

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.06 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
доцент, к.ф.-м.н. П.П.Турчин

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Формирование фундаментальных основ знаний в области физики макроскопических физических свойств кристаллов, базовых представлений о возможностях применений пьезоэлектрических кристаллов и материалов в технических приложениях и понимания тенденций развития научно-технических аспектов данной области знания.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

Задачами изучения дисциплины являются освоение обучающимися: вопросов термодинамического описания физических (тензорных) свойств кристаллов и других анизотропных твердых тел; определений тензорных материальных постоянных кристаллов с учетом их внешней и внутренней симметрии и установленной связи материальных констант, измеряемых при различных термодинамических условиях измерений; понятий о диэлектрических, пьезоэлектрических, пьезоэлектрических и оптических свойствах кристаллов и основных экспериментальных методик для отдельного определения компонент этих и других тензорных свойств; базовых физических представлений и теории распространения упругих и электромагнитных волн в анизотропных сплошных средах и новых материалах, к которым применимы данные представления; основных принципов применений пьезоэлектриков в различных научно-технических областях.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства	
ПК-3.1 Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	знать фундаментальные основы физики макроскопических свойств кристаллов; уметь применять термодинамическое описание макроскопических свойств анизотропных сред; владеть методами тензорного описания материальных свойств кристаллов.
ПК-3.2 Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	знать физические основы упруго-электромагнитных преобразований энергии в кристаллах; уметь анализировать возможности применения сегнето-, пьезо-, магнитоэлектрических кристаллов и материалов в технических приложениях и тенденции развития научно-технических аспектов данной области знания; владеть экспериментальными методами исследований функциональных материалов на нано-, микро-, мезо- и макромасштабных уровнях строения.

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		8
Общая трудоемкость дисциплины	4 (144)	4 (144)
Контактная работа с преподавателем:	2 (72)	2 (72)
занятия лекционного типа	1 (36)	1 (36)
практические занятия	1 (36)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Экзамен)	36	Экзамен

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
1.	Лек	Тензоры и физические свойства кристаллов	6	8	
2.	Лек	Термодинамическое описание свойств кристаллов	6	8	
3.	Лек	Симметрия кристаллов и вид тензоров их физических свойств	6	8	
4.	Лек	Общие проблемы кристаллофизики	6	8	
5.	Лек	Исследования физических свойств кристаллов	6	8	
6.	Лек	Пьезоэлектрические кристаллы и материалы	6	8	
7.	Пр	Принцип Кюри и Неймана, их применения в кристаллофизике	6	8	
8.	Пр	Собственные векторы и собственные значения симметричного тензора второго ранга	6	8	
9.	Пр	Тензоры механических напряжений и деформаций. Обобщенный закон Гука для анизотропной среды	6	8	
10.	Пр	Определение инвариантного вида тензора относительно точечной группы симметрии кристалла	6	8	
11.	Пр	Построение характеристических поверхностей тензоров, определяющих кристаллофизика на примере упругих свойств и пьезоэффекта	6	8	
12.	Пр	Оптическая анизотропия кристаллов	6	8	
13.	Ср	Самостоятельная работа	36	8	
14.	Экзамен	Экзамен	36	8	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Шаскольская М. П. Кристаллография [Электронный ресурс]:учебник для технических вузов. - Москва: Высшая школа, 1976. - 391 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-381064.pdf> .

2. Дьелесан Э., Руайе Д., Леманов В. В. Упругие волны в твердых телах: применение для обработки сигналов:перевод с французского. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. - 424 с..

3. Александров К. С., Сорокин Б. П., Бурков С. И., Овчинников С. Г. Эффективные пьезоэлектрические кристаллы для акустоэлектроники, пьезотехники и сенсоров: Т. 1 [Электронный ресурс]:. - Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2007. - 500 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB/PREVIEW/free/preview-813001.pdf> .

4. Переломова Н. В., Тагиева М. М., Шаскольская М. П. Задачник по кристаллофизике:учебное пособие для вузов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. - 288 с..

5. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела [Электронный ресурс]:. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0063648.pdf> .

6. Александров К. С., Сорокин Б. П., Бурков С. И., Овчинников С. Г. Эффективные пьезоэлектрические кристаллы для акустоэлектроники, пьезотехники и сенсоров: Т. 2 [Электронный ресурс]:. - Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2008. - 428 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB/PREVIEW/free/preview-783124.pdf> .

7. Суздаев И. П. Электрические и магнитные переходы в нанокластерах и наноструктурах:[монография]. - Москва: URSS, 2012. - 474 с..

8. Ищенко А. А., Гиричев Г. В., Тарасов Ю. И. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества:монография. - Москва: Физматлит, 2012. - 616 с..

9. Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики:учебное пособие для физических специальностей вузов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. - 639 с..

10. Най Дж., Шувалов Л. А. Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц:пер. с англ.. - Москва: Издательство иностранной литературы, 1960. - 385 с..

11. Сорокин Б. П. Физические свойства кристаллов. Кристаллофизика анизотропных диэлектриков:учебное пособие. - Красноярск: Красноярский университет [КрасГУ], 1990. - 105 с..

12. Сорокин Б. П. Физические свойства кристаллов. Основы кристаллоптики и кристаллоакустики:учебное пособие. - Красноярск: Красноярский университет [КрасГУ], 1992. - 93 с..

13. Мерер Х., Якимов Е. Б., Аристов В. В. Диффузия в твердых телах:монография. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 535 с..

14. Федоров Ф. И. Теория упругих волн в кристаллах:[монография]. - Москва: Наука, 1965. - 386 с..

15. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П., Софронова С. Н., Токарев Н. А., Александров К. С., Сорокин П. Б., Бурков С. И., Глушков Д. А., Четвергов Н. А. Физика конденсированного состояния вещества [Электронный ресурс]:электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: ИПК СФУ, 2007. - on-line – Режим доступа: http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-683493.zip .

16. Жабрун И. В., Паклин Н. Н. Симметрии в природе [Электронный ресурс]:учебно-методическое пособие [для самостоятельных и практических работ для студентов напр. 011200.68 «Физика»]. - Красноярск: СФУ, 2013. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-990072.pdf> .

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.
2. Microsoft Windows Professional 10 Russian. Операционная система Windows.
3. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>
2. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/>
3. научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/defaultx.asp?>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.В.06 Физические свойства кристаллов

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ПК-3: Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства			
8	ПК-3.1: Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	знать фундаментальные основы физики макроскопических свойств кристаллов	Решение задач; Контрольные вопросы к экзамену
		уметь применять термодинамическое описание макроскопических свойств анизотропных сред	Решение задач; Контрольные вопросы к экзамену
		владеть методами тензорного описания материальных свойств кристаллов	Решение задач; Контрольные вопросы к экзамену
8	ПК-3.2: Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	знать физические основы упруго-электро-магнитных преобразований энергии в кристаллах	Решение задач; Контрольные вопросы к экзамену
		уметь анализировать возможности применения сегнето-, пьезо-, магнитоэлектрических кристаллов и материалов в технических приложениях и тенденции развития научно-технических аспектов данной области знания	Решение задач; Контрольные вопросы к экзамену
		владеть экспериментальными методами исследований функциональных материалов на нано-, микро-, мезо- и макромасштабных уровнях строения	Решение задач; Контрольные вопросы к экзамену

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Задачи:

1. Записать матрицу преобразования системы координат плоскостью симметрии, проходящей через ось X_3 и располагающейся под произвольным углом φ к оси X_1 .
2. Найти матрицу преобразования системы координат осью симметрии второго порядка, лежащей в координатной плоскости X_1X_2 и располагающейся под произвольным углом φ к оси X_2 .
3. Какую симметрию приобретет кристалл под действием одноосного механического растяжения по направлениям: а) $[100]$; б) $[111]$; в) $[110]$; г) $[hkl]$; д) $[hkk]$; е) $[hkl]$, если его симметрия в ненапряженном состоянии $m\bar{3}$?
4. Определить тензор диэлектрической проницаемости кварца:
 - а) в системе координат, повернутой относительно кристаллофизической системы на угол 30° вокруг оси X_1 по часовой стрелке;
 - б) в системе координат, повернутой вокруг оси X_1 кристаллофизической системы на угол 30° против часовой стрелки;
 - в) в системе координат, повернутой вокруг оси X_3 кристаллофизической системы координат на угол 60° по и против часовой стрелки. Объяснить полученные результаты.
5. Найти значение диэлектрической проницаемости 45° X-среза, 45° Z-среза кристаллов сегнетовой соли в парафазе (класс 222) и сегнетофазе (класс 2).
6. Напряженное состояние кристалла кварца в кристаллофизической системе координат задается следующим образом: $t_{11} = 10 \text{ Н/см}^2$; $t_{22} = 20 \text{ Н/см}^2$; $t_{33} = 30 \text{ Н/см}^2$; $t_{12} = -5 \text{ Н/см}^2$. Определить: а) величину экстремальных нормальных напряжений; б) ориентацию плоскости, испытывающей максимальное и минимальное нормальные напряжения.
7. Найти вид матрицы пьезомодулей для сегнетовой соли (222).
8. Показать, что для классов симметрии 422 и 622 не существует продольного пьезоэлектрического эффекта ни в одном направлении.
9. Определить вид матрицы упругих коэффициентов $s_{\mu\nu}$ класса симметрии 222, к которому относятся кристаллы сегнетовой соли в параэлектрической модификации.
10. Для кубических кристаллов определить: а) направления, соответствующие экстремальным значениям модуля Юнга; б) вид его указательной поверхности.

Методические рекомендации по решению задач:

Текущий контроль предусматривает решение задач на семинарских занятиях. При решении задач студент должен продемонстрировать умение самостоятельно решать небольшие (не требующие значительных вычислений, но контролирующее принципиальное понимание курса) задачи по изучаемым разделам.

Критерии оценки решения задач:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если решены не менее 90% задач, последовательность изложения решения логически стройная и дополнена комментариями, но при этом могут быть допущены несущественные ошибки.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если решены не менее 75% задач, последовательность изложения решения логически стройная, не допускаются существенных неточностей, правильно применяются теоретические положения.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если решены не менее 50% задач, при этом может быть нарушена логическая последовательность изложения решения, допускаются неточности и недостаточно правильные формулировки.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется студенту, если решены менее 50% задач, допущены существенные ошибки.

Контрольные вопросы к экзамену:

1. Кристалл как анизотропная сплошная среда. Принципы симметрии в кристаллофизике.
2. Тензоры и физические свойства кристаллов.
3. Основные уравнения электростатики кристаллов.
4. Тензор напряжений.
5. Тензор деформаций.
6. Условия равновесия и уравнения движения упругой среды. Закон Гука.
7. Энергия кристалла при деформации и в электрическом поле.
8. Термодинамические потенциалы и уравнения состояния.
9. Материальные постоянные, измеренные при различных условиях опыта.
10. Внутренняя и внешняя симметрия тензоров. Метод прямой проверки.
11. Собственные значения и собственные векторы тензора второго ранга.
12. Общие проблемы кристаллофизики.
13. Пироэлектрический эффект. Тепловизоры и пироэлектрические приемники.
14. Экспериментальное определение диэлектрической проницаемости кристалла произвольной симметрии.

15. Электропроводность кристаллов.
16. Пьезоэлектричество. Уравнения пьезоэффекта. Пьезоэлектрические кристаллы и текстуры.
17. Уравнения электроупругости. Пьезоэлектрическая пластинка под действием механических напряжений и разности потенциалов.
18. Продольный пьезоэффект. Характеристические поверхности пьезоэффекта.

Методические рекомендации по проведению экзамена

Аттестация в конце 8 семестра предусмотрена в виде экзамена. Рекомендуется проведение экзамена в устной форме, по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса.

Критерии оценки экзамена

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Разработчик



П.П.Турчин