

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе



А.Л. Голстик

(подпись)

19 декабря 2016

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 3475 /уч.

КВАНТОВАЯ ОПТИКА. КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 01 Физика (по направлениям),
направлению специальности
1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

Минск 2016 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 88; учебных планов №G31-163/уч., №G31и-174/уч., утвержденных 30.05.2013.

СОСТАВИТЕЛИ:

С.Я. Килин - профессор кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

Р.Г. Шуляковский - доцент кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета (протокол № 10 от 23.05.2016 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 10 от 09.06.2016);

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью учебной дисциплины «Квантовая оптика. Квантовая электродинамика» является изучение физических основ квантовой оптики, методов описания квантовых состояний оптических полей, элементов теории квантовых измерений, методов описания релаксирующих квантовых систем на основе квантовых кинетических уравнений и квантовых стохастических траекторий. Программа знакомит студентов с квантовой теорией когерентных процессов взаимодействия излучения с веществом, квантовой теорией лазера. В программе излагаются элементы теории квантовой информации, новых ресурсов ее передачи и преобразования. Рассматриваются основные квантовые алгоритмы, методы коррекции квантовых ошибок, протоколы квантовой криптографии, а также проблемы физической реализации квантовых компьютеров.

Задача учебной дисциплины «Квантовая оптика. Квантовая электродинамика» является формирование у студентов понимания того, как фундаментальные закономерности квантовой теории находят широкое применение в новых оптических и информационных технологиях. Поэтому при построении курса особое внимание обращается на дальнейшее разъяснение основ квантовой теории, на неразрывность всех понятий квантовой теории с процессом измерения и на глубокую связь квантовой и классической теорий информации.

Математической и методической базой курса являются все разделы курса математики и теоретической физики, изученные студентами ранее, и, прежде всего, курс «Квантовая механика».

В результате освоения курса «Квантовая оптика. Квантовая электродинамика» студент должен:

- **знать** основные классы квантовых состояний оптических полей, как они измеряются и описываются; методы описания динамики диссипативных квантовых систем, что такое квантовая информация, каковы способы ее передачи, преобразования и считывания, меры измерения, особенности ее основных разделов: квантовой коммуникации (телепортации), квантовой криптографии и квантовых компьютеров.

- **уметь** характеризовать явления квантовой оптики и квантовой информатики, анализировать квантовые состояния оптических полей на основе квантово-статистических методов, составлять и решать квантовые кинетические уравнения для различных открытых квантовых систем, проводить распутывание квантовых кинетических уравнений до квантовых траекторий, анализировать методы обработки информацией в квантовых системах, их преимущества и ограничения в сравнении с классическими способами обработки информации;

- **приобрести навыки** вычисления фазовых функций квазираспределений (Глаубера, Вигнера, Хусими) для различных типичных состояний одномодовых оптических полей, характеристики последовательно-

стей фотоотсчетов на основе статистических параметров группировки высокого порядка, вычисления корреляционных функций квантовых резервуаров, качественного анализа решения квантовых кинетических уравнений, графического представления когерентной эволюции кубитов, построения схем основных квантовых логических операций, использования критериев выбора физической систем для реализации квантовых информационных технологий.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- Владеть системным и сравнительным анализом.
- Владеть исследовательскими навыками.
- Уметь работать самостоятельно.
- Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.
- Быть способным к социальному взаимодействию.
- Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- Быть способным к критике и самокритике.
- Уметь работать в команде.
- Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
- Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследо-

вания, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.

– Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины – 89; из них количество аудиторных часов — 52.

Форма получения высшего образования — очная, дневная,

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и контролируемой/управляемой самостоятельной работы. На проведение лекционных занятий отводится 44 часа, на управляемую самостоятельную работу — 8 часов.

Занятия проводятся на 4-м курсе в 8-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

- 1. Задачи и основные положения квантовой оптики.** Понятия состояний квантовой системы. Вероятностный характер результатов измерений квантовых систем и способы их статистического описания. Характеристическая функция. Матрица плотности и состояния составных систем.
- 2. Идеальный квантовомеханический детектор фотонов.** Модель идеального детектора фотонов как задача ионизации атома в детектируемом поле. Вычисление вероятности обнаружения свободного электрона и ее связь с характеристиками поля.
- 3. Корреляционные функции электромагнитного поля. Характеристический функционал.** Измерения с помощью двух детекторов. Вычисление вероятности обнаружения двух свободных электронов и ее связь с корреляционной функцией поля второго порядка. Обобщение на многодетекторную схему регистрации: введение понятия полевого характеристического функционала.
- 4. Квантование электромагнитного поля. Спектральные корреляционные функции. Коммутационные соотношения.** Модовое представление электромагнитного поля. Квантование одномодового поля. Операторы рождения и уничтожения. Квадратурные компоненты оператора напряженности электромагнитного поля. Алгебраические свойства операторов рождения и уничтожения. Функции от операторов. Формула Беккера-Хаусдорфа.
- 5. Когерентные состояния электромагнитного поля. Р - представления Глаубера, функция Вигнера и Q-функция.** Разложение когерентных состояний по собственным состояниям числа фотонов. Нор-

мально-, антинормально- и симметрично-упорядоченные характеристические функции. Связь различных фазовых функций квазираспределения. Граница, отделяющая квантовые состояния поля от классических.

6. **Различные состояния электромагнитного поля.** Примеры вычисления фазовых функций квазираспределения для различных типов состояний электромагнитного поля (когерентное, фоковское, тепловое, суперпозиции когерентных состояний и др.)

7. **Когерентность полевых состояний первого порядка.** Моды когерентности. Время, площадь, объем когерентности. Разложение поля по модам когерентности.

8. **Когерентность полевых состояний второго порядка (1).** Одномодовые поля. Корреляция интенсивностей, группировка, антигруппировка фотонов. Эксперимент Хэнбери-Брауна-Твисса. Связь субпуассоновости функции распределения со свойствами антигруппировки. Предельные соотношения дисперсии распределения числа фотонов, среднего числа фотонов и нормированной степени когерентности.

9. **Когерентность полевых состояний второго порядка (2).** Многомодовые поля. Вычисление корреляционной функции второго порядка для многомодового поля, образованного из независимых мод поля, находящихся в некогерентных состояниях. Негауссовские состояния оптических полей. Центральная предельная теорема.

10. **Соотношения неопределенностей и состояния поля с фазовой когерентностью. Аномальные корреляторы и сжатые состояния.** Доказательство неклассичности сжатых состояний оптических полей. Сжатие как макроскопическое проявление квантовых особенностей поля. Соотношение дисперсии квадратурных компонент и некогерентной части поля. Двухмодовые сжатые состояния. Твин-фотоны. Бифотонная оптика.

11. **Теория квантовомеханических измерений.** Однократные и непрерывные квантовые измерения. Проекционные и обобщенные (POVM) измерения. Измерения как способ создания состояний электромагнитного поля.

12. **Непрерывные квантовые измерения и квантовые скачки.** Процедура непрерывного наблюдения как информационный процесс. Представление результатов наблюдения в виде случайного квантового процесса – квантовых траекторий.

13. **Введение. Фундаментальные взаимодействия и элементарные частицы.** Квантовая электродинамика и другие теории электромагнитных взаимодействий (классическая электродинамика, квантовая механика). Краткая история создания КЭД

14. **Взаимодействие между фотонами и электронами. Представление взаимодействия. Ряды теории возмущений для функций Грина. Диаграммы Фейнмана.** Свободные поля. Квантование свободных электромагнитного и дираковского полей как систем гармонических ос-

цилляторов. Интерпретация результатов в терминах частиц: фотоны, электроны и позитроны. Хронологические и нормальные произведения операторов полей, свёртки операторов. Одночастичные функции Грина. Взаимодействующие поля. Калибровочная инвариантность. Представление Дирака. Теория возмущений по константе связи. S-матрица. Теорема Вика. Метод фейнмановских диаграмм.

15. Связь между амплитудами вероятности реально наблюдаемых процессов и членами ряда теории возмущений для функций Грина. Правила отбора и дискретные симметрии. Пространственное отражение. Временное отражение. Зарядово сопряжение. Сечение рассеяния. Техника вычисления следов произведений матриц Дирака. Интегрирование по фазовому объёму.

16. Основные квантовоэлектродинамические процессы в низших порядках теории возмущений. Взаимодействие электронов и фотонов. Эффект Комптона. Формула Клейна – Нишины – Тамма. Формула Комптона. Формула Томпсона. Нерелятивистский предел. Получение кулоновского потенциала и потенциала Юкавы. Рассеяние во внешних полях. Рассеяние на кулоновском потенциале. Формула Мота. Формула Резерфорда. Тормозное излучение. Процессы излучения и поглощения фотона атомом.

17. Расходимости в членах ряда теории возмущений. Процедура регуляризации. Ультрафиолетовые расходимости. Радиационные поправки. Петлевые диаграммы. Ультрафиолетовая катастрофа. Приводимые и неприводимые диаграмма. Классификация ультрафиолетовых расходимостей по степени расходимости. Регуляризации расходимостей. Регуляризация путём введения максимального импульса. Регуляризация Паули – Вилларса. Размерная регуляризация. Схема минимального вычитания.

18. Собственно-энергетические электронные диаграммы. Структура точного электронного пропагатора. Массовый оператор. Уравнение Швингера – Дайсона. Перенормировка массы электрона. «Голый» и физический электрон. «Электромагнитная масса» электрона. Перенормировка массы электрона во 2-м порядке теории возмущений.

19. Поляризация вакуума. Структура точного фотонного пропагатора. Поляризационный оператор. Уравнение Швингера – Дайсона для точного фотонного пропагатора. Перенормировка заряда электрона. Вершинная часть. Тождество Уорда. Перенормировка заряда электрона во 2-м порядке теории возмущений.

Учебно-методическая карта дисциплины

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Задачи и основные положения квантовой оптики.	2					[1],[2],[4]		
2	Идеальный квантовомеханический детектор фотонов	2					[2],[6],[8]		
3	Корреляционные функции электромагнитного поля. Характеристический функционал	2					[2],[4],[5]		
4	Квантование электромагнитного поля. Спектральные корреляционные функции. Коммутационные соотношения.	2					[1д],[2д],[8]		
5	Когерентные состояния электромагнитного поля. Р - представления Глаубера, функция Вигнера и Q-функция.	2					[10],[11]		
6	Различные состояния электромагнитного поля.	2					[15],[4д]		
	Текущий контроль успеваемости студентов по разделам №№ 1-6					2		Коллоквиум	
7	Когерентность полевых состояний первого порядка.	2					[9],[14],[3д]		
8	Когерентность полевых состояний второго порядка (1)	2					[12] [14]		
9	Когерентность полевых состояний второго порядка (2).	2					[7],[8],[6д]		
10	Соотношения неопределенностей и состояния поля с фазовой когерентностью. Аномальные корреляторы и сжатые состояния.	2					[18], [10д]		
11	Теория квантовомеханических измерений.	2					[5], [12д]		
12	Непрерывные квантовые измерения и квантовые скачки.	2					[16], [11д]		
	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу №№ 7-12					2		Контрольная работа	
13	Введение. Фундаментальные взаимодействия и элементарные частицы.	2					[19],[20],[13д]		

14	Взаимодействие между фотонами и электронами. Представление взаимодействия. Ряды теории возмущений для функций Грина. Диаграммы Фейнмана..	4						[19],[20],[21]	
15	Связь между амплитудами вероятности реально наблюдаемых процессов и членами ряда теории возмущений для функций Грина..	4						[20],[22],[14д]	
	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу №№ 13-15						2		К оллоквиум
16	Основные квантовоэлектродинамические процессы в низших порядках теории возмущений.	4						[21],[22],[15д]	
17	Расходимости в членах ряда теории возмущений. Процедура регуляризации..	2						[19],[20],[16д]	
18	Собственно-энергетические электронные диаграммы..	2						[20],[22],[14д]	
19	Поляризация вакуума..	2						[21],[22],[13д]	
	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу №№ 13-19						2		Контрольная работа
	Итого	44					8		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. С.Я. Килин, Квантовая оптика: поля и их детектирование, Мн., 1990, (2 изд.) М., 2004
2. Л.Мандель, Э.Вольф, Оптическая когерентность и квантовая оптика, М., 2000.
3. М.Скалли, М.Зубари, Квантовая оптика, М., 2003
4. D.F. Walls, C.M. Milburn, Quantum optics, Springer, 1994
5. У. Люисел, Излучение и шумы в квантовой электронике, М., 1972
6. Я. Перина, Квантовая статистика линейных и нелинейных оптических явлений, М., 1987
7. Д.Н. Клышко, Физические основы квантовой электроники, М., 1986
8. Р. Лоудон, Квантовая теория света, М., 1976
9. Р. Глаубер, Квантовая оптика и квантовая радиофизика, М., 1966
10. А.М. Переломов, Обобщенные когерентные состояния и их применения, М., 1987
11. К. Гардинер, Стохастические методы в естественных науках, М., 1986
12. С.Я. Килин, Квантовая информация, УФН, N 5., 1999
13. М Нильсен., И.Чанг, Квантовые вычисления и квантовая информация М., «Мир», 2006. – 824 с.
14. Квантовая криптография: идеи и практика / под ред. С.Я.Килина, Д.Б.Хорошко, А.П.Низовцева. – Мн., 2008. – 392 с.
15. А.С. Холево, Вероятностные и статистические аспекты квантовой теории, М., 1980
16. V. Braginski, F.Ya. Khalali, Quantum measurements, Cambridge Univ., 1992
17. Д.Боумейстер, А.Экерт, А.Цайлингер, Физика квантовой информации, М., 2002
18. А.С.Холево. Введение в квантовую теорию информации, М., 2002
19. Ахиезер, А.И. Квантовая электродинамика / А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. — М.: Наука, 1981 — 432 с.
20. Боголюбов, Н.Н. Квантовые поля / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. — М.: Наука, 1993 — 320 с.
21. Боголюбов, Н.Н. Введение в теорию квантованных полей / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. — М.: Наука, 1984 — 603 с.
22. Бьёркен, Дж. Релятивистская квантовая теория. Т.2. Релятивистские квантовые поля / Дж. Бьёркен, С. Дрелл, М.: Наука, 1978 — 407 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Дж. Клаудер, Э. Сударшан, Основы квантовой оптики, М., 1970
2. С. Келих, Молекулярная нелинейная оптика, М., 1981
3. В.И. Манько, Когерентные состояния в квантовой теории. М., 1972

4. К. Шеннон, Работы по теории информации, М., 1963
5. Single Molecule Optical Detection, Imaging and Spectroscopy, Eds.: Th. Basché, W. E. Moerner, M. Orrit, U. P. Wild (VCH, Weinheim, 1997)
6. В. Schumacher, Phys., Rev. A51, 2738, 1995
7. A. Varenco, Phys. Rev. Letters, 74, 4073, 1995
8. Б.Б. Кадомцев, Динамика и информация, М., 1997
9. Ф. Ареки, М. Скалли, Г. Хаккен, В. Вайдлих, Квантовые флуктуации и излучения лазера, 1974
10. N. Gisin. Quantum Cryptography. Quant-ph/0101098., 1998
11. К. J. Vahala, Microresonators, Nature, 424, p.839-846, 2003
12. Д.С. Могилевцев, С.Я. Килин, Методы квантовой оптики структурированных резервуаров, Минск: Белорус. наука, с.174, 2007
13. Пескин, М. Введение в теорию поля / М. Пескин, Д. Шредер. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001 — 784 с.
14. Берестецкий, В.Б. Квантовая электродинамика / В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. — М.: Наука, 1989 — 720 с.
15. Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т.1. Общая теория / С. Вайнберг. — М.: Физматлит, 2003 — 648 с.
16. Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т.2. Современные приложения / С. Вайнберг. — М.: Физматлит, 2003 — 528 с.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Контрольные работы
2. Коллоквиум

Мероприятия для контроля управляемой самостоятельной работой

Для контроля УСР используются коллоквиумы, контрольные работы, которые проводятся в письменной форме.

Каждая из письменных работ включает в себя 2–3 задания.

Рекомендуемые темы контрольных работ

Тема контрольной работы №1: Сжатые состояния одномодовых полей.

Примерный перечень заданий:

1. Вывести соотношения, описывающие действие оператора сжатия на операторы рождения и уничтожения.
2. Найти фоковское представление для сжатого когерентного состояния.
3. Доказать наличие неклассических свойств (отсутствие представления Глаубера с неотрицательно определенной весовой функцией) для сжатого вакуумного состояния.

Тема контрольной работы №2: Проблема измерения. Редукция состояний при измерении. Оператор плотности и неполное знание о квантовом состоянии

Примерный перечень заданий:

1. Доказать невозможность детерминированного безошибочного различения двух когерентных состояний.
2. Определить зависимость от времени вероятности перехода двухуровневой системы в возбужденное состояние под воздействием когерентного возбуждения и периодического измерения (демонстрация квантового эффекта Зено на модельной системе).
3. Рассчитать оператор плотности для подсистем при заданном (коррелированном) состоянии составной системы.

Рекомендуемые темы коллоквиумов

Тема коллоквиума №1: Когерентные состояния электромагнитного поля.

Примерный перечень заданий:

1. Вывести соотношения для преобразования состояния одномодового поля в результате последовательного действия двух операторов когерентного сдвига.
2. Доказать, что линейный оптический делитель излучения преобразует входные когерентные состояния в выходные состояния, также являющиеся когерентными, и вывести выражения, связывающие амплитуды входных и выходных когерентных состояний.
3. Показать, что для оптических полей в когерентных состояниях квантовый эффект Хонга-У-Манделя не наблюдается.

Тема коллоквиума №2: Функции квази-распределения для оптических полей.

Примерный перечень заданий:

1. Вывести соотношения, позволяющие выразить значения функций Вигнера и Хусими через функцию Глаубера.
2. Найти выражения для функций Глаубера, Вигнера и Хусими теплового состояния одномодового поля.
3. Найти выражения для функций Глаубера, Вигнера и Хусими однофотонного состояния одномодового поля.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по курсу является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и

периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- вопросы для проведения зачета;
- сроки проведения контрольных мероприятий по различным видам учебной деятельности:
 - коллоквиумов по изучаемому материалу;
 - контрольных работ
- для дополнительного развития творческих способностей одаренных студентов организуются:
 - студенческие научно-практические конференции, конкурсы;
 - студенческие олимпиады.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать коллоквиумы и контрольные работы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Коллоквиумы и контрольные работы проводятся в письменной форме, каждая из работ включает в себя 2–3 задачи. На выполнение как контрольных работ, так и коллоквиумов отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем разрешается использовать справочные, научные и учебные печатные издания. Каждая задача в соответствии с ее сложностью оценивается от 3 до 5 баллов (максимальная сумма баллов за все задачи в контрольной (коллоквиуме) равна 10). Количество баллов за каждую решенную задачу выставляется в зависимости от правильности, полноты и оригинальности ее решения. Нерешенная или решенная полностью неправильно задача оценивается в 0 баллов. Оценка за контрольную (коллоквиум) рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждую задачу.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждый из письменных видов работ. При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к экзамену. При оценке ниже 4 бал-

лов решением кафедры студенты не допускаются к экзамену, и им назначается срок выполнения контрольных работ и/или коллоквиумов.

Итоговая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,3; для экзаменационной оценки — 0,7.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Электродинамика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленной варианте (протокол №10 от 23.05.2016)
Квантовая механика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленной варианте (протокол №10 от 23.05.2016)