

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
МФТИ**

Кафедра «Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе

_____ **О.А. Горшков**

_____ **2012 г.**

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

**по дисциплине: Элементы нейтринной физики и астрофизики
по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»
магистерская программа: 010912 - «Теоретические проблемы физики
элементарных частиц»**

факультет: ФОПФ

кафедра: Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира

курс: 5 (магистратура)

семестр: весенний

Экзамен: 9 семестр

Трудоёмкость в зач. ед.: вариативная - 3 зач.ед.

в т.ч.:

лекции: вариативная часть - 32 часа

семинарские занятия: вариативная часть - нет

лабораторные занятия: нет

**самостоятельная работа: вариативная часть - 32 часов + 30 часов на
подготовку к экзамену, 2 зач. ед..**

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ: 64

Программу составил к.ф.-м.н. Наумов В.А.

**Программа обсуждена на заседании кафедры «Фундаментальных и прикладных
проблем физики микромира»**

« ____ » _____ 2012 г.

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор Казаков Д.И.

ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ

Вариативная часть, в т.ч. :	<u> 3 </u> зач. ед.
Лекции	<u> 32 </u> часа
Семинарские занятия	<u> — </u> часа
Лабораторные работы	<u> — </u> часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	<u> — </u> часов
Самостоятельные занятия	<u> 62 </u> часа
ВСЕГО	94 часа (3 зач. ед.)
Итоговая аттестация	Экзамен 9 семестр

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель курса - освоение студентами фундаментальных знаний в области современной нейтринной физики и астрофизики, изучение основ теории слабых взаимодействий и решения проблемы включения массы нейтрино в Стандартную, смешивания поколений, теории нейтринных осцилляций, методов детектирования нейтрино, механизмов образования нейтрино в атмосфере Земли, Солнце и других астрофизических источниках, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

Задачами данного курса являются:

- формирование базовых знаний в области теоретической и экспериментальной физики элементарных частиц и астрофизики;
- обучение студентов современным методам теоретического описания различных процессов слабого взаимодействия;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «**Элементы нейтринной физики и астрофизики**» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части профессионального цикла ООП М.1.

Дисциплина «**Элементы нейтринной физики и астрофизики**» базируется на материалах курсов, читаемых в рамках базовой и вариативной частей УЦ ООП Б.2 и Б.3 (Математический анализ, Дифференциальные уравнения, Теория функций комплексного переменного, Уравнения математической физики, Квантовая теория поля, Физика элементарных частиц, Квантовая теория калибровочных полей), и относится к профессиональному циклу.

КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «**Элементы нейтринной физики и астрофизики**» направлено на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций

магистра:

а) общекультурные (ОК):

- компетенция самообразования и самоорганизации (ОК-1);
- компетенция профессиональной мобильности (ОК-2);
- компетенция получения знаний и использования новой информации (ОК-3);
- компетенция системного аналитического мышления (ОК-4);
- компетенция креативности (ОК-5).

б) профессиональные (ПК):

- компетенция профессионального использования информации (ПК-1);
- компетенция профессиональной аналитической деятельности (ПК-2);
- компетенция креативности в научно-исследовательской и инновационной деятельности (ПК-3);
- компетенция профессионального владения информационно-коммуникационными технологиями (ПК-4);
- компетенция презентации своей деятельности (ПК-6);
- компетенция самостоятельных исследований (ПК-10);
- компетенция обобщения и презентации результатов исследований (ПК-15).

3. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины «Элементы нейтринной физики и астрофизики» обучающийся должен:

1. Знать:

- лагранжиан Стандартной Модели (СМ), механизм Хиггса;
- общую структуру дираковского и майорановского массовых членов в лептонном секторе СМ;
- алгоритм Мурнагана для параметризации вакуумной матрицы смешивания;
- качельный механизм генерации масс нейтрино (“see-saw”), классификацию различных типов see-saw (I, II, III, обратный, радиационный, двойной, квадратичный), классификацию текстур массовой матрицы, 2- и 3-максимальное смешивание;
- квантовомеханическую теорию нейтринных осцилляций, МСВ механизм, влияние эффекта неупругих взаимодействий нейтрино с веществом на вероятности осцилляций, основы квантовополевого описания вакуумных нейтринных осцилляций;
- вершины взаимодействия нейтрино с лептонами и кварками;
- основы партонной модели, понятие о партонных функциях распределения;
- особенности описания процессов взаимодействий нейтрино за счет слабых заряженных и нейтральных токов (форм-факторы нуклона, структурные функции), общую структуру адронных токов;
- основные ядерные реакции горения водорода в звездах (pp-цепочка, CNO-би-цикл), процессы образования нейтрино в Солнце, основные экспериментальные методы регистрации солнечных нейтрино (радиохимические, черенковские), результаты важнейших экспериментов по регистрации СН (Cl-Ag детектор в Хоумстэйке, Ga-Ge детекторы SAGE, GALLEX, GNO, водно-черенковские детекторы Super-Kamiokande и SNO);
- основные реакции генерации мюонов и (анти)нейтрино при взаимодействии космических лучей с атмосферой Земли, особенности развития ШАЛ (геомагнитные и метеорологические эффекты, влияние солнечной активности), методы регистрации атмосферных и астрофизических нейтрино (черенковские, акустические, радио),

основные параметры современных глубоководных и подледных нейтринных телескопов (БНТ, AMAND, IceCube, NEMO, NESTOR, ANTARES, KM3NET) ;

- основные процессы образования антинейтрино в ядерных реакторах и методы регистрации реакторных и геофизических антинейтрино, результаты экспериментов KamLAND, Daya Bay, Reno и др.);
- основы физики коллапса и энерговыделения на конечной стадии эволюции массивных звезд, основные процессы образования (анти)нейтрино при взрывах сверхновых, pp-pp-механизмы генерации нейтрино в астрофизических источниках (активные галактические ядра, релятивистские струи), механизм образования космогенных (ГЗК) нейтрино;
- космологические ограничения на массы нейтрино.

2. Уметь:

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики элементарных частиц.

3. Владеть:

- техникой расчета ширин слабых распадов элементарных частиц и сечений взаимодействия нейтрино с лептонами и нуклонами;
- методами диагонализации массовой матрицы в лагранжиане SM;
- методами решения уравнения Вольфенштейна для описания нейтринных осцилляций в веществе;
- методом учета неупругих взаимодействий нейтрино в анализе нейтринных осцилляций в поглощающих астрофизических средах;
- качественными методами оценки потоков (анти)нейтрино от астрофизических источников и космических лучей;

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура преподавания дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам

№ темы и название	Количество часов
1. Введение (часть I).	4
2. Введение (часть II).	4
3. Обзорная часть: реликтовые, солнечные нейтрино.	4
4. Обзорная часть: геонейтрино, атмосферные и астрофизические нейтрино, нейтрино и космология.	4
5. Основные процессы взаимодействия нейтрино с веществом.	4
6. Стандартная Модель и проблема массы нейтрино.	8
7. Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в вакууме.	4
8. Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в веществе.	4
9. Квантовополевая теория нейтринных осцилляций в вакууме.	8
10. Солнечные нейтрино	6
11. Эксперименты по регистрации солнечных нейтрино, геонейтрино и антинейтрино от ядерных реакторов.	4
12. Атмосферные мюоны и нейтрино.	6
13. Астрофизические и космогенные нейтрино.	4
ВСЕГО (часов (зач.ед.))	64 часа

ВИД ЗАНЯТИЙ: ЛЕКЦИИ

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Введение (часть I).	2
2	Введение (часть II).	2
3	Обзорная часть: реликтовые, солнечные нейтрино.	2
4	Обзорная часть: геонейтрино, атмосферные и астрофизические нейтрино, нейтрино и космология.	2
5	Основные процессы взаимодействия нейтрино с веществом.	2

6	Стандартная Модель и проблема массы нейтрино.	4
7	Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в вакууме.	2
8	Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в веществе.	2
9	Квантовополевая теория нейтринных осцилляций в вакууме.	4
10	Солнечные нейтрино.	4
11	Эксперименты по регистрации солнечных нейтрино, геонейтрино и антинейтрино от ядерных реакторов.	2
12	Атмосферные мюоны нейтрино.	2
13	Астрофизические и космогенные нейтрино.	2
ВСЕГО (зач. ед. (часов))		1 зач. ед. (32 часа)

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Изучение теоретического курса Выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций. Результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях. Используются конспекты лекций, учебное пособие, а также рекомендованная учебная литература.	32
2	Решение задач по заданию преподавателя Решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий. Результаты контролируются преподавателем на семинарских занятиях. Используются конспекты лекций, учебное пособие, включающее сборник задач, а также рекомендованная учебная литература.	
3	Подготовка к экзамену	30
ВСЕГО (зач. ед. (часов))		62 часов (2 зач.ед.)

Содержание дисциплины

Развёрнутые темы и вопросы по разделам

№ п/п	Название модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (зачетные единицы / часы)	Самостоятельная работа (зачетные единицы / часы)
1		Введение (часть I).	Вопросы для разминки. Краткий обзор современных представлений о роли нейтрино в физике элементарных частиц, ядерной физике, астрофизике, космологии и геофизике.	2	2
2		Введение (часть II).	Исторические хроники: от проблемы непрерывного спектра бета-распада (1914) и гипотезы нейтрино (1932) до измерения углов смешивания и разностей квадратов масс нейтрино.	2	2
3		Обзорная часть: реликтовые, солнечные нейтрино.	Основные теоретические и экспериментальные факты о плотности нейтрино от Большого Взрыва, процессах генерации нейтрино в звездах и потоках солнечных нейтрино.	2	2
4		Обзорная часть: геонейтрино, атмосферные и астрофизические нейтрино, нейтрино и космология.	Основные теоретические и экспериментальные факты о процессах образования нейтрино в атмосферах планет, астрофизических источниках (активные галактические ядра, квазары, релятивистские джеты, файерболы и т.д.), обзор основных методов извлечения данных о массе нейтрино из астрофизических и космологических данных.	2	2
5		Основные процессы взаимодействия нейтрино с веществом.	Основные понятия партонной модели, форм-факторы и структурные функции структура слабых адронных	2	2

			токов, сечения (квази)упругих, неупругих эксклюзивных и глубоконеупругих взаимодействия (анти)нейтрино с нуклонами и ядрами		
6		Стандартная Модель и проблема массы нейтрино.	Лагранжиан Стандартной Модели, флейворный и массовый базисы, киральные компоненты, дираковская и майорановская массовые матрицы, See-Saw механизм	4	4
7		Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в вакууме.	Вывод основной формулы для вероятностей выживания и флейворных переходов. Экспериментальные данные о параметрах смешивания и массах нейтрино. Трудности стандартной теории	2	2
8		Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в веществе.	Когерентное взаимодействие нейтрино с веществом, показатель преломления и эффективный потенциал, вывод и методы решения уравнения Вольфенштейна, резонансные условия и МСВ механизм.	2	2
9		Квантовополевая теория нейтринных осцилляций в вакууме.	Ковариантная теория волновых пакетов, интегралы перекрытия, макроскопические диаграммы Фейнмана, расчет амплитуды перехода, квадрирование амплитуды и макроскопическое усреднение, анализ off-shell и on-shell режимов, эффекты декогерентности, сравнение со стандартным квантовомеханическим подходом.	4	4
10		Солнечные нейтрино.	Физика строения звезд. Ядерные реакции в Солнце, pp-цепочка и CNO-би-цикл, химический состав Солнца, данные гелиосейсмологии, оценки спектров и потоков	4	2

			солнечных нейтрино, трудности теории и перспективы.		
11		Эксперименты по регистрации солнечных нейтрино, геонейтрино и антинейтрино от ядерных реакторов.	Радиохимический и черенковский методы регистрации солнечных нейтрино (СН), основные эксперименты по регистрации СН (Cl-Ar детектор в Хоумстэйке, Ga-Ge детекторы SAGE, GALLEX, GNO, водно-черенковские детекторы Super-Kamiokande и SNO).	2	2
12		Атмосферные мюоны нейтрино.	Сведения о химическом составе и энергетических спектрах первичных и анизотропии галактических космических лучей (КЛ), вторичные КЛ и ШАЛ, основные реакции процессы генерации лептонов в атмосфере, геомагнитные и метеорологические эффекты, влияние солнечной активности, обзор различных моделей и экспериментов по регистрации АН.	2	4
13		Астрофизические и космогенные нейтрино.	Физика сверхновых, гипотетические источники и механизмы образования нейтрино, проблема КЛ сверхвысоких энергий, ГЗК эффект, космогенные нейтрино, физика нейтринных телескопов.	2	2

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии:

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	Лекция	Изложение теоретического материала	Получение теоретических знаний по дисциплине
2	Семинар		
3	Самостоятельная работа студента	Изучение теоретического курса и решение задач	Повышение степени понимания материала и выработка

			профессиональных навыков
--	--	--	--------------------------

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Контрольно-измерительные материалы:

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 9-ом семестре:

1. Лагранжиан Стандартной Модели (СМ), механизм Хиггса. Структура дираковского и майорановского массовых членов в лептонном секторе СМ. Алгоритм Мурнагана для параметризации вакуумной матрицы смешивания. Дираковская и майорановская массовые матрицы.
2. Качельный механизм генерации масс нейтрино (“see-saw”), классификация текстур массовой матрицы. Основные типы see-saw.
3. Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций, МСВ механизм, влияние эффекта неупругих взаимодействий нейтрино с веществом на вероятности осцилляций, основы квантовополевого описания вакуумных нейтринных осцилляций.
4. Взаимодействия нейтрино с лептонами и кварками. Партонная модель и партонные функции распределения. Методы описания процессов взаимодействий нейтрино за счет слабых заряженных и нейтральных токов (форм-факторы нуклона, структурные функции), общая структура слабых адронных токов.
5. Основные ядерные реакции горения водорода в звездах (pp-цепочка, CNO-би-цикл), процессы образования нейтрино в Солнце, основные экспериментальные методы регистрации солнечных нейтрино (радиохимические, черенковские), результаты важнейших экспериментов по регистрации СН (Cl-Ag детектор в Хоумстэйке, Ga-Ge детекторы SAGE, GALLEX, GNO, водно-черенковские детекторы Super-Kamiokande и SNO).
6. Основные реакции генерации мюонов и (анти)нейтрино при взаимодействии космических лучей с атмосферой Земли, особенности развития ШАЛ (геомагнитные и метеорологические эффекты, влияние солнечной активности), методы регистрации атмосферных и астрофизических нейтрино (черенковские, акустические, радио), основные параметры современных глубоководных и подледных нейтринных телескопов (BHT, AMAND, IceCube, NEMO, NESTOR, ANTARES, KM3NET) .
7. Основные процессы образования антинейтрино в ядерных реакторах и методы регистрации реакторных и геофизических антинейтрино, результаты экспериментов KamLAND, Daya Bay, Reno и др.);
8. Физики коллапса массивной звезды, основные процессы образования (анти)нейтрино при взрывах сверхновых, pp- p \bar{p} -механизмы генерации нейтрино в астрофизических

источниках (активные галактические ядра, релятивистские струи), механизм образования космогенных нейтрино.

9. Космологические ограничения на массы нейтрино.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

компьютер и мультимедийное оборудование (проектор)

Необходимое программное обеспечение:

Adobe Acrobat Reader

Обеспечение самостоятельной работы:

доступ к библиотеке и базам данных по журналам Теоретическая и математическая физика, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, Reviews of Modern Physics.

8. НАИМЕНОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТЕМ КУРСОВЫХ РАБОТ

учебным планом не предусмотрено

9. ТЕМАТИКА И ФОРМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ

учебным планом не предусмотрено

10. ТЕМАТИКА ИТоговых работ

учебным планом не предусмотрено

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Zhi-Zhong Xing and Shun Zhou, Neutrinos in Particle Physics, Astronomy and Cosmology. Advanced Topics in Science and Technology in China (Zhejiang University Press, Hangzhou and Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2011).
2. Samoil~M.~Bilenky, Introduction to the Physics of Massive and Mixed Neutrinos, Lect.Not. Phys 817 (2010).
3. Mats Lindroos and Mauro Mezzetto, Beta Beams. Neutrino Beams (Imperial College Press, London, 2010).
4. Donald H. Perkins, Particle Astrophysics. Second Edition. Oxford Master Series in Particle Physics, Astrophysics, and Cosmology (Oxford University Press, 2009).
5. Carlo Giunti and Chung W. Kim, Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics (Oxford University Press Inc., New York, 2007).
6. Claus Grupen, Astroparticle Physics (Springer, 2005).
7. Kai Zuber, Neutrino Physics. Series in High Energy Physics, Cosmology and Gravitation (Taylor & Francis, 2004).

8. Rabindra N. Mohapatra and Palash B. Pal, Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics. Third Edition. World Scientific Lecture Notes in Physics, Vol. 72 (World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2004).
9. Masataka Fukugita and Tsutomu Yanagida, Physics of Neutrinos and Applications to Astrophysics. Texts and Monographs in Physics (Springer-Verlag, 2003).
10. H. V. Klapdor-Kleingrothaus and K. Zuber, Particle Astrophysics. Revised Edition (Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2000); Г. В.Клапдор-Клайнротхаус, К. Цюбер, Астрофизика элементарных частиц (М.: Редакция журнала Успехи физических наук, 2000) (перевод первого немецкого издания 1997 года).
11. H. V. Klapdor-Kleingrothaus and A. Staudt, Non-accelerator Particle Physics (Institute of Physics Publishing Ltd., 1995); Г. Клапдор-Клайнротхаус, А.Штаудт, Неускорительная физика элементарных частиц (М.: Наука, 1997).
12. Felix Boehm and Petr Vogel, Physics of Massive Neutrinos. Second Edition (Cambridge University Press, 1992); Феликс Боум, Петр Фогель, Физика массивных нейтрино (М.: Мир, 1990) (Перевод первого английского издания 1987 года).
13. John N. Bahcall, Neutrino Astrophysics (Cambridge University Press, Cambridge, 1989); Дж. Бакал, Нейтринная астрофизика (М.:Мир, 1993).
14. Самоил М. Биленький, Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов (М.: Энергоиздат, 1981).

Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных:

Информационные ресурсы: Доступные через интернет журналы по физике элементарных частиц (Теоретическая и математическая физика, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, Reviews of Modern Physics), а также учебное пособие и сборник задач, разработанные для данного курса.

Программу составил
к.ф.-м.н. Наумов В.А.

«_____»_____2012 г.