предельной фрагментации и гипотеза фейнмановского скейлинга (масштабная инвариантность). Закономерности множественных реакций, наблюдаемые экспериментально.

Тема 8. Мультипериферическая модель множественного рождения, кинематика, реджевская асимптотика мультипериферической амплитуды.

Тема 9. Реджевский анализ инклюзивных процессов, обобщенная оптическая теорема Мюллера, реджезация 6 -хвостки в различных кинематических областях. Диффракционная диссоциация, тройной реджевский предел. Различная постановка эксперимента, данные и их описание.

Тема 10. Топологическое $1/N$ -разложение амплитуды адронного взаимодействия и связь с теорией Редже. Пространственно-временная картина взаимодействия, топологическая структура полюса Померанчука, планарные и цилиндрические диаграммы, динамический характер топологического разложения. Связь s -канального топологического разложения амплитуды бинарного процесса с t -канальным разложением по полюсам Редже. Глуболы и динамическая природа померона в квантовой хромодинамике. Померон и физика малых бьеркеновских x в глубоко-неупругом рассеянии.

Тема 11. Модель кварк-глюонных струн (МКГС), образование струн, их разрыв, и механизм фрагментации кварков в адроны. Сравнение предсказаний МКГС с экспериментом, предсказания для эксперимента ЛНС.

Тема 12. Глубоко-неупругое рассеяние лептонов на нуклоне, структурные функции нуклона, кинематика, бьеркеновский скейлинг. Расчет сечения ГНР в кварк-партонной модели и экспериментальные данные. Методы КХД применительно к ГНР, эволюция кварковых и глюонных распределений в нуклоне.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения последующих дисциплин
1	Астрофизика высоких энергий	Темы 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11
2	Нейтринная астрофизика	Темы 7, 8, 11, 12

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Раздел I	Постулаты аналитической теории S-матрицы. Амплитуда рассеяния частиц при высоких энергиях, переменные Манделштама. Кроссинг-симметрия двухчастичных реакций, s-, t-, u-каналы. Связь между амплитудой рассеяния и измеряемыми величинами	2	2			6	10
2.		Дисперсионные соотношения для амплитуды рассеяния, представление Манделштама для двойных дисперсионных соотношений	2	2			6	10
3.		Три теоремы адронных взаимодействий: оптическая теорема, ограничение Фруассара и теорема Померанчука	2	2			6	10
4.		Аналитическое продолжение амплитуды рассеяния в комплексную плоскость углового момента. Преобразование Зоммерфельда-Ватсона. Модель полюсов Редже в нерелятивистском потенциальном рассеянии	2	2			6	10
5.		Релятивистская теория полюсов Редже, свойства траектории Редже, асимптотика амплитуды рассеяния	2	2			6	10
6.		Вакуумная траектория Редже, свойства померона. Множественный обмен реджеонами и померонами, движущиеся точки ветвления в комплексной J-плоскости и разрезы. Свойство дуальности высокоэнергетической амплитуды, амплитуда Венециано	2	2			6	10
7.	Раздел II	Множественные процессы, кинематика, инклюзивные реакции, инварианты инклюзивных распределений. Гипотеза фейнмановского скейлинга. Закономерности множественных процессов, наблюдаемые на эксперименте	1	1			6	8

8.	Мультипериферическая модель множественного рождения, кинематика, реджевская асимптотика МР амплитуды	1	1			6	8
9.	Реджевский анализ инклюзивных процессов, обобщенная оптическая теорема Мюллера, реджезация б-хвостки в различных кинематических областях. Диффракционная диссоциация, тройной реджевский предел	1	1			6	8
10.	Топологическое разложение амплитуды адронного взаимодействия и связь с теорией Редже. Пространственно-временная картина взаимодействия, топологическая структура полюса Померанчука, планарные и цилиндрические диаграммы, динамический характер топологического разложения. Глюболы и динамическая природа померона в КХД.	1	1			6	8
11.	Модель кварк-глюонных струн, образование струн, их разрыв, и механизм фрагментации кварков в адроны. Сравнение предсказаний МКГС с экспериментом, предсказания для эксперимента LHC	1	1			6	8
12.	Глубоко-неупругое рассеяние лептонов на нуклоне, структурные функции нуклона, кинематика, бьеркеновский скейлинг. Расчет сечения ГНР в кварк-партонной модели и экспериментальные данные. Померон и физика малых бьеркеновских x в процесссах ГНР.	1	1			6	8

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1	Амплитуда рассеяния частиц при высоких энергиях, кинематика двухчастичной реакции, кроссинг-симметрия, связь между амплитудой рассеяния и сечениями	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1, ПК-2, ПК-3
2	Тема 3, 4	Разложение амплитуды по парциальным волнам, асимптотическое поведение, преобразование Ватсона-Зоммерфельда. Модель полюсов Редже для рассеяния частицы на юкавском потенциале	4	Задание на семинаре в виде задачи	
3	Тема 6	Множественные процессы, кинематика, инклюзивные реакции. Кинематические области множественных процессов	2	Задание на семинаре в виде задачи	
4	Тема 7	Мультипериферическая модель множественного рождения, кинематика, реджевское поведение мультипериферической амплитуды	2	Задание на семинаре в виде задачи	
5	Тема 8	Реджевский анализ инклюзивных процессов, обобщенная оптическая теорема Мюллера, реджезация б-хвостки в различных кинематических областях.	2	Задание на семинаре в виде задачи	
6	Тема 10	Расчет инклюзивных распределений и полных неупругих сечений в модели кварк-глюонных струн, предсказания для эксперимента LHC	4	Задание на семинаре в виде задачи	

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Петрина, Д. Я. Квантовая теория поля : учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов / Д. Я. Петрина. - Изд. стер. - М. : Либроком, 2015. - 247 с. ; 21 см. - ISBN 978-5-397-04802-6 (3)
2. Высоцкий, Михаил Иосифович. Лекции по теории электрослабых взаимодействий [Электронный ресурс] / М. И. Высоцкий. - Москва : Физматлит, 2011. - 150, [1] с. [1] с. : ил. ; 22. - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ.

Дополнительная литература

1. Клоуз, Ф. Кварки и глюоны. Введение в теорию [Текст] : научное издание / Ф. Клоуз ; пер. с англ. П. Б. Вигман ; ред. Н. Н. Николаев. - М. : Мир, 1982. - 438 с. (2)
2. Коллинз, П. Полюса Редже в физике частиц [Текст] / П. Коллинз, Ю. Сквайрс ; пер. с англ. А. И. Наумов ; ред. А. М. Бродский. - М. : Мир, 1971. - 351 с. (1)
3. Новожилов, Юрий Викторович. Введение в теорию элементарных частиц [Текст] : моногр. / Ю. В. Новожилов. - М. : Наука, 1972. - 472 с. (1)
4. Синеговский, С. И. Космические нейтрино высоких энергий [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. И. Синеговский. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ.
5. Лебедев Н.Н. «Специальные функции и их приложения». [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н. Н. Лебедев. - Москва: Лань, 2010. - 358 с. - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1023-1

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Научная библиотека ИГУ <http://library.isu.ru/>, поисковая система INSPIRE журнальных статей и материалов конференций <http://inspirehep.net/>, базы данных и электронных препринтов по физике и астрофизике высоких энергий <http://arxiv.org/>.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Методическим оформлением курса является использование современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в феноменологической физике.

10. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** работы студентов осуществляется осуществляется на лекционных и практических занятиях в виде выполнения ими самостоятельных заданий.

11. Оценочные средства (ОС)

11.1. Оценочные средства для входного контроля:

Для изучения данного курса студент должен владеть основами физики и теоретической физики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль умений и знаний не проводится.

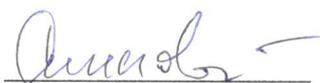
11.2. Оценочные средства текущего контроля: *текущий контроль не планируется.*

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Примерный список вопросов и задач к зачету:

1. Кинематика рассеяния частиц при высоких энергиях, s -, t -, u -каналы. Кроссинг-симметрия двухчастичных реакций. Связь амплитуды рассеяния и измеряемых величин.
2. Упругое рассеяние, разложение амплитуды по парциальным волнам, представление прицельного параметра при высоких энергиях, условие унитарности для упругого рассеяния и его обобщение на неупругие процессы, квазиэйкональное приближение для амплитуды рассеяния.
3. Аналитическое продолжение амплитуды рассеяния в комплексную плоскость углового момента, сходимости фонового интеграла. Релятивистская теория полюсов Редже, траектории Редже, диаграммы Чью-Фраучи.
4. Проблема высоких спинов в процессах при высоких энергиях, необходимость реджеонов и вакуумного полюса с высоким интерсептом, свойства померона.
5. Доказать три теоремы адронных взаимодействий при высоких энергиях - оптическую, Фруассара и Померанчука.
6. Множественные процессы, инклюзивные реакции, инварианты инклюзивных распределений. Кинематические области фрагментации, пионизации. Гипотеза фейнмановского скейлинга.
7. Мультипериферическая модель множественного рождения, реджевская асимптотика МР-амплитуды, вычисление характеристик множественных процессов в рамках МР модели.
8. Реджевский анализ инклюзивных процессов в различных кинематических областях. Диффракционная диссоциация, тройной реджевский предел.
9. Топологическое разложение амплитуды адронного взаимодействия, связь с теорией Редже-Грибова. Топологическая структура полюса Померанчука, планарные и цилиндрические диаграммы. Динамическая природа померона в квантовой хромодинамике.
10. Модель кварк-глюонных струн и ее предсказания для эксперимента LHC.

Разработчик:



профессор, д.ф.-м.н. С.И. Синеговский

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики ИГУ
«20» марта 2019 г. протокол №8

И.о. зав. кафедрой



С.В. Ловцов