

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Структурные фазовые переходы

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 – Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать;

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

По дисциплине «Структурные фазовые переходы» предусмотрены семинарские занятия (коллоквиумы) по разделам курса: Темы 1-5 (ИПК 1.1, ИПК 1.2). Открытый перечень основных вопросов практических занятий размещены в системе LMS Moodle ТГУ (Learning Management System Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) по ссылке: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21997> Основные вопросы семинарских занятий составлены на основе разделов курса. Дополнительные вопросы к ним составлены на основе тематик подразделов. Контрольная точка проводится не менее двух раз в семестр.

План практических занятий по дисциплине.

1. Упорядоченные твердые растворы.
2. Структурно-фазовые переходы в сплавах на основе Ti-Ni.
3. Переходы типа смещения.
4. Мартенситные превращения и двойникование в сплавах на основе железа.

Примеры основных вопросов на коллоквиуме:

1. Сверхструктура. Вероятность заполнения узлов сверхструктуры. Типы узлов.
2. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГЦК решеткой.
3. Реконструктивные деформационные переходы. Переход $A1 \rightarrow A2$ (ГЦК $\rightarrow$ ОЦК). Переход $A2 \rightarrow A1$ (ОЦК $\rightarrow$ ГЦК).
4. Переходы $B2 \rightarrow Ll_0$ и $Ll_0 \rightarrow B2$. Переход $B1 \rightarrow B2$. Переходы $A2 \rightarrow A3$ и $B2 \rightarrow B19$.
5. Механизмы пластической деформации. Скольжение, двойникование, мартенситные превращения, дислокационно-дислокационные моды деформации, диффузионный механизм, зернограничное проскальзывание, локализация деформации.

Примеры дополнительных вопросов по тематикам подразделов.

1. Дать определение структурных фазовых переходов.
2. Схема Бейна для переходов $A1-A2$ (нарисовать и объяснить).
3. Отличие переходов $A1-A3$ и механического двойникования в $A1$.

Студенты предоставляют ответ на основной вопрос в устной форме. Ответы на дополнительные вопросы также должны быть представлены в устной форме.

Промежуточная аттестация включает в себя активность студента на семинарах: 4 семинара по (0-10 баллов) за каждый, итого 0-40 баллов за семестр. За ответ на один основной вопрос студент может получить 4-5 баллов (правильный ответ - 5 баллов, незначительные неточности в ответе - 4 балла). За правильный ответ на дополнительный вопрос – 1 балл. К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие промежуточную аттестацию.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам и последующего устного опроса. Билет содержит два теоретических вопроса, проверяющие компетенции ИПК 1.1, ИПК 1.2. После ответа на билет студент отвечает на уточняющие и дополнительные вопросы по всему пройденному материалу, направленные на проверку достижения ИПК 1.1 и ИПК 1.2. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов, выносимых на экзамен:

1. Структурные фазовые переходы, определения, примеры. Изменение симметрии при фазовых переходах.
2. Переходы типа смещения и деформационные переходы. Дисторсионные и реконструктивные переходы.
3. Сверхструктура. Спиновые переменные и числа заполнения. Разбиение кубических решеток на идентичные подрешетки.
4. Степень дальнего порядка. Антифазные домены упорядочения. Координация узлов сверхрешетки.
5. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГЦК решеткой. Сверхструктура типа AuCuI, структурный тип $L1_0$, стехиометрия АВ.
6. Сверхструктура типа Au_3Cu , структурный тип $L1_2$, стехиометрия A_3B или AB_3 .
7. Сверхструктура типа CuPt, структурный тип $L1_1$, стехиометрия АВ.
8. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ОЦК решеткой. Сверхструктура типа $\beta CuZn$ или CsCl, стехиометрия АВ. Структура типа B2.
9. Сверхструктура типа NaTi. Структурный тип B32. Стехиометрия АВ.
10. Сверхструктура типа Fe_3Al или $BiFe_3$. Структурный тип $D0_3$. Стехиометрия A_3B или AB_3 .
11. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГПУ решеткой. Исходная структура A3. Сверхструктура типа MgCd. Структурный тип B19, стехиометрия АВ.
12. Статические плоские концентрационные волны. Единичная концентрационная волна.
13. СПКВ, структура B2.
14. Структура $L1_0$. $\vec{k}$ -звезда. Канал перехода.
15. Структура $L1_1$. Структура $L1_2$. Суперпозиция СПКВ без сдвига фаз.
16. Структура B32. Суперпозиция СПКВ, смещенных по фазе.
17. Структура $D0_3$. Двухканальный переход.
18. Сложные СПКВ. Звезды Лифшица. Лифшицевские и нелифшицевские структуры.
19. Метод статических концентрационных волн в уравнениях самосогласованного поля.
20. Структурно-фазовые превращения в условиях интенсивных внешних воздействий.

Критерии формирования оценки: при сдаче экзамена суммируются баллы, полученные на промежуточной аттестации (суммарный балл за участие на семинарах) и баллы, полученные, собственно, за экзамен. К экзамену допускаются студенты, успешно прошедшие промежуточную аттестацию.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов экзамена и промежуточной аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 100-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-51 – «удовлетворительно», менее 50 – «неудовлетворительно».

Количество баллов	Результат, продемонстрированный студентом на экзамене
86-100	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
66-85	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему не критичные неточности в ответе
51-65	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирующему базовые понятия.
0-50	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины

Открытый перечень вопросов, выносимых на экзамен.

Билет № 1

Вопрос 1. Степень дальнего порядка. Антифазные домены упорядочения. Координация узлов сверхрешетки.

Вопрос 2. СПКВ, структура В2. Структура L10, $\vec{k}$ -звезда. Канал перехода.

Билет № 2

Вопрос 1. Сложные СПКВ. Звезды Лифшица.

Вопрос 2. Переход A2→A1 (ОЦК→ГЦК). Переходы B2→L10 и L10→B2. Переход B1→B2.

Билет № 3

Вопрос 1. Структура L11. Структура L12. Суперпозиция СПКВ без сдвига фаз.

Вопрос 2. Переходы A2→A3 и B2→B19.

Билет № 4

Вопрос 1. Структурные фазовые переходы, определения, примеры. Изменение симметрии при фазовых переходах.

Вопрос 2. Метод статических концентрационных волн в уравнениях самосогласованного поля.

Билет № 5

Вопрос 1. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГЦК решеткой.

Вопрос 2. Реконструктивные деформационные переходы. Переход A1→A2 (ГЦК→ОЦК). Построение Бейна. Переход ГЦК→ОЦТ в твердых растворах внедрения.

Билет № 6

Вопрос 1. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых

растворов замещения с ОЦК решеткой.

Вопрос 2. Переход $A1 \rightarrow A3$ и механическое двойникование структуры $A1$. Дислокационная модель двойникования.

Билет № 7

Вопрос 1. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГПУ решеткой.

Вопрос 2. Структурно-фазовые превращения в условиях интенсивных внешних воздействий.

Билет № 8

Вопрос 1. Статические плоские концентрационные волны. Единичная концентрационная волна.

Вопрос 2. Переходы типа смещения и деформационные переходы. Дисторсионные и реконструктивные переходы.

Билет № 9

Вопрос 1. Сверхструктура. Спиновые переменные и числа заполнения. Разбиение кубических решеток на идентичные подрешетки.

Вопрос 2. Структура $B32$. Суперпозиция СПКВ, смещенных по фазе. Структура $D0_3$. Двухканальный переход.

Примеры дополнительных вопросов промежуточной аттестации в форме экзамена:

Вопрос 1. Дать определение структурных фазовых переходов.

Вопрос 2. Схема Бейна для переходов $A1-A2$ (нарисовать и объяснить).

Вопрос 3. Спиновые переменные и числа заполнения.

Вопрос 4. Отличие переходов $A1-A3$ и механического двойникования в $A1$.

И т.д.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Краткие теоретические вопросы по всему курсу за 2 семестра, позволяющие оценить уровень сформированных компетенций ИПК 1.1, ИПК 1.2.

1. Сформулируйте определение структурных фазовых переходов. Ответ:

Ответ:

Структурный фазовый переход – это фазовый переход, при котором изменяется кристаллическая структура вещества. При этом необходимо учитывать также любые фазовые переходы в твердом состоянии, при которых происходит какое-либо перераспределение или перемещение структурных единиц вещества в занимаемом ими пространстве, в том числе и переходы, не меняющие кристаллическую структуру.

2. Сформулируйте определение сверхструктуры. Что такое спиновые переменные и числа заполнения

Ответ:

Сверхструктура же результат заполнения узлов сверхрешетки (то есть заполнения узлов решетки с учетом их дифференциации, “предназначенности”) атомами различных компонентов.

В единичной атомной конфигурации твердого раствора размещение атомов двух компонентов на узлах кристаллической решетки может быть полностью описано набором спиновых переменных $\sigma_{u,v,w}$ или же набором $\alpha_{u,v,w}$ чисел заполнения

$$\sigma_{u,v,w} = \begin{cases} +1, & \text{если узел } [u,v,w] \text{ занят атомом В} \\ -1, & \text{если он занят атомом А} \end{cases}$$

$$\alpha_{u,v,w} = \begin{cases} +1, & \text{если узел } [u,v,w] \text{ занят атомом В} \\ 0, & \text{если он занят атомом А} \end{cases}$$

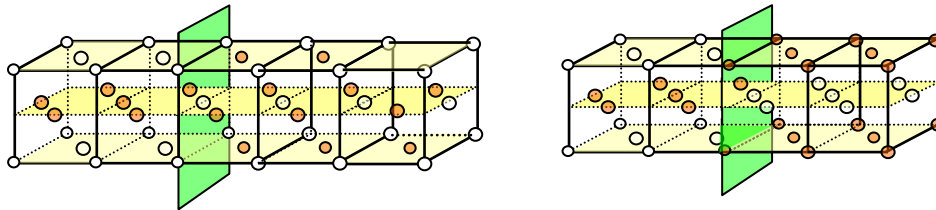
3. Сформулируйте определение степени дальнего порядка.

Ответ:

$\eta = P_A^a - P_A^b = P_B^b - P_B^a$, где $P_A^a, P_A^b, P_B^a, P_B^b$ - соответствующие вероятности атомам типа А занимать узлы типа а, и т.д.

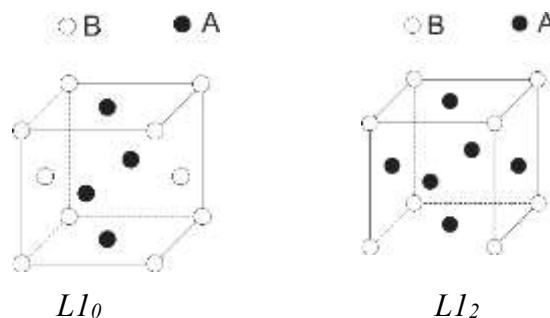
4. Изобразить схематично антифазные и ориентационные домены упорядочения

Ответ:



5. Изобразить схематично, или описать словами простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГЦК кристаллической решеткой.

Ответ:



Для сверхструктуры $L1_1$ характерно чередование плоскостей одного из семейств $\{111\}$

6. Изобразить схематично, или описать словами простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГЦК кристаллической решеткой

Ответ:

Сверхструктура $B2$ представляет собой результат заполнения двух ПК(a) подрешеток, составленных узлами, предпочтительными для атомов одного из компонентов.

Сверхструктура типа $B32$, стехиометрия AB может быть представлена как результат преимущественного заполнения двух ГЦК($2a$) подрешеток 1 и 3, принадлежащих разным ПК(a) подрешеткам атомами одного из компонентов, а двух других ГЦК($2a$) подрешеток 2 и 4 – атомами другого компонента.

Сверхструктура $D0_3$ представляет собой результат заполнения атомами одного из компонентов одной ГЦК($2a$) подрешетки и атомами другого компонента – остальных трех подрешеток ГЦК($2a$).

7. Сформулируйте понятие о статических плоских концентрационных волнах (СПКВ) на примере единичной волны.

Ответ:

Простое периодическое чередование плоскостей $(A) (B) (A) (B) (A) (B) \dots$, где (A) – плоскости, предпочтительные при заполнении для атомов A , (B) – для атомов B может быть описано как единичная статическая плоская концентрационная волна

$$\Delta c_{u,v,w} = c_{u,v,w} - c = \eta/2 \exp(i\vec{k}\vec{r}_{u,v,w})$$

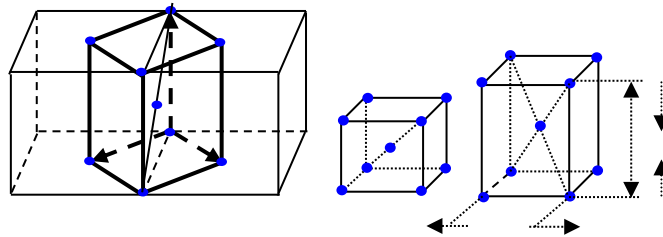
8. Сформулируйте понятие о сложных статических концентрационных волнах.

Ответ:

$$\Delta c_{uvw} = \eta \sum_s^p \gamma(s) \exp[-i\vec{k}_s \vec{r}_{u,v,w}] + (\text{компл сопр.})$$

9. Изобразить схематически Бейновскую схему для перехода $A1 \rightarrow A2$ (ГЦК $\rightarrow$ ОЦК).

Ответ:



10. Объяснить в чем сходство и различие переходов $A1 \rightarrow A3$ и механического двойникового структуры $A1$.

Ответ:

Механическое двойникование структуры $A1$ реализуется скольжением частичных дислокаций Шокли типа $a/6\langle 112 \rangle$ по каждой плоскости типа $\{111\}$, в то время как для перехода $A1 \rightarrow A3$ частичные дислокации Шокли должны скользить через одну плоскость, кроме того, для формирования ГПУ структуры может понадобиться однородная деформация типа Бейновской для формирования конкретного соотношения c_h/a_h .

Информация о разработчиках)

Литовченко Игорь Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, профессор