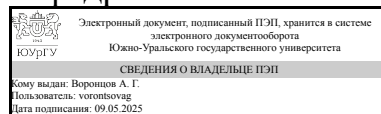


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей
кафедрой



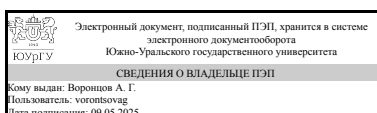
А. Г. Воронцов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.М0.08.02 Квазиклассические модели электронных устройств
для направления 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
уровень Магистратура
магистерская программа Квантовая инженерия: материалы, электроника, коммуникации и вычисления
форма обучения очная
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

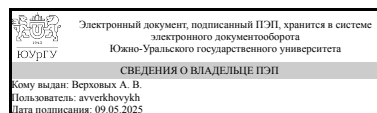
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 22.09.2017 № 959

Зав.кафедрой разработчика,
д.физ.-мат.н., доц.



А. Г. Воронцов

Разработчик программы,
к.физ.-мат.н., доцент



А. В. Верховых

1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины "Квазиклассические модели электронных устройств" - полное описание модели электронного переноса, как с классической, так и с квантовой точки зрения, и наведение мостов между этими представлениями. Задачи курса - дать студенту представление о разных взглядах и идеях, лежащих в основе теории переноса заряда, и показать связи между этими моделями.

Краткое содержание дисциплины

В последние 20 лет производство электроники перешло в наноразмерную область, в которой работа электронных устройств больше не определяется классической теорией переноса, а определяется квантовой теорией. Чтобы понять квантовую теорию переноса, требуется значительный объем знаний в области квантовой механики и физики твердого тела. Данный курс представляет собой введение в классическую и квантовую теорию проводимости; хотя он и основывается на изучаемых ранее квантовой механике и физике полупроводников, он дополняет их. Несмотря на то, что квантовая теория является более полной и точной, многие устройства по-прежнему работают в рамках классической теории, и вследствие этого образованному инженеру нужно понимать оба подхода. Это то, чего этот курс последовательно и кратко пытается достичь.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	Знает: принципы построения квазиклассических моделей электронных устройств и условия их применимости Умеет: строить квазиклассические модели устройств Имеет практический опыт: программной реализации моделей

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Производственная практика (научно-исследовательская работа) (1 семестр)	Квантово-статистические методы нанoeлектроники, Микропроцессорные системы, Перспективные материалы твердотельной электроники, Электроника структур пониженной размерности, Компоненты цифровой электроники, Производственная практика (преддипломная) (4 семестр), Производственная практика (научно-исследовательская работа) (3 семестр)

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Производственная практика (научно-исследовательская работа) (1 семестр)	Знает: Основные понятия области своих научных интересов Умеет: Критически читать литературные источники по тематике своих научных интересов Имеет практический опыт: Формулирования цели и задач дипломного исследования, написания литературного обзора

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 56,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		2
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48
Лекции (Л)	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	87,5	87,5
Подготовка к контрольным работам	40	40
Подготовка к практическим занятиям	36	36
Подготовка к экзамену	11,5	11,5
Консультации и промежуточная аттестация	8,5	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	диф.зачет

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Классическая теория проводимости	18	6	12	0
2	Квантовая теория проводимости	12	4	8	0
3	Модели электронных устройств	18	6	12	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение в дисциплину. Квантовая механика и физика твердого тела	2
2	1	Классическая теория проводимости. Дрейфовая подвижность. Механизмы	2

		рассеяния зарядов. Диффузионный ток в полупроводниках. Уравнения непрерывности. рп-переход в равновесии и во внешнем поле. Переход Шоттки. Пример: диод Шоттки	
3	1	Уравнение Больцмана, его решение. Общее решение для плотности тока. Влияние градиента температуры, эффект Зеебека. Насыщение дрефтовой скорости, эффект Ганна. Магнитное поле, эффект Холла.	2
4	2	Критика уравнения Больцмана, режимы проводимости. Электронная структура низкоразмерных систем. Формализм Ландауэра, метод эффективной массы электрона	2
5	2	Эффективная масса электрона в гетероструктурах. Матрицы переноса. Уравнение Эйри, функции Эйри. Пример: туннельный диод	2
6	3	Вакуумные (эмиссионные) устройства. Квазиклассическое приближение Вентцеля-Крамера-Бриллюэна. Одномерное решение уравнения ВКБ. Полевая эмиссия с планарных электродов. Трехмерное решение уравнения ВКБ. Полевая эмиссия с полукруглых поверхностей. Полевой транзистор.	2
7	3	МОП-структуры. MOSFET-транзисторы. Классическая теория MOSFET. Квантовая теория MOSFET. Статическое и динамическое решение. FINFET - трехмерный MOSFET.	2
8	3	Посткремниевые МОПы. Транзистор с высокой подвижностью электронов (НЕМТ). МОП-структура из элементов III и V групп. Полевые транзисторы на основе планарных структур: нанопленок и нанотрубок. Полевые транзисторы на основе эффекта квантового поля (QWFET).	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Решение задач по теме "Квантовая механика"	2
2	1	Решение задач по теме "Физика твердого тела"	2
3	1	Решение задач по теме "Классическая теория проводимости"	2
4	1	Решение задач по теме "Мобильность электронов"	2
5	1	Решение задач по теме "Уравнение Больцмана"	2
6	1	Решение задач по теме "Эффект Зеебека"	2
7	2	Решение задач по теме "Формализм Ландауэра"	2
8	2	Решение задач по теме "Метод эффективной массы"	2
9	2	Решение задач по теме "Матрицы переноса"	2
10	2	Решение задач по теме "Уравнение Эйри"	2
11	3	Решение задач по теме "Одномерное уравнение Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна"	2
12	3	Решение задач по теме "Трехмерное уравнение Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна"	2
13	3	Решение задач по теме "Классическое описание МОП-структуры"	2
14	3	Введение в AIM-SPICE: основные элементы программного комплекса и работа с ними	2
15	3	Реализация универсальной модели МОП-транзистора в AIM-SPICE	2
16	3	Реализация модели полевого транзистора в AIM-SPICE	2

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к контрольным работам	Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-2379-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167333: гл. 1-8; Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0922-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167840: гл. 1,2,5,6; Паршаков, А. Н. Введение в квантовую физику : учебное пособие / А. Н. Паршаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-0982-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/297: гл. 6,7,8; Филиппов, В. В. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие / В. В. Филиппов. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2018. — 160 с. — ISBN 978-5-88526-948-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/115011: гл. 2-6,9; Полупроводниковая электроника : учебное пособие. — Москва : ДМК Пресс, 2015. — 592 с. — ISBN 978-5-97060-312-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/82801: гл. 1-3; Перлин, Е. Ю. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов : учебное пособие / Е. Ю. Перлин, Т. А. Вартамян, А. В. Федоров. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2008. — 216 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/43431: гл. 3,12; Дробот, П. Н. Наноэлектроника : учебное пособие / П. Н. Дробот. — Москва : ТУСУР, 2016. — 286 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-	2	40

	библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/110241: гл.6,7; Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2004. — 672 с. — ISBN 978-5-8114-0554-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/619: гл.6; Смирнов, В. А. Физические основы микроэлектроники : учебное пособие / В. А. Смирнов, О. В. Шуваева. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 232 с. — ISBN 978-5-9729-0711-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/192772: гл.2-4 .		
Подготовка к практическим занятиям	Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-2379-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167333: гл. 1-8; Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0922-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167840: гл.1,2,5,6; Филиппов, В. В. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие / В. В. Филиппов. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2018. — 160 с. — ISBN 978-5-88526-948-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/115011: гл.2-6,9; гл.1-3; Перлин, Е. Ю. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов : учебное пособие / Е. Ю. Перлин, Т. А. Варганян, А. В. Федоров. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2008. — 216 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/43431: гл.3,12; Петров, М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1075-	2	36

	0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167848: гл.4,6,7; Смирнов, В. А. Физические основы микроэлектроники : учебное пособие / В. А. Смирнов, О. В. Шуваева. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 232 с. — ISBN 978-5-9729-0711-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/192772: гл.2-4		
Подготовка к экзамену	Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-2379-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167333: гл. 1-8; Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0922-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167840: гл.1,2,5,6; Паршаков, А. Н. Введение в квантовую физику : учебное пособие / А. Н. Паршаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-0982-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/297: гл.6,7,8; Филиппов, В. В. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие / В. В. Филиппов. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2018. — 160 с. — ISBN 978-5-88526-948-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/115011: гл.2-6,9; Полупроводниковая электроника : учебное пособие. — Москва : ДМК Пресс, 2015. — 592 с. — ISBN 978-5-97060-312-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/82801: гл.1-3; Перлин, Е. Ю. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов : учебное пособие / Е. Ю. Перлин, Т. А. Вартанян, А. В. Федоров. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2008. — 216 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:	2	11,5

	https://e.lanbook.com/book/43431 : гл.3,12; Дробот, П. Н. Нанoeлектроника : учебное пособие / П. Н. Дробот. — Москва : ТУСУР, 2016. — 286 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/110241 : гл.6,7; Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2004. — 672 с. — ISBN 978-5-8114-0554-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/619 : гл.6. Петров, М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1075-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167848 : гл.4,6,7; Смирнов, В. А. Физические основы микроэлектроники : учебное пособие / В. А. Смирнов, О. В. Шуваева. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 232 с. — ISBN 978-5-9729-0711-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/192772 : гл.2-4		
--	--	--	--

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	2	Текущий контроль	Контрольная работа 1	10	10	Контрольная проводится во время практических занятий в письменной форме, продолжительность 45 минут. Студентам предлагается 1 теоретический вопрос и 1 задача. Каждый ответ на вопрос оценивается от 0 (ответ на вопрос отсутствует) до 5 (полный верный ответ) баллов. За каждую неточность снимается 1 балл. За каждую ошибку или отсутствие важной части материала	экзамен

						снимается 2 балла.	
2	2	Текущий контроль	Выполнение практической работы	10	4	Оценка за практическую работу выставляется по результатам проверки отчета по работе, содержащего постановку задач, листинги с комментариями. Максимальная оценка за практическую работу составляет 4 баллов. Отчет должен быть сдан не позднее двух недель с момента выполнения работы, но не менее чем за три дня до промежуточной аттестации. Оценка за сданный с опозданием отчет снижается на 1 балл. Критерии оценивания: Листинги программы с комментариями: от 0 до 3 баллов (3 балла: программа верная, листинг содержит достаточное для понимания алгоритма работы количество комментариев; 2 балла: программа верная, имеющиеся комментарии не позволяют понять алгоритм работы; 1 балл: программа верно решает поставленную задачу за исключением 1-2 особых случаев; 0 баллов: программа неверно решает поставленную задачу). Своевременность сдачи отчета: 0 или 1 балл (1 балл соответствует сданному в срок отчету, содержащему листинг программы с комментариями; при невыполнении любого из указанных пунктов за данный критерий выставляется 0 баллов)	экзамен
3	2	Текущий контроль	Контрольная работа 2	10	10	Контрольная проводится во время практических занятий в письменной форме, продолжительность 45 минут. Студентам предлагается 1 теоретический вопрос и 1 задача. Каждый ответ на вопрос оценивается от 0 (ответ на вопрос отсутствует) до 5 (полный верный ответ) баллов. За каждую неточность снимается 1 балл. За каждую ошибку или отсутствие важной части материала снимается 2 балла.	экзамен
4	2	Промежуточная аттестация	Экзамен	-	15	Экзаменационный билет содержит 3 задания, два теоретических и одно практическое. Максимальный балл за каждое задание равен 5. Каждый ответ на вопрос оценивается от 0 (ответ на вопрос отсутствует) до 5 (полный верный ответ) баллов. За каждую неточность снимается 1 балл. За каждую ошибку или отсутствие важной части материала снимается 2 балла. Оценка за практическую работу выставляется по результатам проверки программы. Критерии оценивания: Листинги	экзамен

					программы с комментариями: от 0 до 3 баллов (3 балла: программа верная, листинг содержит достаточное для понимания алгоритма работы количество комментариев; 2 балла: программа верная, имеющиеся комментарии не позволяют понять алгоритм работы; 1 балл: программа верно решает поставленную задачу за исключением 1-2 особых случаев; 0 баллов: программа неверно решает поставленную задачу). Своевременность сдачи отчета: 0 или 1 балл (1 балл соответствует сданному в срок отчету, содержащему листинг программы с комментариями; при невыполнении любого из указанных пунктов за данный критерий выставляется 0 баллов)	
--	--	--	--	--	--	--

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Прохождение контрольного мероприятия промежуточной аттестации не является обязательным. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводится в форме письменного экзамена и моделирования практической задачи в программном пакете AIM-SPICE. На выполнение отводится 120 минут. Билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу. При прохождении контрольного мероприятия промежуточной аттестации студенту разрешается использовать справочные материалы и запрещается пользоваться конспектами лекций и учебной литературой	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ПК-2	Знает: принципы построения квазиклассических моделей электронных устройств и условия их применимости	+	+	+	+
ПК-2	Умеет: строить квазиклассические модели устройств	+	+	+	+
ПК-2	Имеет практический опыт: программной реализации моделей	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

Не предусмотрена

б) *дополнительная литература:*

Не предусмотрена

в) *отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:*

Не предусмотрены

г) *методические указания для студентов по освоению дисциплины:*

1. Методические указания при самостоятельном изучении материалов по дисциплине «Квазиклассические модели электронных устройств»

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Методические указания при самостоятельном изучении материалов по дисциплине «Квазиклассические модели электронных устройств»

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 272 с. https://e.lanbook.com/book/167333
2	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. https://e.lanbook.com/book/167840
3	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Паршаков, А. Н. Введение в квантовую физику : учебное пособие / А. Н. Паршаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 352 с. https://e.lanbook.com/book/297
4	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Перлин, Е. Ю. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов : учебное пособие / Е. Ю. Перлин, Т. А. Вартанян, А. В. Федоров. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2008. — 216 с. https://e.lanbook.com/book/43431
5	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Дробот, П. Н. Нанoeлектроника : учебное пособие / П. Н. Дробот. — Москва : ТУСУР, 2016. — 286 с. https://e.lanbook.com/book/110241
6	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Филиппов, В. В. Физические основы нанoeлектроники : учебное пособие / В. В. Филиппов. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2018. — 160 с. https://e.lanbook.com/book/115011

Перечень используемого программного обеспечения:

1. ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)"-Портал "Электронный ЮУрГУ" (<https://edu.susu.ru>)(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	463 (1)	персональные компьютеры, проектор