

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.308.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Х.М. БЕРБЕКОВА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.05.2024. № 5

О присуждении Афашагову Анзору Артуровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Термодинамические свойства плоской и искривленной границы раздела конденсированных фаз в бинарных металлических системах» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите 19.03.2024 г., протокол № 2, диссертационным советом 24.2.308.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» Министерства науки и высшего образования РФ, 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, созданного приказом №714/нк от 02.11.2012.

Соискатель Афашагов Анзор Артурович, 1996 года рождения, в 2019 г. с отличием окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», а в 2023 г. окончил аспирантуру по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», получив диплом об окончании аспирантуры с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия.

Диссертация выполнена на кафедре физики наносистем ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова».

Научный руководитель – Шебзухова Мадина Азметовна, доктор физико-математических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой физики наносистем ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова».

Официальные оппоненты:

Козаков Алексей Титович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией физики поверхности и гетероструктур НИИ физики ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону;

Кутуев Руслан Азаевич, доктор физико-математических наук, доцент, проректор по общим вопросам, профессор кафедры общей физики ФГБОУ

ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», г. Грозный, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова», г. Владикавказ, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой физики и астрономии физико-технического факультета, кандидатом технических наук, доцентом Силаевым И.В. и утвержденным ректором ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова», доктором экономических наук, доцентом Огоевым А.У., указала, что диссертационная работа Афашагова А.А. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для физики конденсированного состояния. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Афашагов Анзор Артурович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 5 из них опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 работы в МБД Scopus, WoS и RSCI.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Шебзухова, М.А. Межфазное натяжение на границе раздела двух несмешивающихся жидких растворов / М.А. Шебзухова, А.А. Афашагов, Х.Л. Хоконов, А.А. Шебзухов // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. – 2019. – Т.9. – №3. – С. 62-65.
2. Афашагов, А.А. Термодинамические характеристики границы раздела конденсированных фаз в бинарных металлических сплавах / А.А. Афашагов, М.А. Шебзухова, А.А. Шебзухов // Физика твердого тела. – 2022. – Т.64. – №10. – С. 1585-1590.
3. Калмыков, Р.М. Исследования изменения проводимости твердых растворов на основе PbTe с примесями CdSe / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков, Р.Ю. Кармокова, З.В. Шомахов, А.А. Афашагов // Прикладная физика. – 2023. – №1. – С. 57-61.
4. Афашагов, А.А. Точное и приближенное решения уравнения изотермы межфазного натяжения на плоской границе раздела конденсированных фаз / А.А. Афашагов, М.А. Шебзухова // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. – 2023. – Т.13. – №2. – С. 5-10.
5. Афашагов А.А. Наноразмерная зависимость взаимной растворимости в твердом состоянии в металлической системе Mo-Ru / А.А. Афашагов, М.А. Шебзухова, К.Ч. Бжихатлов, А.Х. Ципинова // Физика металлов и

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Положительный отзыв от официального оппонента Козакова Алексея Титовича**, где имеются следующие замечания:

- в обзоре недостаточно освещены результаты современных экспериментальных исследований по выделению фаз нанометрового размера с использованием атомарного пространственного разрешения, в том числе атомно-зондовые исследования, хотя диссертант получает формулы для размерного состава таких выделений в 3 и 4 главе диссертации;
- в обзоре желательно было рассмотреть работы, посвященные подходу Кана-Хилларда, который широко используется при рассмотрении кинетики релаксации гетерогенных систем при фазовых переходах;
- при выводе уравнения межфазного натяжения дисперсной частицы с матрицей, а также значений для составов объемных фаз в бинарных системах с искривленными границами раздела соискатель опирается на соотношения, полученные ранее в работах Гиббса, Толмена, Русанова и др. При этом не обсуждается вопрос предела применимости используемого подхода. Основные соотношения данного подхода относятся к зародышам жидкой фазы, находящейся в насыщенном паре и поэтому необходимо было бы оценить возможность применения указанного подхода для кристаллических систем;
- в своей работе соискатель применяет модель «жесткой системы», что означает пренебрежение сжимаемостью. Необходимо было бы провести анализ следствий, к которым может привести использование этого приближения при учете размерных эффектов;
- ошибки, связанные с оформлением и стилем текста. На стр.48 приведен рис. 1.7, в котором нет разницы между штриховыми и сплошными линиями; на стр.52 разница температур выражается по шкале Кельвина (20-35 К); на рис. 52 при обсуждении рис.1.9 указывается, что некий процесс усиливается при уменьшении размеров частиц или «ширины» (может быть толщины) пленки; в подписи к рис.1.11 сообщается о сплавах с радиусом 5 нм и 10 нм; на стр. 56 сообщается о полной энергии ΔG^{total} , имеющий радиус $r = \infty$; на стр. 58 вместо уравнения (1.3.18) указывается уравнение (3.1.18); на стр. 90 вместо термина дисперсная фаза используется жаргонный термин дисперсная частица; на стр. 98 соискатель, описывая уравнения 3.21 и 3.22, использует обозначение x_B^{β} вместо x_B^{α} и т.д.

2. **Положительный отзыв от официального оппонента Кутуева Руслана Азаевича**, где имеются замечания и ставятся следующие вопросы:

- При получении уравнения для размерной зависимости межфазного натяжения наночастицы в матрице в бинарной системе автор применяет к наночастице понятие термодинамической фазы и фазового перехода. Насколько это правомерно при рассмотрении таких малых объектов и где границы применимости?
- При расчетах размерной зависимости межфазного натяжения наночастицы

в матрице, выполненные по уравнению (3.1.20) в диссертации, проводилось ли сравнение с существующими экспериментальными данными? Если нет, то насколько корректны ваши расчеты?

- При рассмотрении искривленной поверхности раздела конденсированных фаз нет ясности по размерной зависимости скачков энтропии и объема при фазовых переходах, которые влияют на изменения температуры фазового перехода в зависимости от степени диспергирования фазы в матрице. Необходимо прокомментировать этот момент.

- В работе принимаются некоторые сокращения, которые расшифровываются в начале диссертации. Однако в дальнейшем, не все они используются по ходу текста. Так, сокращение для коэффициента активности (КА) и для термодинамического метода (ТМ) в работе не используются, хотя и были приняты автором.

3. Положительный отзыв ведущей организации с замечаниями:

- В работе получены соотношения для нахождения термодинамических свойств плоских и искривленных границ раздела фаз, среди которых уравнения для поверхностного и межфазного натяжения, выражения для составов фаз и термодинамических активностей компонентов. Однако при их получении автор не учитывает ориентационной зависимости поверхностных характеристик на плоской и искривленной границах раздела конденсированных фаз. С чем это связано?

- При получении уравнения для межфазного натяжения наночастицы в матрице в бинарной системе с учетом размерного фактора используется модель регулярных растворов. Почему отдается предпочтение этой модели? Есть ли какие-либо принципиальные трудности для использования других моделей?

- В работе рассчитаны кривые растворимости молибдена и рутения в твердом состоянии с учетом наноразмерных эффектов в бинарной системе Mo-Ru. При построении этих кривых в работе используются случаи диспергирования одной твердой фазы внутри другой фазы макроскопического размера и наоборот. Почему возникает такая необходимость?

- Замечания редакционного характера, среди которых отмечаются повторы расшифровок некоторых величин, например на стр. 24 поясняется, что g – молярный термодинамический потенциал Гиббса, а затем снова на стр. 91. Это же относится к концентрациям и активностям i -го компонента в соответствующих фазах. Также ряд сокращений, которые поясняются вначале диссертации, например, МН – межфазное натяжение, не желательно использовать в названиях подразделов параграфов диссертационной работы.

4. Положительный отзыв от Страмала Бориса Борисовича, доктора физико-математических наук, заведующего Лабораторией поверхностей раздела в металлах Федерального государственного бюджетного учреждения Института физики твердого тела им. Ю.А. Осипяна Российской академии наук (г. Черноголовка). Имеется пожелание к соискателю продолжить расчеты фазовых диаграмм состояния с учетом размерных эффектов, так как

данные по аналогичным экспериментальным диаграммам на сегодняшний день весьма малочисленны.

5. Положительный отзыв от Саввина Владимира Соломоновича, доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой общей и специальной физики Обнинского института атомной энергетики – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Обнинск). Отмечаются следующие вопросы и пожелания:

- почему для расчетов поверхностных свойств выбраны бинарные системы Fe-Cr, Cr-Ti, Zr-Nb?
- было бы полезно обсудить в работе вопросы стабильности наноструктур, имеющих большое прикладное значение;
- в дальнейшем желательно было бы провести расчеты с использованием новых соотношений, полученных в работе, для наноксидов и наностекол.

6. Положительный отзыв от Палчаева Даира Каировича, доктора физико-математических наук, профессора, и. о. заведующего кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный университет» (г. Махачкала). В качестве замечания отмечается, что нет ясности в вопросе возможности использования метода слоя конечной толщины, оправданного для плоских границ, в случае границ между металлическими частицами с явно высокой кривизной, образующих высокодисперсную систему.

7. Положительный отзыв от Сдобнякова Николая Юрьевича, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры общей физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет» (г. Тверь). Имеются следующие замечания:

- в автореферате используется термин «наноразмерные эффекты», корректнее говорить о «размерных эффектах»;
- стр. 23, вывод 1, автор говорит о том, что найдены решения в приближенном виде, но при этом уравнения решены математически точно. Для чего было искать их приближенное решение;
- в автореферате следовало бы больше уделять внимания обоснованию результатов при сравнении количественных оценок с экспериментальными данными. Так, на с. 17 таблица 4 значения, полученные при $r = 2$ нм, уже превышают макроскопическое значение. Таким образом, применяемая методика изначально предсказывает несколько завышенные значения.

8. Положительный отзыв от Попеля Петра Станиславовича, доктора физико-математических наук, профессора Уральского государственного университета (г. Екатеринбург). Имеются следующие замечания:

- в начале главы 4 приводятся полученные диссертантом «новые соотношения для составов сосуществующих в равновесии фаз и т.д.», но из

текста автореферата не понятно, исходя из каких допущений они получены и чем отличаются от «старых» соотношений, имеющих в литературе;

- неудачно сформулированы основные положения, выносимые на защиту;

- в таблицах 4-6, содержащихся в автореферате, диссертант не приводит сравнения полученных им результатов с экспериментальными данными, ограничиваясь общим замечанием о том, что они согласуются с точностью до 2%.

9. Положительный отзыв от Алероева Муслима Ахметхановича, кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой общей физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова» (г. Грозный). Замечаний нет.

Во всех поступивших отзывах отмечается актуальность и новизна проведенного исследования, ее практическая и теоретическая значимость.

Во всех отзывах делается вывод, что диссертационная работа «Термодинамические свойства плоской и искривленной границы раздела конденсированных фаз в бинарных металлических системах» соответствует необходимым критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, №842 (в актуальной редакции), предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Афашагов Анзор Артурович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что

- официальные оппоненты являются авторитетными специалистами в исследуемой области. У них имеются публикации в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, индексируемых в МБД Web of Science, Scopus и RSCI.

- научные исследования сотрудников ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова», (г. Владикавказ), а также их публикации полностью соответствуют тематике диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **получено** новое уравнение межфазного натяжения на плоской границе двух бинарных конденсированных фаз с учетом основных параметров состояния системы и найдены его решения в точном и приближенном виде;

- **разработан** способ расчета термодинамических свойств плоской границы раздела конденсированных фаз (межфазного натяжения, состава и термодинамических активностей компонентов в объемных фазах и межфазном слое) в бинарных системах;

- **предложено** новое уравнение для размерной зависимости межфазного натяжения на границе дисперсной фазы и дисперсионной среды в бинарной системе;
- **предложен** термодинамический способ построения макроскопических диаграмм состояния и с учетом наноразмерных факторов на основе полученных соотношений;
- **проведены** численные расчеты значений основных термодинамических характеристик плоской и искривленной поверхности (поверхностное и межфазное натяжение, составы и термодинамические активности) для 11 бинарных металлических систем с использованием полученных в работе соотношений.

Теоретическая значимость обусловлена тем, что:

- **изложен** метод нахождения термодинамических свойств плоской и искривленной границы раздела конденсированных фаз в бинарных системах;
- **установлены** новые зависимости между термодинамическими характеристиками бинарных систем от основных параметров состояния системы и размерного фактора;
- **выявлено**, что межфазное натяжение бинарных расплавов увеличивается при выходе из предположения жесткости за счет учета межчастичных взаимодействий;
- **установлено**, что во всех рассчитанных бинарных системах с уменьшением размера сферических частиц в матрице, наблюдается уменьшение межфазного натяжения на искривленной границе наночастица-матрица.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- полученные соотношения для нахождения основных термодинамических характеристик для плоской и искривленной границ раздела конденсированных фаз, могут быть **использованы** для описания фазового равновесия в двухкомпонентных системах и нахождения характеристик границ раздела разнородных контактов;
- результаты выполненных расчетов поверхностного натяжения с учетом составов контактирующих фаз и размерного фактора, проведенные для плоской и искривленной границы раздела бинарных металлических систем, могут быть **полезны** при рассмотрении задач в области материаловедения и при создании новых материалов с заранее заданными эксплуатационными свойствами;
- рассчитанные составы контактирующих фаз и межфазного слоя, а также термодинамические активности компонентов могут быть **приняты** в качестве входных данных при построении макроскопических диаграмм состояния и нанодиаграмм для бинарных металлических систем.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- **теория построена** с использованием термодинамического метода слоя конечной толщины Ван-дер-Ваальса-Гуггенгейма-Русанова, который является классическим методом термодинамики поверхностных и

межфазных явлений в гетерогенных системах;

- **идея базируется** на концепции разделяющей поверхности и поверхностном натяжении;

- проведенный анализ полученных соотношений на предельные случаи **согласуется** в частных случаях с известными формулами и уравнениями классической термодинамики поверхности;

- **использовано** сравнение построенных по результатам выполненных расчетов диаграмм состояния в макроскопическом случае и с учетом размерных эффектов с экспериментальными и теоретическими данными, полученными ранее.

Личный вклад соискателя состоит в том, что:

- основные результаты диссертационной работы получены **непосредственно при участии** диссертанта под руководством своего научного руководителя;

- все численные расчеты проведены и подготовлены к печати соискателем **самостоятельно**;

- соискатель принимал **личное участие** в обсуждении и интерпретации научных результатов с своими соавторами.

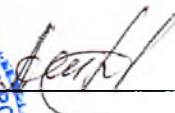
На заседании 24.05.2024 (протокол № 5) диссертационный совет принял решение присудить Афашагову Анзору Артуровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния за решение научной задачи по нахождению термодинамических свойств границ раздела конденсированных фаз, имеющей значение для развития физики конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **14** человек, из них **6** докторов наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из **19** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **14**, против **0**, недействительных бюллетеней - **нет**.

Председатель

диссертационного совета 24.2.308.01

д. ф.-м. наук, профессор



О.Г. Ашхотов

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.308.01

д. ф.-м. наук, профессор



А.А. Дышеков

24 мая 2024 г.