

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Михеевой Галины Вениаминовны «Моделирование локально – неравновесных процессов теплопереноса и механических колебаний в кристаллических телах», представленную на соискание учёной степени кандидата физико – математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационной работы

Современный уровень развития науки и технологий позволяют исследовать и создавать объекты из компонентов с линейными размерами микро- и нанометрового диапазона, а устоявшиеся модели теплопереноса в сплошных средах, не могут быть использованы для точного описания процессов переноса при малых и сверхмалых значениях начального времени, для быстропротекающих процессов, а также для нанообъектов (наноплёнок). То есть они не могут быть использованы для значений временной и пространственной переменных, сопоставимых с длиной и временем свободного пробега микрочастиц. Поэтому необходимо разрабатывать модели учитывающим пространственно – временную нелокальность реальных физических процессов. Диссертация, посвящена разработке таких моделей, и ее следует признать актуальной.

Степень обоснованности научных положений и выводов диссертации

Научные положения, используемые при выводе дифференциальных уравнений теплопроводности, динамической термоупругости и колебаний упругих тел, обоснованы теоретическими положениями расширенной необратимой термодинамики и представляют обобщение известных классических уравнений переноса тепла, массы, импульса. Выводы и теоретические положения подтверждены результатами экспериментальных исследований, выполненных в АО «Ракетно – космический центр «Прогресс».

Новые научные результаты диссертации

1. Разработаны линейная и нелинейная локально – неравновесные двухтемпературные модели теплообмена между электронным газом и кристаллической решёткой в металлах, облучаемых сверхкороткими импульсами лазерного излучения.

2. Определены пределы применения двухтемпературной модели теплообмена в металлах, основанной на определении внутреннего (объёмного) коэффициента теплоотдачи, характеризующего интенсивность теплообмена между электронами и решёткой.

3. Определено понятие температуры как квадрата амплитуды волновой функции при волновом переносе теплоты, описываемом классическим гиперболическим уравнением теплопроводности.

4. На основе исследования локально – неравновесной модели несвязанной динамической термоупругости обнаружено возникновение скачков напряжений, обусловленных движением двух волн – тепловой и звуковой.

5. На основе разработанной в диссертации локально – неравновесной модели продольных колебаний упругого стержня получены волновые пакеты с амплитудно – частотной модуляцией, позволяющие организовать передачу информации по металлическому стержню.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Важным теоретическим и практическим результатом является детальное исследование зависимости распределения температуры от величины объёмного коэффициента теплоотдачи, а также определение того факта, что при определенных значениях этого коэффициента температура кристаллической решётки может превышать температуру электронов. Этот факт объясняется тем, что ввиду большой теплопроводности электронов, выравнивание их температуры по толщине пластины происходит быстрее, чем в решётке, обладающей большей тепловой инерционностью.

Большое теоретическое и практическое значение имеет обнаружение двух волн – тепловой и звуковой при исследовании локально – неравновесной динамической термоупругости. Ввиду того, что движение волн происходит с различными скоростями, то возникает скачок напряжений с изменяющейся во времени шириной (по координате) и высотой (определяющий величину напряжения). В диссертации предложены формулы, по которым можно найти ширину и высоту скачка на основании лишь исходных данных задачи, то есть до момента получения аналитического решения краевой задачи динамической термоупругости.

Достоверность результатов диссертации связана с тем, что при выводе дифференциальных уравнений и построении математических моделей использованы классические законы сохранения и модифицированные уравнения феноменологических законов Фурье и Гука. Достоверность также связана с адекватностью разработанных в диссертации математических моделей реальным физическим процессам, протекающим в конкретных технических устройствах, что подтверждается сравнением результатов с апробированными точными аналитическими решениями и решениями других авторов, а также с результатами натурных экспериментов.

Автореферат соответствует тексту диссертации и представляет краткое её содержание.

Публикация результатов диссертации и их апробация

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах. Из них 11 статей являются публикациями в рецензируемых научных изданиях. Зарегистрированы 3 программы для ЭВМ. Наиболее важные положения диссертации обсуждены на 2 всероссийских и 7 международных конференциях.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, списка литературы, приложений; содержит 136 страниц основного текста, 89 рисунка, 2 таблицы. Список литературы включает 203 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы её цель, задачи исследований, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, их достоверность. Отмечены положения, выносимые на защиту и личный вклад автора диссертации.

В первой главе диссертации дан обзор исследований по теме диссертации. Показано, что в настоящее время имеется много различных моделей локально – неравновесных процессов, однако известные теории противоречивы или содержат спорные допущения. Показана необходимость разработки новых теорий локально – неравновесных процессов.

Во второй главе диссертации приводятся результаты исследований двухтемпературных моделей в металлах при облучении их сверхкороткими лазерными импульсами. И, в частности, проведено исследование влияния объёмного коэффициента теплоотдачи на температурное состояние системы, включающей электронный газ и кристаллическую решётку. В результате исследований был обнаружен интересный факт превышения температурой решётки над температурой электронного газа, несмотря на то, что энергия лазерного излучения сначала передаётся электронам, а затем уже от электронов к решётке. Объяснение этого факта состоит в том, что теплопроводность электронов, ввиду их подвижности, значительно превышает теплопроводность неподвижной решётки. В итоге после быстрого прогрева электронов вблизи облучаемой поверхности происходит столь же быстрое выравнивание их температуры по толщине пластины, тогда как выравнивание температуры решётки, ввиду её большей тепловой инерционности, происходит медленнее. Для лучшего понимания проблемы необходимо отметить, что система изолирована от окружающей среды и её прогрев происходит только за счёт внутреннего источника теплоты, инициируемого лазерным излучением вблизи облучаемой поверхности.

В третьей главе диссертации приведены результаты исследований аналитических решений уравнений теплопроводности для бесконечной пластины, полученных путём однофазной и двухфазной релаксации в эмпирической формуле закона Фурье. Показано, что решение уравнения с однофазной релаксацией (классическое гиперболическое уравнение теплопроводности) для пластин, толщина которых сопоставима с длиной свободного пробега микрочастиц, описывает волновой перенос теплоты. В диссертации предложено определять действительное изменение температуры путём нахождения квадрата амплитуды волновой функции. Получаемые

таким путём температуры совпадают с их значениями, определяемыми другими методами и, в частности, из решения уравнения с двухфазной релаксацией.

В третьей главе диссертации представлены также результаты исследований модели локально – неравновесной динамической термоупругости. Выполненные исследования позволили заключить, что при тепловом ударе на поверхности внутри среды происходит движение двух волн напряжений, вызванных тепловой и звуковой волнами. Ввиду различных скоростей, возникает скачок напряжений с изменяющейся во времени шириной (по координате) и высотой (определяющей величину напряжения).

В четвёртой главе диссертации приведены результаты разработки математической модели колебаний стержня, закреплённого на одном из его торцов и при воздействии гармонической внешней нагрузки на свободном торце. Уравнение модели получено путём трёхфазной релаксации напряжения и градиента перемещения в формуле закона Гука. Исследования его точного аналитического решения показали, что колебания различных точек стержня происходят в противофазе. Было показано, что изменяя амплитуду и частоту колебаний внешней нагрузки, можно изменять амплитуду и частоту колебаний стержня. Следовательно, таким путём можно находить волновые пакеты с амплитудно – частотной модуляцией, что например позволяет организовать передачу информации вдоль стержня.

В заключении представлены основные научные результаты и выводы, полученные в диссертации.

Вопросы и замечания по работе

Замечания:

1. В качестве замечания и недостатка в данной работе можно выделить слабое экспериментальное подтверждение полученных результатов. Защищаемые модели теплопереноса могут быть верифицированы реальным физическим экспериментом, в области действия современных аналитических приборов. Однако автор ограничился корректностью применения фундаментальных законов и формулировок при постановке задачи и оценкой сходимости полученных результатов с моделями других авторов.

2. Разработанные математические модели оперируют безразмерными параметрами коэффициента объёмной теплопередачи, пространства, времени, температуры, и могут быть реализованы для любого численного значения параметра. А удобство программной реализации математических моделей позволяет создавать бесчисленное множество выходных характеристик модели при произвольных входных параметрах. При создании математических моделей физических явлений принято оговаривать область действия в диапазонах характеристик или параметров и не всегда это может быть заданно численно. Например в данной работе при уменьшении

толщины пластины менее длинны волны источника тепла произойдёт изменения условий поглощения энергии кристаллической решёткой и электронным газом, что в модели может быть учтено изменением параметра $Bi(\delta)$, таким же не явным образом будет учтена кристаллографическая анизотропия теплопередачи. Такое поведение модели с одной стороны делает ее условно универсальной и адаптивной к физической модели, с другой стороны усложняет ее применение из-за увеличения числа эмпирических параметров связанных с меняющимися свойствами объекта или характера взаимодействия объекта и источника тепла, такое поведение модели создает сложности верификации её свойств в том числе в области безразмерных параметров.

3. При исследовании продольных колебаний стержня (глава 4) приведены результаты физического эксперимента в виде диаграммы перемещения свободного конца стержня, однако описание эксперимента и применяемых средств регистрации параметров физического эксперимента не приведено.

4. В выводах к разделам главы 2 встречаются очевидные формулировки, прямо следующие из постановки задачи, и не являются результатом соответствующего раздела.

5. В заключении глав 3 и 4 формулировка промежуточных выводов отсутствует, однако они изложены в тексте разделов глав 3 и 4.

Вопросы:

1. Каковы физические или фазовые пределы состояния среды для применения двухтемпературной модели переноса тепла?

2. От чего зависит величина коэффициента объёмный теплоотдачи Bi в двухтемпературной модели теплообмена?

3. Какими физическими экспериментам можно подобрать эмпирические параметры моделей приведённых в главах 2 и 3?

4. В главе 4. Исследовались продольные колебания стержня, каким образом были инициированы и выделены колебания стержня определённой моды?

5. Почему при исследовании свойств колебательной системы не были использованы методы анализа амплитудного и спектрального распределений?

Эти замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Диссертация является законченным научным трудом, соответствующим специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Она соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации (№ 842 от 24.09.2013 г. в ред. от 11.09.2021). Автор диссертации, Михеева Галина Вениаминовна,

заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико – математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

кандидат физико – математических наук,
старший научный сотрудник научно -
исследовательского института
прогрессивных технологий ФГБОУ ВО
«Тольяттинский государственный
университет»

Данюк
Алексей
Валериевич

14 09 2022 г.

Специальность, по которой защищена кандидатская: 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»

Почтовый адрес: 445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

Телефон: (8482) 54-64-24

E-mail: alvdan@mail.ru

Подпись Данюка Алексея Валериевича заверяю:

