



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» для направления 03.06.01 Физика и  
астрономия, профиль «Физика конденсированного состояния»  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

## **Правительство Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
"Национальный исследовательский университет  
"Высшая школа экономики"**

### **Программа дисциплины «Коллективные явления в неравновесных бозе-конденсатах»**

для направления 03.06.01 Физика и астрономия,  
профиль 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Автор программы:  
Гаврилов Сергей Сергеевич,  
к.ф.-м.н., e-mail: [gavr\\_ss@issp.ac.ru](mailto:gavr_ss@issp.ac.ru)

Москва - 2017

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения разработчика программы.*



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль «Физика конденсированного состояния»  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

### 1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям аспиранта по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля «Физика конденсированного состояния» и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, и аспирантов направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль «Физика конденсированного состояния».

Программа разработана в соответствии с

- образовательным стандартом НИУ ВШЭ по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия»;
- образовательной программой «Физика и астрономия» подготовки аспиранта.
- учебным планом подготовки аспирантов по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», профиль «Физика конденсированного состояния», утвержденным в 2014.

### 2. Цели освоения дисциплины

- Получение фундаментальных знаний в области теории неравновесных бозе-конденсатов;
- изучение основ математического описания коллективных эффектов и фазовых переходов в сильнонеравновесных системах (концепции параметра порядка, спонтанного нарушения симметрии, основы теории устойчивости и бифуркаций);
- ознакомление с современным состоянием исследований в области бозе-конденсатов экситонов и экситонных поляритонов.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

- Получить представление о коллективных эффектах в неравновесных бозе-системах;
- овладеть подходами к описанию коллективных состояний в бозе-конденсатах на основе обобщенных уравнений Гросса-Питаевского и Гинзбурга-Ландау;
- уметь ориентироваться в современном состоянии исследований в области бозе-конденсатов экситонов и экситонных поляритонов;
- понимать перспективы развития данного направления физики конденсированного состояния, включая его возможные применения в новых поколениях оптических устройств.

В результате освоения дисциплины аспирант осваивает следующие компетенции:

Компетенция (указываются в	Код по ОС НИУ ВШЭ	Дескрипторы – основные признаки освоения	Формы и методы обучения, способствующие формированию
-------------------------------	----------------------	---	---



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
 Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль «Физика конденсированного состояния»  
 подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

соответствии с ОС НИУ ВШЭ)		(показатели достижения результата)	и развитию компетенции
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	УК-1	Демонстрирует способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.	УК-3	Демонстрирует готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках.	УК-4	Демонстрирует готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физики конденсированного состояния.	ПК-1	Демонстрирует способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физики конденсированного состояния.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической и прикладной физики с использованием современных физических методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	ОПК-1	Демонстрирует способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической и прикладной физики с использованием современных физических методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность к разработке новых методов	ОПК-2	Демонстрирует способность к разработке но-	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
 Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль «Физика конденсированного состояния»  
 подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.		вых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.	изучению литературы и источников.
--	--	--	-----------------------------------

#### 4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к дисциплинам вариативной части, обязательной для профиля «Физика конденсированного состояния».

Изучение данной дисциплины базируется на следующих базовых дисциплинах:

- Физика
- Математика (методы математической физики)
- Английский язык

Для освоения учебной дисциплины аспиранты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6)
- основы квантовополевого подхода в физике конденсированного состояния

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: -

#### 5. Тематический план учебной дисциплины

№	Название темы	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоятельная работа
			все часов	лекции	семинары	
1	Теория Гинзбурга-Ландау	20	4			16
2	Конденсаты Бозе-Эйнштейна	12	2			10
3	Теория Боголюбова и сверхтекучесть	30	6			24
4	Бозе-конденсаты в экситонных системах	20	4			16
5	Оптическая мультстабильность и параметрическое рассеяние поляритонов	20	4			16
6	Самоорганизация неравновесных бозе-конденсатов	12	2			10
	<b>Итого</b>	114	22			92

#### 6. Формы контроля знаний аспирантов

Тип контроля	Форма контроля	Параметры
--------------	----------------	-----------



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль «Физика конденсированного состояния»  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Текущий	Тестовые задания	В начале каждой второй лекции студентам будут предлагаться вопросы и задачи для проверки усвоения предшествующего материала
Итоговый по дисциплине	Экзамен	Беседа с преподавателем (всего 1,5-2 часа)

### 6.1. Критерии оценки знаний, навыков

Экзамен проводится в форме очной беседы с преподавателем, результат оценивается по десятибалльной шкале, минимальная удовлетворительная оценка 4. Экзамен состоит из двух частей, оценивающихся отдельно и дающих равные вклады в итоговую оценку. Во первых, аспирант заранее выбирает один теоретический вопрос, который на экзамене обсуждается подробно. После этого предлагаются дополнительные теоретические вопросы, равномерно распределенные по всему материалу курса, при необходимости дается 5-10 минут на подготовку к ответу на каждый из них. Общее время, отводимое на экзамен, составляет 1,5-2 часа. Число вопросов может быть сокращено в случае, если аспирант успешно отвечал на вопросы и решал задачи в процессе текущего контроля знаний.

## 7. Содержание дисциплины

### Тема 1. Теория Гинзбурга-Ландау

Основы квантовополевого описания макроскопически когерентных состояний в бозе-системах. Теория Гинзбурга-Ландау, концепция параметра порядка, вывод уравнений эволюции из принципа минимума свободной энергии. Приближение среднего поля, связь с уравнением Гейзенберга.

### Тема 2. Конденсаты Бозе-Эйнштейна

Бозе-эйнштейновская конденсация идеального газа, критическая температура, роль плотности состояний, термодинамические функции, пространственная когерентность.

### Тема 3. Теория Боголюбова и сверхтекучесть

Приближение Боголюбова, спектр надконденсатных мод, асимптотическая устойчивость, различный характер неустойчивости в термодинамически равновесных и неравновесных системах. Теорема Намбу-Голдстоуна, голдстоуновские бозоны. Спонтанное нарушение непрерывной симметрии, связь с принципами минимума. Сверхтекучесть, критерий Ландау. Вихри в сверхтекучих жидкостях. Переход Березинского-Костерлица-Таулеса, аналогии со сверхпроводимостью.

### Тема 4. Бозе-конденсаты в экситонных системах

Когерентные состояния короткоживущих бозе-частиц в полупроводниковых гетероструктурах. Экситоны, квазидвумерные экситонные поляритоны. Квазиравновесные и



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль «Физика конденсированного состояния»  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

сильнонеравновесные конденсаты поляритонов, роль связи с экситонным резервуаром в зависимости от условий оптического возбуждения.

### **Тема 5. Оптическая мультстабильность и параметрическое рассеяние поляритонов**

Бистабильность отклика поляритонов в когерентном электромагнитном поле. Роль спиновых степеней свободы, спиновая мультстабильность, спиновые кольца, оптические переключатели на основе поляритонных систем. Параметрический распад конденсата в состояниях с нулевым планарным импульсом и вблизи точки перегиба дисперсионной кривой. Взаимовлияние бистабильности и параметрической неустойчивости. Бифуркация Хопфа. Эволюция конденсата в режиме с обострением.

### **Тема 6. Пространственная самоорганизация неравновесных бозе-конденсатов**

Внутренний и внешний эффекты Джозефсона в системе экситонных поляритонов. Фазовая синхронизация (phase locking) и разделение (self-trapping) компонент конденсата. Спонтанное нарушение спиновой симметрии, спиновые текстуры. Концепция динамического хаоса, хаотические состояния бозе-конденсата, спиновая турбулентность. Аналогии с лазерами. Пространственная самоорганизация, аналогии с турбулентной жидкостью.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Литература**

1. Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский, Статистическая физика, часть 2. Теория конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2004.
2. А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский. Методы квантовой теории поля в статистической физике. М.: Добросвет, 1998.
3. Х. Хакен. Квантовополевая теория твердого тела. М.: Наука-Физматлит, 1980.
4. T. Bohr, M. H. Jensen, G. Paladin, and A. Vulpiani. Dynamical Systems Approach to Turbulence. Cambridge University Press, 1998.
5. A. V. Kavokin, J. J. Baumberg, G. Malpuech, and P. Laussy. Microcavities. Oxford University Press, 2007
6. S. S. Gavrilov. Blowup dynamics of coherently driven polariton condensates. Phys. Rev. B, 90:205303, 2014
7. S. S. Gavrilov. Towards spin turbulence of light: Spontaneous disorder and chaos in cavity-polariton systems. Phys. Rev. B, 94:195310, 2016