

Правительство Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный университет  
*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Многофотонная ионизация атомов*  
*Multiphoton ionization of atoms*

**Язык(и) обучения** \_\_\_\_\_ *русский*  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Трудоёмкость** \_\_\_\_\_ **2** \_\_\_\_\_ **зачётных единиц**

Регистрационный номер  
рабочей программы:

<small>код года утверждения</small>	/	<small>код факультета или иного структурного подразделения</small>	/	<small>M2.203-15</small>
---	---	--	---	--------------------------

Санкт-Петербург  
2013

## Раздел 1. Характеристики, структура и содержание учебных занятий

### 1.1. Цели и задачи учебных занятий

Формирование у студентов магистратуры, обучающихся по учебному плану кафедры квантовой механики (профиль 03), представления о квантово-механическом описании и методах расчёта многофотонных процессов в атомах под действием сильного лазерного поля, знакомство с математическим аппаратом и методами квантовой теории многофотонной ионизации; изучение основных закономерностей процессов многофотонной ионизации и генерации гармоник высокого порядка в сильном лазерном поле; знакомство с процедурами численных расчетов.

### 1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

Обучающиеся должны иметь подготовку по математике и квантовой механике на уровне бакалавра физики.

### 1.3. Перечень формируемых компетенций (результаты обучения)

ОКМ-6, ОКМ-7, ОКМ-8. ПК-1, ПК-2, ПК-3, КП-3.1

### 1.4. Знания, умения, навыки, осваиваемые обучающимся

В результате освоения курса обучающиеся должны:

знать основы описания процессов взаимодействия атома с электромагнитным полем,

иметь представление о многофотонной ионизации, надпороговой ионизации, генерации гармоник высокого порядка,

иметь представление об амплитуде многофотонной ионизации и вероятности ионизации в единицу времени, знать основные свойства энергетических и угловых распределений вылетающих электронов при надпороговой ионизации,

знать основы нестационарной и стационарной теории возмущений для описания многофотонной ионизации,

знать основы квазиклассического описания многофотонной ионизации и физическую интерпретацию предельных случаев приближения Келдыша,

иметь представление о вычислительных методах в теории многофотонной ионизации и генерации гармоник высокого порядка.

### 1.5. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий

аудиторные лекции (где предполагается, что обучающиеся могут задавать вопросы во время лекции)

### 1.6. Организация учебных занятий

*Указываются распределение трудоёмкости и объёмов учебной работы, а также рекомендуемые границы наполняемости учебных групп по модулям и видам учебной работы в таблице:*

**Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся**

Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Аудиторная учебная работа обучающихся							Самостоятельная работа					Объём активных и интерактивных форм учебных занятий	Трудоёмкость	
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	в т.ч. с использованием методических материалов			текущий контроль
<i>по формам обучения</i>															
C1	32 2-4		2					2 2-4			8 2-4		20 2-4	4	2
<b>ИТОГО:</b>	32		2					2			8		20	4	2

*Указываются виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по модулям и формам обучения в таблице:*

**Виды, формы и сроки  
текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Промежуточная аттестация		Текущий контроль	
	Виды	Сроки	Формы	Сроки
<i>очная форма обучения</i>				
C1	экзамен	12.01 — 25.01		

### 1.7. Структура и содержание учебных занятий

Модуль C1  
Лекции

1. Атом и электромагнитное поле. Квантованное и классическое описание поля. Многофотонное возбуждение и многофотонная ионизация атомов. Роль резонансов. Надпороговая многофотонная ионизация атомов. Экспериментальные наблюдения.

2. Теория рассеяния на нестационарном потенциале. Альтернативные выражения для амплитуды многофотонной ионизации. Взаимодействие с электромагнитным полем в дипольном приближении. Гамильтониан взаимодействия в калибровке скорости и в калибровке длины.

3. Свободный электрон в поле электромагнитной волны. Классическое и квантовое решение задачи. Волновая функция Волкова, её явный вид для монохроматического поля с линейной и циркулярной поляризацией.

4. *Нестационарная теория возмущений для многофотонной ионизации. Общее выражение для амплитуды перехода. Случай монохроматического внешнего поля.*
5. *Нестационарная теория возмущений для многофотонной ионизации. Амплитуда многофотонной ионизации в низшем порядке теории возмущений. Метод Далгарно — Льюиса для неявного суммирования спектральных разложений. Случай атома водорода.*
6. *Приближение Келдыша для многофотонной ионизации в монохроматическом поле. Альтернативные выражения для амплитуды ионизации.*
7. *Приближение Келдыша. «Многофотонный» предел. «Туннельный» предел.*
8. *Приближение сильного поля. «Прямая» многофотонная ионизация и ионизация с перерассеянием электрона на атомном остове.*
9. *Периодическое по времени внешнее поле. Теорема Флоке.*
10. *Свойства квазиэнергетических состояний. Связь между квазиэнергией и средней энергией системы в квазиэнергетическом состоянии.*
11. *Методы расчёта квазиэнергетических состояний. Дискретизация оператора Гамильтона и диагонализация матрицы гамильтониана Флоке. Нестационарный метод расчёта квазиэнергетических состояний. Оператор эволюции за один период, его собственные функции и собственные значения.*
12. *Квазистационарные квазиэнергетические состояния. Граничные условия. Комплексные квазиэнергии, их физический смысл. Метод комплексных координат для расчёта квазистационарных квазиэнергетических состояний.*
13. *Интегральное уравнение для квазистационарных квазиэнергетических состояний. Энергетические и угловые распределения вылетающих электронов.*
14. *Общая теория электронных спектров при надпороговой многофотонной ионизации. Переход в систему отсчёта Крамерса — Хеннебергера и построение амплитуды перехода с помощью функции Грина.*
15. *Многофотонная надпороговая ионизация гладким лазерным импульсом. Адиабатические квазиэнергетические состояния. Многофотонная надпороговая ионизация гладким лазерным импульсом. Интерференционные явления в спектрах электронов.*
16. *Генерация гармоник высокого порядка в сильном лазерном поле. Квазиклассическая теория. Выражения для мощности излучения в форме ускорения и в форме длины. Модель «простого человека». Оценка протяжённости плато в спектре гармоник. Оценка протяжённости плато в энергетическом спектре вылетевших электронов. Особенности надпороговой многофотонной ионизации высокого порядка.*

## Раздел 2. Обеспечение учебных занятий

### 2.1. Методическое обеспечение

- 2.1.1. Методическое обеспечение аудиторной работы  
Конспекты лекций.
- 2.1.2. Методическое обеспечение самостоятельной работы  
Учебники, сборники задач, интернет
- 2.1.3. Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания  
Текущий контроль проводится в форме вопросов и ответов во время лекций  
Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.
- 2.1.4. Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы)

Учебники, научные статьи, конспекты лекций.

### 2.2. Кадровое обеспечение

- 2.2.1. Требования к образованию и (или) квалификации штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к преподаванию дисциплины  
Лектор должен иметь высшее образование и ученую степень не ниже кандидата наук.
- 2.2.2. Требования к обеспеченности учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом  
Не требуется.
- 2.2.3. Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса  
Отсутствуют.

### 2.3. Материально-техническое обеспечение

- 2.3.1. Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий  
Стандартно оборудованная лекционная аудитория на 10-20 человек.
- 2.3.2. Требования к аудиторному оборудованию, в том числе к неспециализированному компьютерному оборудованию и программному обеспечению общего пользования  
Столы, стулья, доска необходимых размеров.
- 2.3.3. Требования к специализированному оборудованию  
Отсутствуют.
- 2.3.4. Требования к специализированному программному обеспечению  
Отсутствуют.
- 2.3.5. Требования к перечню и объёму расходных материалов  
Не менее 3 кусков мела на одну лекцию.

### 2.4. Информационное обеспечение

- 2.4.1. Список обязательной литературы
  1. Н. Б. Делоне, В. П. Крайнов. Атом в сильном световом поле. М., 1978.
  2. Л. П. Рапопорт, Б. А. Зон, Н. Л. Манаков. Теория многофотонных процессов в атомах. М., 1978.
  3. Н. Б. Делоне. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. М., 1989.
  4. М. В. Фёдоров. Электрон в сильном световом поле. М., 1991, гл. 6.
- 2.4.2. Список дополнительной литературы
  1. А. И. Базь, Я. Б. Зельдович, А. М. Переломов. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. М., 1971.
  2. K. Burnett, V. C. Reed, and P. L. Knight. J.Phys.B: At.Mol.Opt.Phys., 1993, v. 26, p. 561.
  3. S. I. Chu and D. A. Telnov. Phys. Rep. 2004, v.390, p.1.
- 2.4.3. Перечень иных информационных источников  
интернет

### Раздел 3. Процедура разработки и утверждения рабочей программы

#### Разработчик(и) рабочей программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация (служебный адрес электронной почты, служебный телефон)
Тельнов Дмитрий Александрович	д.ф. -м.н.	доц.	профессор	428-4552 telnov@pcqnt1.phys.spbu.ru

В соответствии с порядком организации внутренней и внешней экспертизы образовательных программ проведена двухуровневая экспертиза:

первый уровень (оценка качества содержания рабочей программы и применяемых педагогических технологий)		
Наименование кафедры	Дата заседания	№ протокола
кафедра квантовой механики		
кафедра статистической физики		
второй уровень (соответствие целям подготовки и учебному плану образовательной программы)		
Экспертиза второго уровня выполнена в порядке, установленном приказом		
<i>должностное лицо</i>	<i>дата приказа</i>	<i>№ приказа</i>
Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа

#### Иные документы об оценке качества рабочей программы

Документ об оценке качества	Дата документа	№ документа

#### Утверждение рабочей программы

Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа

#### Внесение изменений в рабочую программу

Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа