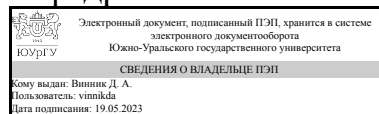


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



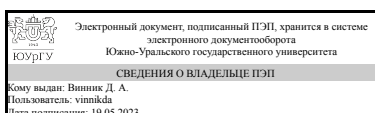
Д. А. Винник

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.М0.04 Термодинамика неравновесных процессов  
для направления 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
уровень Магистратура  
магистерская программа Материаловедение: структура и свойства материалов  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Материаловедение и физико-химия материалов

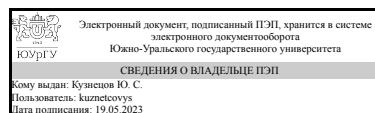
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, утверждённым приказом Минобрнауки от 24.04.2018 № 306

Зав.кафедрой разработчика,  
Д.ХИМ.Н., доц.



Д. А. Винник

Разработчик программы,  
к.техн.н., доц., профессор



Ю. С. Кузнецов

## 1. Цели и задачи дисциплины

Изучение закономерностей протекания необратимых процессов

## Краткое содержание дисциплины

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен разрабатывать новые конструкционные и функциональные материалы для продукции высокотехнологичных производств	Знает: основы термодинамики неравновесных процессов, феноменологические законы и взаимодействие необратимых процессов и их роль в установлении стационарных неравновесных состояний систем

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Перспективные композиционные материалы, Объемные наноструктурные и ультра мелкозернистые материалы, Прикладная термодинамика и кинетика, Перспективные конструкционные и функциональные материалы на металлической основе, Перспективные конструкционные и функциональные материалы на неметаллической основе, Современные методы исследования структуры материалов	Не предусмотрены

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

Дисциплина	Требования
Прикладная термодинамика и кинетика	Знает: методы термодинамического анализа процессов фазообразования в многокомпонентных системах Умеет: Имеет практический опыт:
Перспективные конструкционные и функциональные материалы на металлической основе	Знает: основные группы конструкционных и функциональных материалов на металлической основе, механизмы формирования их механических и физических свойств, мировые тренды в их дальнейших разработках Умеет: анализировать влияние состава, структуры, режимов и способов обработки конструкционных и функциональных материалов на их эксплуатационные свойства, осуществлять оптимальный выбор конструкционных и

	функциональных материалов, в том числе, с использованием информационных технологий Имеет практический опыт:
Перспективные композиционные материалы	Знает: основные группы композиционных материалов, механизмы формирования их механических и физических свойств, перспективные направления их дальнейшей разработки, методы получения композиционных материалов Умеет: обосновывать выбор композиционных материалов для изделий высокотехнологических производств Имеет практический опыт:
Современные методы исследования структуры материалов	Знает: приборную базу, возможности и методы оптической, зондовой, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии Умеет: использовать методы исследования структуры для оценки качества термической обработки изделий, выполнять структурные исследования с использованием оптической и сканирующей электронной микроскопии Имеет практический опыт: подготовки образцов для структурных исследований, работы на оптическом и сканирующем электронном микроскопе
Объёмные наноструктурные и ультрамелкозернистые материалы	Знает: особенности механических и физических свойств объёмных наноструктурных и ультрамелкозернистых материалов, модели, описывающие влияние размера структурных элементов на механические и физические свойства, методы получения наноструктурных и ультра-мелкозернистых материалов Умеет: Имеет практический опыт:
Перспективные конструкционные и функциональные материалы на неметаллической основе	Знает: основные группы конструкционных и функциональных материалов на неметаллической основе, механизмы формирования механических и физических свойств, перспективные направления повышения их эксплуатационных характеристик Умеет: осуществлять оптимальный выбор материалов на неметаллической основе для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик изделий Имеет практический опыт:

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 36,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		3
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72

<i>Аудиторные занятия:</i>	32	32
Лекции (Л)	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	35,75	35,75
Реферат	5	5
выполнение семестрового задания	15,75	15,75
выполнение Задания №1 и Задания №2	10	10
подготовка к зачету	5	5
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет

## 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение. История развития и значимость научной дисциплины. Основные понятия и терминология.	2	2	0	0
2	Законы сохранения	4	2	2	0
3	Второй закон термодинамики. Принцип возрастания энтропии	4	2	2	0
4	Общие положения возрастания энтропии. Потoki необратимых процессов.	8	4	4	0
5	Феноменологические законы и взаимодействие необратимых процессов (примеры применения теории)	8	4	4	0
6	Стационарные неравновесные состояния систем.	6	2	4	0

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	История развития классической термодинамики обратимых процессов. Недостатки классической теории. Работы Л. Онсагера, возникновение и история становления термодинамики необратимых процессов. Основные понятия и терминология	2
2	2	Термодинамические системы и их классификация. Закон сохранения массы и формулировка д' Донде, степень полноты (координата) химической реакции, скорость реакции. Сохранение массы в открытых системах. Закон сохранения энергии. Потoki энергии и калорические коэффициенты	2
2	3	Обратимые и необратимые процессы. Второй закон термодинамики – закон сохранения энтропии. Поток энтропии и производство энтропии. Термодинамические потенциалы. Локальная формулировка второго закона для непрерывных систем.	2
4, 5	4	Примеры определения производства энтропии: поток тепла (теплопередача), химические реакции (средство, скорость и термодинамически сопряженные химические реакции), процессы в открытых системах, электрохимические реакции, процессы в непрерывных системах (особенности математических формулировок законов сохранения). Обобщенная математическая формулировка по результатам рассмотренных примеров. Обобщенное	4

		средство и обобщенный поток, преобразование величин средства и потоков, эквивалентные системы. Связь между величинами средства и потоков.	
6, 7	5	Феноменологические законы и феноменологические коэффициенты. Соотношение взаимности Онсагера–Казимира. Требования симметрии при взаимодействии необратимых процессов, принцип симметрии П. Кюри. Условие применимости соотношения взаимности. Химические реакции: соотношение между скоростью и средством, условие применимости линейного феноменологического закона, взаимодействие двух реакций, время релаксации, динамическое уравнение состояния систем с химическими реакциями.	4
8	6	Минимальная скорость производства энтропии в стационарном состоянии (термомеханический эффект, консекутивные химические реакции). Устойчивость стационарных состояний. Поток энтропии из стационарной системы. Взаимодействие необратимых процессов в стационарных состояниях систем.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Термодинамические системы и их классификация. Закон сохранения массы и формулировка д' Донде, степень полноты (координата) химической реакции, скорость реакции. Сохранение массы в открытых системах. Закон сохранения энергии. Потоки энергии и калорические коэффициенты	2
2	3	Обратимые и необратимые процессы. Второй закон термодинамики – закон сохранения энтропии. Поток энтропии и производство энтропии. Термодинамические потенциалы. Локальная формулировка второго закона для непрерывных систем.	2
3	4	Примеры определения производства энтропии: поток тепла (теплопередача), химические реакции (средство, скорость и термодинамически сопряженные химические реакции), процессы в открытых системах, электрохимические реакции, процессы в непрерывных системах (особенности математических формулировок законов сохранения)	2
4	4	Обобщенная математическая формулировка по результатам рассмотренных примеров. Обобщенное средство и обобщенный поток, преобразование величин средства и потоков, эквивалентные системы. Связь между величинами средства и потоков.	2
5	5	Феноменологические законы и феноменологические коэффициенты. Соотношение взаимности Онсагера–Казимира. Требования симметрии при взаимодействии необратимых процессов, принцип симметрии П. Кюри.	2
6	5	Условие применимости соотношения взаимности. Химические реакции: соотношение между скоростью и средством, условие применимости линейного феноменологического закона, взаимодействие двух реакций, время релаксации, динамическое уравнение состояния систем с химическими реакциями.	2
7	6	Минимальная скорость производства энтропии в стационарном состоянии (термомеханический эффект, консекутивные химические реакции). Устойчивость стационарных состояний.	2
8	6	Поток энтропии из стационарной системы. Взаимодействие необратимых процессов в стационарных состояниях систем	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
Реферат	Интернет	3	5
выполнение семестрового задания	1) ПУМД, осн. лит. 1-2; 2) ПУМД, доп. лит. 1-2; 3) конспект лекций	3	15,75
выполнение Задания №1 и Задания №2	1) ПУМД, осн. лит. 1-2; 2) ПУМД, доп. лит. 1-2; 3) конспект лекций	3	10
подготовка к зачету	1) ПУМД, осн. лит. 1-2; 2) ПУМД, доп. лит. 1-2; 3) конспект лекций	3	5

#### 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	3	Текущий контроль	Семестровое задание	1	5	Семестровое задание позволяет оценить работу студента в семестре, усвоение достаточно сложного теоретического материала дисциплины, понимание и возможность применить теоретические выкладки к реальным процессам. Для получения зачета студент выполняет в письменной форме семестровое задание по вариантам, выданное за три недели до окончания аудиторных занятий. Оформленная работа сдается преподавателю для проверки. При оценке письменных ответов на 2 теоретических вопроса используется шкала оценивания: 5 баллов – оба вопроса раскрыты в полном объеме, приведены основные законы и зависимости, с правильными размерностями величин; 4 балла – один вопрос раскрыт полностью, второй – изложено не менее 50% полного ответа; 3 балла – только один вопрос раскрыт полностью; 2 балла – ответ только на один вопрос и	зачет

						изложено менее 50 % полного ответа; 1 балл – ответ только на один вопрос и изложено менее 20 % полного ответа; 0 баллов – ответов нет.	
2	3	Промежуточная аттестация	Зачет	-	2	На зачете происходит оценивание учебной деятельности обучающихся по дисциплине на основе полученной оценки за контрольно-рейтинговое мероприятие текущего контроля. Если итоговый рейтинг меньше 60%, студент может улучшить его, пройдя контрольное мероприятие на промежуточной аттестации, которое не является обязательным для всех. Студенту задается 2 теоретических вопроса. Верный ответ на каждый вопрос оценивается в 1 балл. Максимальный балл – 2 балла. Неверный ответ на 1 вопрос – 0 баллов..	зачет
3	3	Текущий контроль	Реферат	1	5	При оценке представленного реферата используется шкала оценивания: 5 баллов – тема раскрыта полностью, с математическими выкладками, приведены основные законы и зависимости, с правильными размерностями величин; 4 балла – тема раскрыта полностью, с небольшими ошибками и неточностями; 3 балла – тема раскрыта не полностью, отсутствуют математические выкладки; 2 балла – тема раскрыта не полностью, отсутствуют математические выкладки, много ошибок; 1 балл – изложено менее 20 % полного ответа; 0 баллов – нет реферата.	зачет
4	3	Текущий контроль	Задание №1	1	5	Задание выполняется по вариантам и сдается через 2 недели после получения задания. Шкала оценивания: 5 баллов – задание выполнено и сдано вовремя. Все параметры найдены и рассчитаны правильно. 4 балла – задание сдано с опозданием, но выполнено верно. 3 балла – задание сдано вовремя, последовательность расчета верна, но есть незначительные ошибки в расчетах или размерностях некоторых величин. 2 балла – задание сдано с опозданием и с ошибками. 0 баллов – нет задания.	зачет
5	3	Текущий контроль	Задание №2	1	5	Задание выполняется по вариантам и сдается через 2 недели после получения задания. Шкала оценивания: 5 баллов – задание выполнено и сдано вовремя. Все параметры найдены и рассчитаны правильно. 4 балла – задание сдано с опозданием, но	зачет

					выполнено верно. 3 балла – задание сдано вовремя, последовательность расчета верна, но есть незначительные ошибки в расчетах или размерностях некоторых величин. 2 балла – задание сдано с опозданием и с ошибками. 0 баллов – нет задания.	
--	--	--	--	--	--	--

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	При оценивании результатов мероприятия (промежуточной аттестации) используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора № 179 от 24.05.2019 г. и № 25-13/09 от 10.03.2022). Студент вправе пройти контрольное мероприятие в рамках промежуточной аттестации для улучшения своего рейтинга и может получить оценку по дисциплине согласно п. 2.4 Положения. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводится во время зачета в виде устного опроса. Студенту задаются 2 вопроса из разных тем курса. Студенту дается 20 минут на подготовку ответов, используя лекционный материал. Затем студент озвучивает свои ответы.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ				
		1	2	3	4	5
ПК-1	Знает: основы термодинамики неравновесных процессов, феноменологические законы и взаимодействие необратимых процессов и их роль в установлении стационарных неравновесных состояний систем	+	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Основы физической химии. Теория и задачи Учеб. пособие для вузов по специальности 011000 "Химия" и по направлению 510500 "Химия" В. В. Еремин, С. И. Каргов, И. А. Успенская и др.; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - М.: Экзамен, 2005. - 478 с.

#### б) дополнительная литература:

1. Задачи по физической химии Учеб. пособие для вузов по специальности 011000 "Химия" и по направлению 510500 "Химия" В. В. Еремин, С. И. Каргов, И. А. Успенская и др. - М.: Экзамен, 2005. - 318 с. ил.



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

1. Журнал физической химии

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Агеев, Е. П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах Е. П. Агеев; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - М.: Эдиториал УРСС, 2001. - 135 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Агеев, Е. П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах Е. П. Агеев; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - М.: Эдиториал УРСС, 2001. - 135 с.

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Петелин, А. Л. Нелинейная термодинамика неравновесных систем : учебное пособие / А. Л. Петелин. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 108 с. — ISBN 978-5-7038-4052-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/62040">https://e.lanbook.com/book/62040</a>
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Симонов, В. Н. Равновесная и неравновесная термодинамика: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Физическая химия» : методические указания / В. Н. Симонов, А. В. Велищанский, К. О. Базалева. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 37 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/62043">https://e.lanbook.com/book/62043</a>
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Бажин, Н. М. Термодинамика для химиков : учебник / Н. М. Бажин, В. Н. Пармон. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 612 с. — ISBN 978-5-8114-3917-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/121454">https://e.lanbook.com/book/121454</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

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

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. -База данных ВИНТИ РАН(бессрочно)
2. -Информационные ресурсы ФГУ ФИПС(бессрочно)

### 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	314 (1)	компьютер с проектором