

К 75-летию открытия теплового сопротивления Капицы

В 1941 году П.Л. Капицей было обнаружено необычное проявление механизма теплообмена при контакте жидкого гелия и твердого тела, заключающееся в том, что при наличии потока тепла через границу гелия с твердым телом равенство температур не устанавливается, а возникает конечная разность (скачок) температур. Одним из первых качественных объяснений скачка Капицы была теория, построенная И.М. Халатниковым, которая позволила описать обнаруженный скачок температур на границе твердое тело–жидкость. Согласно этой теории, при низких температурах теплообмен между жидкостью и твердым телом осуществляется тепловыми фононами. Наличие температурного теплового сопротивления Капицы обусловлено существенным рассогласованием акустических импедансов твердого тела и жидкого гелия и малым коэффициентом прохождения фононов через такую границу. В дальнейшем было установлено, что температурный скачок Капицы — общее физическое явление при низких температурах. Он может возникать на границе раздела двух различных сред при наличии теплового потока через границу раздела. В связи с развитием микро- и нанoeлектроники все более значительную роль при исследовании особенностей теплопереноса в таких структурах начинают играть границы раздела слоев, в том числе при комнатных температурах.

В настоящем Спецвыпуске представлены статьи, посвященные новым аспектам проблемы прохождения квазичастиц через границу раздела двух различных сред, в том числе через границу раздела твердое тело–жидкость.

В обзорных статьях Jay Amrit «A review of surface effects in Kapitza's experiments on heat transfer between solids and helium II» и Ю.А. Косевича, Е.С. Сыркина, Е.Ю. Ткаченко «Прохождение квазичастичных возбуждений через границу раздела двух сред» анализируются некоторые из механизмов, обеспечивающих существенное увеличение теплопереноса через границу раздела по сравнению с механизмом И.М. Халатникова. В обзоре Amrit этот механизм связан с учетом шероховатости поверхности. Автор проанализировал классическую модель Адаменко и Фукса и привел новые исследования, связанные с этой проблемой. В работе Ю.А. Косевича, Е.С. Сыркина, Е.Ю. Ткаченко анализируется другой механизм — наличие между твердым телом и сверхтекучим гелием «согласующей прослойки». В качестве такой прослойки рассматриваются адсорбированные на поверхности твердого тела слабосвязанные с подложкой примесные атомы. Наличие резонансных колебаний в такой системе способно значительно увеличить (по сравнению с механизмом Халатникова) теплопередачу. В обзоре приведены новые результаты по макроскопической динамике границы раздела двух сред, в том числе с учетом ангармонизма решетки (нелинейных эффектов).

Обзор Edward Bormashenko «Physics of solid–liquid interfaces: from the Young equation to the superhydrophobicity»

посвящен исследованию новых явлений смачивания, происходящих на границе твердое тело–жидкость.

Представлено современное состояние в области физики явлений, происходящих на границе раздела твердое тело–жидкость. На современном уровне обсуждаются явления смачивания с учетом контактного угла и давления. Предложен общий вариационный подход к граничным проблемам, основанным на использовании условий transversality к вариационным проблемам со свободными конечными точками. Обсуждается недавно обнаруженный эффект типа супергидрофобности.

В теоретическом обзоре А.М. Габовича, А.И. Войтенко «Electrostatic charge-charge and dipole-dipole interactions near the surface of a medium with screening nonlocality» использовали метод функции Грина. Этим методом для слоистых систем была вычислена энергия взаимодействия между двумя точечными зарядами или двумя диполями, находящимися в среде вблизи плоской поверхности металлического или полупроводникового вещества. Учтено влияние нелокального характера экранирования. На основании проведенных вычислений сделан вывод, что то, как обычно учитывается электростатическое взаимодействие между адсорбированными атомами или молекулами, должно быть пересмотрено.

В обзоре А.И. Безуглого, В.А. Шкловского «Роль электронов проводимости в формировании теплового сопротивления границы металл–диэлектрик и электросопротивления металлических пленок при низких температурах» в рамках теории акустического рассогласования между твердыми телами обсуждается роль электронов проводимости в формировании эффективной акустической прозрачности интерфейса между узкими металлическими пленками и диэлектрическими подложками с высокой теплопроводностью. Рассмотрены как стационарные, так и различные нестационарные режимы излучения фононов из нагреваемых током или короткими лазерными импульсами металлических пленок при низких температурах. Теоретическое рассмотрение этих задач проводится с использованием кинетических уравнений для фононной и электронной функций распределения. Проводится сравнение теоретических результатов, полученных авторами, с имеющимися экспериментальными данными.

В работе Naohue Han, Lei Feng, Shiyun Xiong, Takuma Shiga, Junichiro Shiomi, Sebastian Volz, and Yuriy A. Kosevich «Effects of phonon interference through long-range interatomic bonds on thermal interface conductance» исследована роль двухпутевой деструктивной фононной интерференции. Сделанные в работе выводы подтверждаются вычислениями функции Грина для эквивалентных квазиодномерных решеточных моделей и моделированием в молекулярной динамике.

В работе Т.Г. Вихтинской, К.Э. Немченко, С.Ю. Роговой «Влияние сопротивления Капицы на установление стационарных неравновесных состояний в сверхтекучих рас-

творях ^3He – ^4He рассматривается установление стационарных неравновесных состояний при включении потока тепла в сверхтекучих растворах с достаточно большой концентрацией (9,8 %) ^3He . Исследуется влияние возможных механизмов релаксации, в частности скачка Капицы, на процесс установления постоянного градиента температуры. Из сравнения теоретических вычислений и экспериментальных данных находятся коэффициенты теплопроводности, теплопроводности и коэффициент Капицы. Показано, что учет скачка Капицы необходим для количественного описания экспериментальных данных.

В работе В.М. Конторовича «Нелинейное отражение от поверхности нейтронной звезды и особенности радиоизлучения пульсара в Крабовидной туманности» показано, что не имеющие объяснения высокочастотные компоненты излучения пульсара в Крабовидной туманности могут быть проявлением неустойчивости при нелинейном отражении от поверхности звезды. Отражается излучение релятивистских позитронов, летящих из магнитосферы к звезде и ускоряемых электрическим полем полярного зазора. Обсуждаемая неустойчивость представляет собой вынужденное рассеяние на поверхностных волнах.

В работе I.S. Spevak, A.A. Kuzmenko, M. Tymchenko, V.K. Gavrikov, V.M. Shulga, J. Feng, H.B. Sun, Yu.E. Kamenov, and A.V. Kats «Surface Plasmon-polariton resonance at diffraction of THz radiation on semiconductor gratings» теоретически и экспериментально изучена резонансная дифракция тетрагерцового лазерного излучения полупроводника на примере InSb. Проведено сравнение резонансного возбуждения на чистой полупроводниковой решетке и на полупроводниковой решетке, покрытой тонким диэлектрическим слоем. При наличии диэлектрического покрытия резонанс смещается в зависимости от толщины слоя и его диэлектрических свойств. Получены аналитические выражения для смещения резонанса, которые имеют важное значение для понимания резонансных свойств и анализа явлений, происходящих на поверхности решетки.

В работе Ю.В. Тарасова, О.В. Усатенко, Д.А. Якушева «Плазмон-поляритоны на границе с флуктуирующим импедансом: рассеяние, локализация, устойчивость» изучается рассеяние поверхностных ТМ поляризованных плазмон-поляритонных волн (ППВ) конечным участком плоской границы металл–вакуум со случайно флуктуирующим импедансом. Анализируется решение интегрального уравнения, связывающего рассеянное поле с полем падающей ППВ, справедливое для произвольной интенсивности рассеяния и произвольных диссипативных свойств проводящей среды. В качестве меры рассеяния ППВ используется гильбертова норма рассеивающего интегрального оператора. Показано, что интенсивность рассеяния определяется не только параметрами флуктуирующего импеданса (дисперсия, корреляционный радиус и длина участка неоднородности), но и критически зависит от величины проводимости металла. При малой норме интегрального оператора ППВ рассеивается в основном в вакуум, теряя энергию на возбуждение над проводящей поверхностью

квазиизотропных волн нортоновского типа. Интенсивность рассеянного поля выражается в терминах парной корреляционной функции импеданса, зависимость которой от волновых чисел налетающей и рассеянных волн демонстрирует возможность при рассеянии ППВ на случайных флуктуациях импеданса наблюдать явление, аналогичное вудовским аномалиям рассеяния волн на периодических решетках. При сильном рассеянии, когда норма рассеивающего оператора становится большой по сравнению с единицей, излучение в объеме подавляется, и в пределе ППВ зеркально отражается от неоднородного участка поверхности. Поэтому в модели бездиссипативной проводящей среды поверхностный поляритон неустойчив по отношению к сколь угодно малым флуктуациям поляризуемости проводника. Зеркализация рассеяния при сильных флуктуациях импеданса интерпретируется в терминах локализации Андерсона.

В работе Ю.В. Скрипника, В.М. Локтева «Об эквивалентности двух моделей вакансии в применении к электронному спектру материалов с сотовой решеткой» на основе метода сильной связи рассмотрена задача о плотности электронных состояний в содержащем вакансию материале с сотовой структурой кристаллической решетки. Проанализированы известные и сравнительно часто используемые модели для описания единичной вакансии и аналитически продемонстрирована их эквивалентность. Показано также, что вклады в плотность квазичастичных состояний от обеих подрешеток сотовой решетки совершенно одинаковы, за исключением нулевой энергии, независимо от того, в какой из подрешеток находится вакансия.

В работе А.В. Савина, Ю.С. Кившаря «Локализованные колебания углеродных нанолент» рассмотрены колебания углеродных нанолент. Показано, что в нерастянутой углеродной наноленте локализация колебаний (образование бризеров) может происходить только на ее краях. Наибольшее число локализованных краевых колебаний следует ожидать у наноленты со структурой «кресло». Растяжение наноленты может приводить к появлению новых типов сильно локализованных колебаний. При растяжении в частотном спектре наноленты образуется щель, в которой лежат частоты этих колебаний. У наноленты со структурой «кресло» колебания могут локализоваться только на ее краях, а у наноленты со структурой «зигзаг» при ее сильном растяжении локализация колебаний может происходить не только у края, но и внутри ленты.

В данный Спецвыпуск вошли работы ведущих ученых мира, занимающихся проблемой скачка Капицы и исследованиями различных динамических, как линейных, так и нелинейных, колебательных явлений, происходящих на границе раздела двух сред. Нам представляется, что этот номер будет полезен и вызовет интерес у научной общности.

*Ответственные за выпуск
Ю.А. Косевич, Е.С. Сыркин*