

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Интегралы по путям и квантовая механика открытых систем
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем теоретической физики
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: М.В. Фейгельман, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем теоретической физики 21.06.2021

Аннотация

Курс лекций посвящён квантовой механике микроскопических систем, взаимодействующих с внешней средой.

Основной формализм излагаемой теории — метод интеграла по траекториям. Вначале он излагается как альтернативный подход к изучению задач о квантовом туннелировании «чистой» системы. Затем проводится обобщение метода, необходимое для описания открытых квантовых систем (формализм матрицы плотности, функционал влияния Фейнмана-Вернона, влияние диссипации на интерференцию и туннелирование).

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами углублённых знаний по квантовой механике, не входящих в стандартные курсы физических факультетов, и которые в дальнейшем будут использоваться в теоретических и экспериментальных исследованиях.

Задачи дисциплины

Познакомить студентов с современными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и лучше понимать текущую научную периодику в этой области.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)

ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные понятия по теме дисциплины.

уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа

1	Туннельное расщепление и распад и «инстантоны»	2	2		5
2	Катастрофа ортогональности-2	2	2		5
3	Функционал влияния Фейнмана-Вернона для матрицы плотности – 1	2	2		5
4	Функционал влияния Фейнмана-Вернона для матрицы плотности – 2	3	3		5
5	Диссипация в квантовой механике – 1	3	3		5
6	Диссипация в квантовой механике – 2	3	3		5
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Туннельное расщепление и распад и «инстантоны»

Интеграл по путям в мнимом времени. Амплитуда перехода ALR для 2-ячного потенциала и выражение для нее через интеграл по путям. Экстремальное решение типа «кинк» и флуктуации около него на примере модели потенциала $V_1(x) = -x^2 + x^4$. Выделение «нулевой моды». Выражение для амплитуды ALR через действие кинка и отношение детерминантов флуктуаций в поле безотражательного потенциала. Задача о распаде метастабильного состояния на примере потенциала $V_2(x) = x^2 - x^3$. Вычисление мнимой части энергии состояния (т.е. скорости распада) через интеграл по путям. Перевальное решение типа «bounce» и отрицательная мода. Вычисление мнимой части расходящегося интеграла. Выражение для скорости распада через действие кинка и отношение детерминантов флуктуаций в поле безотражательного потенциала.

2. Катастрофа ортогональности-2

Катастрофа ортогонализации в бозонизированном представлении. Сингулярность ферми-края. Дефазировка и катастрофа ортогональности в интерферометре. Диссипативная двухуровневая система: введение.

3. Функционал влияния Фейнмана-Вернона для матрицы плотности – 1

Равновесная (тепловая) матрица плотности. Уравнение эволюции от 0 до $1/T$ по мнимому времени и интеграл по путям. Статистическая сумма. Равновесная матрица плотности частицы в магнитном и в электрическом полях. Вариационный принцип. Матрица плотности при линейной связи с внешним полем. Функционал влияния в мнимом времени. Задача о поляроне.

4. Функционал влияния Фейнмана-Вернона для матрицы плотности – 2

Неравновесная матрица плотности: интеграл по путям «туда и обратно» по времени. Усреднение по состояниям «среды» и функционал влияния. Среда, состоящая из набора осцилляторов при заданной температуре T . Периодичность по мнимому времени. Вычисление потенциала влияния через функции Грина на контуре «туда и обратно». Среда с линейной («омической») диссипацией. Квантовый аналог уравнения Ланжевена и его классический предел. Классическая диссипативная динамика и суперсимметрия. Функция Грина быстрой частицы в случайном магнитном поле.

5. Диссипация в квантовой механике – 1

1. Примеры физических систем:

- о туннелирование между вырожденными двумя состояниями: молекула аммиака и подобные ей, туннелирование спина $S \gg 1$ в молекулярных кластерах, кубиты, TLS в металлах;
- о проблема узкой зоны: μ -мезоны в металле, динамика фазы в джозефсоновских контактах;
- о распад метастабильного состояния в присутствии диссипации: phase slip in biased Josephson junction, туннелирование электрона в грязный металл, крип дислокаций в квантовом кристалле.

2. Общая теория квантового распада при наличии диссипации.

3. Переход от тепловой активации к диссипативному туннелированию. Пре-экспоненциальный фактор.

6. Диссипация в квантовой механике – 2

1. Двух-уровневая система:

- о Двух-уровневая система с диссипацией в мнимом времени при слабой связи $\alpha \ll 1$.
- о Точно решаемый случай: ДУС с $\alpha = 1/2$.
- о Фазовый переход при $\alpha = 1$ – блокада туннелирования.

2. Разрушение зонного движения в периодическом потенциале:

- о разложение по инстантонам и дуальное к нему,
- о фазовый переход Шмида и его физ. смысл,
- о диссипация, периодическая по фазе.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, доска, при необходимости медиапроектор, экран.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 5, Ч. 1 : Статистическая физика : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005, 2010 .— 616 с.
2. Функции Грина. Задачи и решения [Текст] / Л. С. Левитов, А. В. Шитов - М.МЦНМО, 2016
3. R. Rosenfelder, «Path Integrals in Quantum Mechanics», <https://arxiv.org/abs/1209.1315v4>
4. P.W. Anderson, «Infrared catastrophe in Fermi gases with local scattering potentials», Phys. Rev. Lett. 18, 1051 (1967).
5. M.V. Berry, «Quantal phase factors accompanying adiabatic changes», Proc. R. Soc. Lond. A 392, 45-57 (1984).
6. I.L. Aleiner, Ned S. Wingreen, and Yigal Meir, «Dephasing and the orthogonality catastrophe in tunneling through a quantum dot: The “which path?” interferometer», Phys. Rev. Lett. 79, 3740 (1997).

Дополнительная литература

1. А.М. Поляков, «Калибровочные поля и струны», ИТФ им. Л.Д. Ландау, 1995 (Глава 4).
2. Р. Раджараман, «Солитоны и инстантоны в квантовой теории поля», М.:Мир, 1985 (Глава 5).
3. С.В. Иорданский, А.М. Финкельштейн, ЖЭТФ 62, 403 (1972); S.V. Iordanskii, A.M. Finkel'stein, J. Low. Temp. Phys. 10, 423 (1973).
4. «Quantum tunnelling in condensed media», Eds. Yu. Kagan and A.J. Leggett, Elsevier Science Publishing (North Holland), 1992 (сборник обзоров).
5. I. Affleck, Phys. Rev. Lett. 46, 388 (1981).
6. А.И. Ларкин, Ю.Н. Овчинников, ЖЭТФ 85, 1510 (1983); ЖЭТФ 86, 719 (1984).
7. С.Е. Коршунов, ЖЭТФ 92, 1828 (1987).
8. С.Е. Коршунов, Письма в ЖЭТФ 45, 342 (1987).
9. G. Sundaram and Q. Niu, «Wave-packet dynamics in slowly perturbed crystals: Gradient corrections and Berry-phase effects», Phys. Rev. B 59, 14915 (1999).
10. R. Resta, «Manifestations of Berry's phase in molecules and condensed matter», Journal of Physics: Condensed Matter, Volume 12, Number 9.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Доступные через Internet научные и научно-технические журналы, в том числе:
<https://journals.aps.org/> - база данных по журналам Physical Review

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Представление материала на доске и/или при помощи медиапроектора.

Возможно использование ПО для символьных и/или численных вычислений, а также проведения вебинаров и занятий онлайн.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента в соответствии с данными в рабочей программе. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- при необходимости подготовку к практическим занятиям, коллоквиумам, экзамену.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем теоретической физики
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Разработчик: М.В. Фейгельман, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

<p>решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты</p>	<p>ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели</p>
	<p>ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты</p>
<p>ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию</p>	<p>ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива</p>

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Интегралы по путям и квантовая механика открытых систем» обучающийся должен:

знать:

- основные понятия по теме дисциплины.

уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

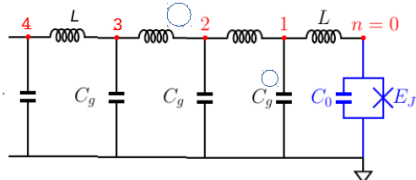
5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлен один теоретический вопрос. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.

1. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примеры заданий контрольной работы:

1. Найти расщепление уровней в двухяном симметричном потенциале методом функционального интегрирования с учетом инстантонов.
2. Найти матрицу плотности частицы с зарядом e и массой m , движущейся в постоянном магнитном поле B при температуре T .
3. Найти взаимодействие инстантонов (в мнимом времени), возникающее из-за связи туннелирующей частицы с омическим резервуаром.
4. Найти вклад в энтропию свободной квантовой частицы массы m , возникающий из-за ее связи с омическим резервуаром.
5. Найти вид эффективного действия, зависящего от разности фаз на джозефсоновском контакте с номером $n=0$, после интегрирования по всем остальным переменным LC-линии, показанной на рисунке ниже.



Примеры задач для домашнего задания:

1. Методом инстантонных траекторий найти ширину зоны движения частицы заданной массы в синусоидальном потенциале большой амплитуды.
2. Применить вариационный метод Фейнмана к вычислению свободной энергии и теплоемкости ангармонического осциллятора с потенциалом $U(x) = kx^2 + \lambda x^4$ изучив случаи $k > 0$ и $k < 0$.
3. Исследовать эффект Аронова-Бомы для частицы, движущейся на кольце с магнитным потоком внутри, при наличии связи этой частицы с омическим диссипативным резервуаром.
4. Изучить возможность появления связанного состояния квантовой частицы, движущейся в трехмерном пространстве в поле слабого короткодействующего потенциала, при наличии связи частицы с диссипативным резервуаром. Показать, что при омической диссипации связанное состояние всегда имеется, для сколь угодно слабого потенциала.
5. Найти перенормировку джозефсоновской энергии сверхпроводящего контакта из-за флуктуаций фазы на нем, при условии, что контакт шунтирован сопротивлением R порядка $\hbar/4e^2 = 6.5 \text{ Ком}$.

2. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Контрольные вопросы:

Метод интеграла по траекториям и вычисление расщепления уровней в двухяном потенциале.

Вариационный метод Фейнмана и решение проблемы полярона

Функциональный интеграл для неравновесной матрицы плотности (метод Келдыша)

Квазиклассический аналог уравнения Ланжевена

Сужение зоны когерентного движения при наличии связи с омическим резервуаром.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1. Метод интеграла по траекториям и вычисление расщепления уровней в двухяном потенциале.

Билет 2. Вариационный метод Фейнмана и решение проблемы полярона

Билет 3. Функциональный интеграл для неравновесной матрицы плотности (метод Келдыша)