

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. №6

Рабочая программа дисциплины

Физика анизотропных сред

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

профиль "Теоретическая физика"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2022

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика анизотропных сред» относится к вариативной части Б1.В.ДВ блока Б1 «Дисциплины (модули)», является элективной дисциплиной, преподается на четвертом году обучения, в седьмом семестре. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин (модулей) «Векторный и тензорный анализ», «Кристаллография». Лучшему освоению дисциплины способствует освоение элективной дисциплины «Физическая кристаллохимия».

Целями освоения дисциплины «Физика анизотропных сред» являются:

- сформировать полное представление о природе связи физических свойств и симметрии;
- дать описание их зависимости и влиянии различных внешних воздействий на физические свойства кристаллов.

2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Физика анизотропных сред» составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 50 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 130 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (94 часа самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины «Физика анизотропных сред»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В ТОМ ЧИСЛЕ				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Основы тензорного и симметричного описания физических свойств анизотропных сред. Анизотропные сплошные среды. Предельные группы симметрии. Понятие физического свойства. Симметрия кристалла, симметрия воздействия, симметрия физического свойства. Принцип Кюри, принцип Неймана. Кристаллографические и кристаллофизические системы координат. Матричное описание ортогональных преобразований. Общее определение тензора II ранга. Преобразования компонент векторов и тензоров при преобразовании системы координат. Тензоры различных рангов. Псевдотензоры. Внутренняя симметрия тензоров. Взаимно обратные тензоры. Матричные обозначения. Полевые и материальные тензоры. Геометрическая интерпретация тензоров. Указательная поверхность. Величина, характеризующая свойство в данном направлении. Характеристическая поверхность симметричного тензора II ранга и ее свойства. Эллипсоид значений симметричного тензора II ранга. Указательные поверхности для тензоров высших рангов. Собственные векторы и собственные значения симметричного тензора II ранга. Приведение симметричного тензора II ранга к главным осям. Собственная (внешняя) симметрия полярных и аксиальных тензоров.	28	4	8	—	12	16
2. Электрические свойства анизотропных сплошных сред. Пироэлектрический эффект. Указательная поверхность пироэффекта. Электрокалорический эффект.	19	2	4	—	6	13

Поляризация кристаллов в электрическом поле. Тензоры поляризуемости и диэлектрической проницаемости, их симметрия для кристаллов разных сингоний. Емкость конденсатора с кристаллическим диэлектриком. Плотность энергии электростатического поля в кристалле. Сегнетоэлектрические кристаллы. Фазовые переходы I и II рода. Общая характеристика структурных фазовых переходов в кристаллах. Доменное строение сегнетоэлектриков.						
3. Механические свойства анизотропных сплошных сред. Анизотропия механических характеристик кристаллов. Понятие о твердости и способах ее измерения. Шкала Мооса. Спайность. Тензор напряжений. Частные формы тензора напряжений. Тензор упругой дилатации. Тензор упругой деформации. Тепловое расширение кристаллов. Закон Гука для кристаллов. Тензоры упругой податливости и жесткости, их симметрия. Матричные обозначения тензоров. Энергия деформированного кристалла.	22	3	6	—	9	13
4. Связь электрических и механических свойств анизотропных сред. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Пьезотензор и его симметрия. Физический смысл компонент пьезотензора. Переход к матрице пьезомодулей. Метод прямой проверки. Указательные поверхности пьезоэффекта. Продольный и поперечный пьезоэффект. Электрострикция. Пьезоэлектрические текстуры.	22	3	6	—	9	13
5. Магнитные свойства кристаллов. Классификация магнитных веществ. Различные типы магнитных структур в кристаллах. Тензоры намагниченности и магнитной восприимчивости вещества. Магнитная симметрия. Доменная структура ферромагнетиков. Пьезомагнитный и магнитоэлектрический эффекты.	19	2	4	—	6	13
6. Явления переноса в кристаллах. Электропроводность кристаллов. Теплопроводность кристаллов. Термоэлектрические эффекты.	16	1	2	—	3	13
7. Термодинамика равновесных сред. Внутренняя энергия и термодинамический потенциал кристалла. Обобщенные термодинамические координаты и силы. Матрица	16	1	2	—	3	13

термодинамического потенциала. Ее симметрия и вытекающие из этого следствия.						
В т.ч. текущий контроль	2	2				—
Промежуточная аттестация – экзамен						

3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) методика «вопросы и ответы»;
- 4) выполнение практического задания у доски;
- 5) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 6) работа в парах над практическим заданием;
- 7) работа в малых группах над практическим заданием;
- 8) методика «мозговой штурм».

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	(ОПК-3) Знать основные разделы общей и теоретической физики, кристаллографии, необходимые для описания структуры и физических свойств кристаллов. (ОПК-3) Уметь применять теоретическую базу для анализа получаемых результатов. (ОПК-3) Владеть навыками использования на практике знаний, полученных при освоении отдельных разделов общей и теоретической физики, кристаллографии, для решения профессиональных задач.

<p>ПК-1</p> <p>способность использовать специализированные знания в области физики освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>(ПК-1) Знать фундаментальные понятия кристаллофизики; закономерности взаимосвязи физических свойств и симметрии анизотропной среды, особенности влияния различных внешних воздействий на физические свойства кристаллов.</p> <p>(ПК-1) Уметь объяснить связь физических свойств кристаллов с их структурой.</p> <p>(ПК-1) Владеть навыками исследования физических свойств кристаллических твердых тел.</p>
<p>ПК-3</p> <p>готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований</p>	<p>(ПК-3) Знать теоретические модели, используемые в физике анизотропных сред для выявления зависимостей между их составом, строением и свойствами; основные компьютерные базы кристаллоструктурных данных.</p> <p>(ПК-3) Уметь осуществлять поиск и использовать кристалло-структурную информацию для определения основных особенностей строения кристаллических веществ; объяснить связь физических свойств кристаллов с их структурой.</p> <p>(ПК-3) Владеть терминологией физической кристаллографии; структурной систематикой кристаллов; стандартными методами описания кристаллических структур; навыками теоретического исследования физических и химических свойств кристаллических твердых тел.</p>

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Физика анизотропных сред» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Плохо» – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

«Неудовлетворительно» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Удовлетворительно» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«Хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Очень хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Отлично» – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

«Превосходно» – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Физика анизотропных сред»:

1. Каковы основные постулаты анизотропных сплошных сред.
2. Перечислите предельные группы симметрии.
3. Сформулируйте понятия физического свойства, симметрии воздействия, симметрии физического свойства.
4. Сформулируйте принцип Кюри, принцип Неймана. Приведите примеры.
5. Кристаллографические и кристаллофизические системы координат.
6. Каков матричный подход к описанию ортогональных преобразований.
7. Введите определение тензора II ранга.
8. Как преобразуются компоненты векторов и тензоров при преобразовании системы координат.
9. Определите понятия тензоров различных рангов, псевдотензоров.
10. Внутренняя симметрия тензоров. Взаимно обратные тензоры. Матричные обозначения. Полевые и материальные тензоры.
11. Какова геометрическая интерпретация тензоров. Определите указательную поверхность физического свойства.
12. Определите величину, характеризующую физическое свойство в данном направлении.
13. Введите понятие характеристической поверхности симметричного тензора II ранга и ее свойства.
14. Что такое эллипсоид значений симметричного тензора II ранга.
15. Собственные векторы и собственные значения симметричного тензора II ранга.
16. Сформулируйте правила приведения симметричного тензора II ранга к главным осям.
17. Собственная (внешняя) симметрия полярных и аксиальных тензоров.
18. Пироэлектрический эффект. Указательная поверхность пироэффекта. Электрокалорический эффект.
19. Каковы особенности поляризации кристаллов в электрическом поле.
20. Определите емкость конденсатора с кристаллическим диэлектриком.
21. Рассчитайте плотность энергии электростатического поля в кристалле.
22. Сегнетоэлектрические кристаллы. Фазовые переходы I и II рода. Общая характеристика структурных фазовых переходов в кристаллах. Доменное строение сегнетоэлектриков.
23. Анизотропия механических характеристик кристаллов. Понятие о твердости и способах ее измерения. Шкала Мооса. Спайность.
24. Введите понятие тензора напряжений. Каковы частные формы тензора напряжений.
25. Введите понятие тензора упругой дисторсии, тензора упругой деформации.
26. Опишите особенности теплового расширения кристаллов.
27. Сформулируйте закон Гука для кристаллов.
28. Каковы основные свойства тензоров упругой податливости и жесткости, их симметрия.
29. Рассчитайте энергию деформированного кристалла.
30. В чем особенности прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта. Пьезотензор и его симметрия. Физический смысл компонент пьезотензора.
31. Какова классификация магнитных веществ, типов магнитных структур в кристаллах. Что такое тензоры намагниченности и магнитной восприимчивости вещества.

32. Опишите магнитную симметрию кристаллов. Какова доменная структура ферромагнетиков.
33. Пьезомагнитный и магнитоэлектрический эффекты.
34. Опишите явления переноса в кристаллах: электропроводность и теплопроводность кристаллов.
35. Сформулируйте основной подход к описанию термодинамики равновесных сред. Каковы понятия внутренней энергии и термодинамического потенциала кристалла.
36. Что такое обобщенные термодинамические координаты и силы, матрица термодинамического потенциала.

6.3.2. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

Задача 1.

Тензор упругой деформации кристалла задается в виде:

$$\begin{bmatrix} 8 & -1 & -1 \\ 1 & 6 & 0 \\ -5 & 0 & 2 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6}.$$

Определить тензор малых деформаций, тензор малых вращений, а также значения главных деформаций.

Задача 2.

К кристаллу с точечной группой симметрии T приложено однородное электрическое поле вдоль направления: 1) $[100]$; 2) $[110]$; 3) $[111]$; 4) $[hk0]$; 5) $[hkl]$. Найти симметрию кристалла в поле.

Задача 3.

В каком направлении нужно приложить однородное электрическое поле к кристаллу сфалерита (точечная группа T_d), чтобы его симметрия понизилась до: 1) гексагональной; 2) ромбической; 3) моноклинной; 4) триклинной?

Задача 4.

Определить симметрию кристалла кварца (точечная группа D_3) в поле одноосного механического сжатия, приложенного вдоль направления: 1) оси третьего порядка; 2) оси второго порядка.

Задача 5.

Пользуясь принципом Неймана, определить возможные точечные группы симметрии кристаллов, в которых может проявляться пьезоэлектрический эффект.

Задача 6.

Найти плотность поверхностных зарядов, возникающих на противоположных гранях турмалиновой пластинки при однородном нагревании ее на 30 К, если пластинка вырезана так, что: 1) нормаль к пластинке параллельна оси симметрии 3; 2) угол между нормалью к пластинке и осью 3 составляет 60° ; 3) нормаль к пластинке перпендикулярна к оси 3.

(Турмалин, $3m$, $\gamma=1,3$ ед. СГСЭ).

Задача 7.

Как следует ориентировать кальцитовую пластинку (CaCO_3 , $\bar{3}m$), чтобы при нагревании она не изменяла своей толщины?

Задача 8.

Найти величину удельного сопротивления кристалла в направлении $(1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3})$ относительно системы координат, в которой удельная проводимость (в $10^{-7} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$) этого кристалла описывается тензором вида:

$$\begin{bmatrix} 25 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & -3\sqrt{3} \\ 0 & -3\sqrt{3} & 13 \end{bmatrix}.$$

Задача 9.

При упругой деформации кристаллического образца, имеющего форму куба размером $1 \times 1 \times 1 \text{ см}^3$, его точки испытывают следующие смещения:

$$u_1 = (4x_1 + 3x_2 - 5x_3) \cdot 10^{-4} \text{ см},$$

$$u_2 = (7x_1 - 13x_2 + 4x_3) \cdot 10^{-4} \text{ см},$$

$$u_3 = (9x_1 - 2x_2 + 4x_3) \cdot 10^{-4} \text{ см}.$$

Найти изменение углов между ребрами куба и изменение его объема при деформации.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. – Основы кристаллофизики. – М.: Наука, 1975. – 680 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 5 экз. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=473219>.
2. Най Дж. – Физические свойства кристаллов. – М.: Мир, 1967. – 386 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 5 экз. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=97358>.

б) дополнительная литература:

1. Васильев Д.М. – Физическая кристаллография. – М.: Металлургия, 1972. – 279 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=99223>.
2. Переломова Н.В., Тагиева М.М. – Задачник по кристаллофизике. – М.: Наука, 1972. – 192 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=99232>.
3. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А. – Кристаллография. – М.: Изд. физ.-мат. лит., 2000. – 496 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=222770>.

4. Бокий Г.Б. – Кристаллохимия. – М.: Наука, 1971. – 400 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=405382>.
5. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П. – Геометрическая микрокристаллография. – М.: Изд. МГУ, 1976. – 241 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=102107>.
6. Костов И. – Кристаллография. – М.: Мир, 1965. – 528 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=100118>.
7. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. – Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 2000. – 494 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44686>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ
<http://www.lib.unn.ru/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями самостоятельно установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Автор:

доцент кафедры кристаллографии
и экспериментальной физики
физического факультета,
к. ф.-м. н.

_____ / Овсецина Т.И. /

Рецензент:

Зав. кафедрой кристаллографии
и экспериментальной физики
физического факультета,
д. ф.-м. н., профессор

_____ / Чупрунов Е.В. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ от « » _____ 2021 года,
протокол № б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /