

А. Н. Вислович, доцент;  
 И. И. Наркевич, профессор;  
 В. В. Поплавский, доцент;  
 А. Е. Поченный, вед научн.сотр.;  
 К. И. Рудик, доцент;  
 И. С. Ташлыков, профессор

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД НА КАФЕДРЕ ФИЗИКИ

This article is devoted a history of scientific investigation of the physics chair.

Коллектив кафедры физики ведет активные исследования равновесных и неравновесных свойств различных материалов, используя для этих целей новейшие экспериментальные и теоретические методы изучения конденсированных систем, подверженных воздействию внешних силовых полей и корпускулярных излучений, в частности пучков ускоренных ионов металлов.

Наиболее давние традиции имеет направление, связанное с исследованием *электрической и магнитной поляризации вещества*. Первые публикации относятся к началу 70-х годов [1], когда благодаря усилиям доц. Олехновича А.М. и руководимой им группы исследователей были проведены измерения электрических характеристик ряда технологических материалов [2,3], которые имеют важное значение для разработки композиционных материалов.

Исследования *магнитной поляризации* на кафедре начали проводиться с начала 80-х годов по инициативе доц. Висловича А.Н. Он является соавтором [4] одной из первых монографий, посвященных *термомеханике магнитных жидкостей*. Магнитными жидкостями называют коллоидные растворы мелкодисперсных ферромагнетиков в немагнитных жидкостях-носителях. На частицы ферромагнетика, взвешенные в жидкости, в магнитном поле действуют силы и пары сил, вовлекая их в поступательное и вращательное движение. Посредством вязкого трения дисперсная феррофаза взаимодействует с жидкостью-носителем. Таким образом, магнитная поляризация видоизменяет законы равновесия, движения и теплообмена, наделяя этот материал уникальными механическими и теплофизическими свойствами. Экспериментальное исследование этих законов и их теоретическое описа-

ние составили предмет исследований, результаты которых представлены в обзорной статье А.Н. Висловича в настоящем сборнике.

Опыт, полученный при исследовании электрической поляризации широкого спектра технологических материалов и магнитной поляризации такого уникального материала, каким являются ферроколлоиды, позволяет кафедре физики осуществлять экспертизу и исследования в области физики диэлектриков и магнетиков, а также электродинамики и термомеханики поляризованных сред.

Это научное направление имеет большое значение для обеспечения и повышения эффективности учебного процесса. Оно способствовало: постановке оригинальных лабораторных работ по изучению диэлектрических, магнитных, теплофизических характеристик вещества для курса "Физика"; разработке спецкурса "Физические основы измерений" для студентов специальности ФХМиП.

Развитие оптического направления (исследование конденсированного состояния *методами инфракрасной люминесцентной и лазерной спектроскопии*) связано с работами доц. Гольмана Л. П. и доц. Рудика К. И.

Доц. Гольманом проведено методами ИК-спектроскопии исследование спектров различных препаратов лигнина и его модельных соединений с целью изучения влияния структуры и физических факторов на спектры лигнина, разработки методики интерпретации спектров лигнина, а также изучения строения и реакционной способности некоторых препаратов лигнина. На основании полученных данных построена корреляционная диаграмма для интерпретации спектров лигнина [5]. Показана принципиальная возможность спектрального анализа определения количественного содержания кетонных и альдегидных групп в препаратах лигнина [6]. Впервые исследованы ИК-спектры ряда лигнинных препаратов низкоорганизованных растений и выяснены особенности их строения [7]. Изучено влияние  $\gamma$ -излучения, а также температуры на ИК-спектре лигнина.

Доц. Рудиком К.И. при использовании спектрально-люминесцентных методов для исследования межмолекулярных взаимодействий в исследуемую систему вводились люминесцирующие молекулы, дипольные моменты которых изменяются по величине и направлению при поглощении кванта света. Характеристики излучения таких систем определяются свойствами молекул люминофора и окружающих молекул растворителя в сольватном слое. Поскольку изменение дипольного момента молекулы люминофора при оптическом возбуждении происходит практически мгновенно, то флуоресцирующий центр при этом оказывается в неравновесном состоянии. Поэтому в даль-

нейшем, за время возбужденного состояния, происходит релаксация сольватного слоя, в результате которой энергия системы непрерывно меняется и стремится к минимуму. В зависимости от соотношения между длительностью возбужденного состояния и временем ориентационной релаксации излучение происходит при различных положениях электронного уровня. Изменение соотношения названных времен в большом интервале достигается изменением температуры исследуемой системы. Количественную информацию о состоянии системы получают по измененным спектрам флуоресценции, спектральным зависимостям степени поляризации и временам возбужденного состояния. В результате проведенных исследований удалось привести в соответствие спектральные зависимости степени поляризации излучения флуоресценции и времени возбужденного состояния растворов сложных соединений и внести ясность в научную дискуссию по данному вопросу, а также предложить метод исследования сольватации и вращательной диффузии молекул в растворах [8-10].

К началу 70-х годов были созданы первые лазеры на основе растворов сложных соединений. К этому времени достаточно полно изучены спектральные и энергетические характеристики излучения этого типа оптических квантовых генераторов. Проведенные исследования показали перспективность данного типа лазеров в связи с возможностью плавного изменения длины волны излучения во всем оптическом диапазоне. Однако такая важная характеристика, как *поляризация излучения*, практически не была изучена.

На первом этапе работы проведены теоретическое и экспериментальное исследования проявления анизотропных свойств оптических усилителей и лазеров на растворах сложных молекул при *поперечном варианте* накачки поляризованным излучением [11, 12]. Показано, что наведенная оптическая анизотропия обусловлена ориентационной упорядоченностью молекул, характеризующейся анизотропией поляризуемости. По известному ориентационному распределению молекул красителя и известному тензору поляризуемости молекулы получено выражение для тензора восприимчивости раствора. Решение задачи показало, что возбужденная активная среда жидкостного лазера в оптическом отношении представляет собой кристалл, обладающий двулучепреломлением и дихроизмом усиления. На основании предложенного подхода рассчитаны коэффициенты усиления поляризационных мод, что, в свою очередь, позволило рассчитать целый ряд поляризационных характеристик излучения.

Выполнен цикл экспериментальных работ по изучению влияния основных характеристик активной среды (температура и вязкость), условий возбуждения (интенсивность и состояние поляризации), а также параметров резонатора (база и добротность, длина активной среды) на поляризацию излучения жидкостных лазеров. Полученные при этом результаты дали возможность целенаправленно управлять величиной степени поляризации излучения.

Впервые были получены поляризационные спектры вынужденного излучения и дана их интерпретация на основании предложенной *осцилляторной модели* сложных молекул. Исследована также степень поляризации лазерного излучения по спектру генерации для ряда активных сред. Наблюдаемая зависимость объяснена на основании проявления межмолекулярных ориентационных взаимодействий. Исследования также показали, что при наличии вынужденных переходов среднее время возбужденного состояния молекул значительно уменьшается [13, 14].

Исследование кинетики поляризации вынужденного излучения растворов сложных соединений позволило установить условия и особенности стационарного режима генерации излучения, механизм возникновения и развития поляризации излучения, а также изучить наведенное светом возбуждение в активных системах [15].

Легирование поверхности твердых тел ускоренными ионами металлов (*ионная имплантация, ионное перемешивание и ионно-ассистированное осаждение покрытий*) является мощным методом исследования и целенаправленного модифицирования материалов и изделий для разнообразных технологических процессов. Это научное направление экспериментальной физики развивается в БГТУ с середины 70-х годов, когда на кафедру по приглашению зав. кафедрой доц. Ратникова Э.В. пришли работать выпускники БГУ Поплавский В.В. и Почтенный А.Е. Сейчас они известные специалисты, сформировавшие новые научные направления. Научное направление “Взаимодействие ускоренных ионов металлов с твердым телом и воздействие ионного легирования на физико-химические свойства поверхности конструкционных и функциональных материалов” (руководитель доцент Поплавский В.В.) развивается в течение ряда лет в рамках хоздоговорных тем, республиканских программ фундаментальных исследований “Интенсивность” и “Корпускулярные излучения”, научно-технической программы “Коррозия и защита материалов”. Изучены процессы взаимодействия ускоренных ионов металлов с металлами и углеродными материалами и воздействия ионно-лучевой обработки в

режимах высокоинтенсивной ионной имплантации и ионно-ассистированного осаждения на каталитические, адсорбционные и коррозионные свойства поверхности. Разработаны и созданы ускорительные установки для осуществления ионно-лучевой обработки в указанных режимах. Для модифицирования поверхности использовались ионы большой группы переходных d- и f-металлов, а также p-металлов. Показано, что в силу неравновесности процесса взаимодействия ускоренных ионов с веществом и других особенностей ионного легирования применение ионно-лучевых методов для формирования каталитически активных коррозионно-устойчивых покрытий обеспечивает в сравнении с традиционными способами защиты от коррозии и приготовления гетерогенных катализаторов ряд преимуществ, позволяющих получать при незначительных затратах легирующей примеси поверхностные слои, обладающие часто уникальными свойствами [16-18].

Изучаемые системы отличаются многообразием и сложностью. Экспериментальный анализ состава и электронной структуры формируемых покрытий обнаруживает зависимость состояния атомов элементов, входящих в состав покрытия, от природы легирующего металла, легируемого материала, от сочетания имплантируемых металлов при двухэлементном ионном легировании, а также от режима ионной обработки. Как правило, степень окисления имплантированных атомов металлов выше, чем в кристалле соответствующего металла, что обусловлено участием атомов в электронных и химическом взаимодействиях. При анализе электронной структуры покрытий, формируемых на углеродных материалах, обнаружено [19], что имплантированные атомы переходных металлов, являющихся совершенно нерастворимыми в углероде примесями, находятся в метастабильных состояниях, отличающихся высокой степенью незаселенности валентных электронных уровней. Метастабильные состояния имплантированных атомов формируются в результате локальных электронных взаимодействий с углеродной матрицей. Делокализация валентных электронов обусловлена сильным взаимодействием атомных потенциалов нерастворимой примеси и матрицы, имеющим место вследствие значительного размерного несоответствия их атомов. Установлена взаимосвязь электронной структуры атомов легирующих металлов со свойствами формируемых покрытий.

Разработаны способы ионно-лучевого формирования каталитически активных и коррозионно-стойких покрытий и оптимизированы режимы их осуществления. В частности, достигнута высокая электро-

каталитическая активность электродов на основе углеродных материалов и титана в электрохимических процессах выделения водорода и кислорода, восстановления нитрометана, окисления муравьиной кислоты [19-22]. Разработан технологический процесс изготовления анодов на основе титана для электролиза хлоридных растворов с невысоким содержанием хлорид-ионов, обладающих высокой электрокаталитической активностью и коррозионной стойкостью в чрезвычайно жестких условиях анодной поляризации [3]. Разработан также способ защиты изделий из алюминия от точечной коррозии. Изучено воздействие ионного легирования на каталитические свойства различных материалов в практически важных газофазных реакциях [23, 24]. При этом разработаны катализаторы нейтрализации вредных компонентов отходящих газов двигателей внутреннего сгорания – окисления оксида углерода CO и неселективного восстановления оксида азота NO, а также катализаторы окисления водорода гремучей смеси в ее потоке с водяным паром. Обнаружена высокая адсорбционная способность формируемых покрытий по отношению к водороду [19, 20]. Разработан метод расчета энергий связи атомов компонентов ионно-легированного слоя, основанный на принципе выравнивания электроотрицательностей элементов, применение которого позволяет объяснить особенности каталитических процессов на ионно-легированной поверхности [24].

На основе выполненных экспериментальных и теоретических исследований разрабатываются физико-технологические основы ионного модифицирования поверхности конструкционных и функциональных материалов для достижения требуемых коррозионных, адсорбционных и каталитических свойств с целью формирования гетерогенных катализаторов и электродов для осуществления электрохимических процессов, защиты материалов от коррозии.

Исследования в области *электроники органических материалов* (руководитель вед. научн. сотрудник Почтенный А.Е.) посвящены разработке теоретических методов описания электрофизических свойств собственных и примесных органических полупроводников, экспериментальных методов определения микроскопических параметров прыжковой проводимости в органических материалах и методов создания и модифицирования новых электронных материалов на основе органических полупроводников. Ряд исследований был выполнен совместно с сотрудниками кафедры химии и технологии электрохимических производств и материалов электронной техники БГТУ, НИИ прикладных физических проблем при Белгосуниверситете, Института

физики твердого тела и полупроводников НАНБ, Института электроники НАНБ, Института химической физики РАН, Нижегородского государственного университета, Иркутского института органической химии РАН.

К настоящему времени в рамках программы исследования органических полупроводников:

– разработаны теоретические методы микроскопического описания прыжковой проводимости, позволяющие изучить влияние примесей на электрофизические свойства органических материалов [25, 34];

– разработаны экспериментальные методы определения таких микроскопических параметров прыжкового электропереноса, как характерная длина прыжка электрона и радиус локализации электронов, на основе зависимостей проводимости и ее энергии активации от дозы ионно-имплантированной примеси [26] и от концентрации адсорбированной примеси [25], а также на основе экспериментально измеренной связи между энергией активации проводимости и предэкспоненциальным множителем в температурной зависимости проводимости [29], оптический и электрофизический методы идентификации типа примеси в материалах с прыжковой проводимостью [34];

– создано оборудование [27] и разработаны методы ионно-лучевого модифицирования электрофизических и адсорбционно-резистивных свойств поверхности полимеров [26] и тонких наноструктурированных пленок металлфталоцианинов [28, 34];

– разработан метод и создано оборудование для формирования наноструктурированных пленок металлфталоцианинов и композитных структур фталоцианин-полимер [29, 32, 35] лазерным распылением в вакууме, разработан метод формирования наноструктурированных композитных пленок фталоцианин-полимер путем плазменной полимеризации [30];

– разрабатываются методы исследования влияния морфологии и структуры тонких наноструктурированных пленок на основе металлфталоцианинов на их электрофизические свойства, основанные на сопоставлении экспериментальных значений электрофизических и адсорбционно-резистивных параметров с данными сканирующей зондовой микроскопии [33];

– разработаны физико-химические принципы создания новых сенсорных материалов на основе тонких ионно-легированных наноструктурированных пленок металлфталоцианинов и композитных структур металлфталоцианин-полимер [28-35], позволяющие создавать га-

зовые сенсоры с повышенными значениями чувствительности, селективности, стабильности, долговечности, быстродействия и с пониженным энергопотреблением.

В последнее десятилетие исследования, связанные с использованием возможностей *метода ионной имплантации*, расширились в связи с модифицированием поверхностей материалов с применением оригинальных радиационных воздействий (руководитель профессор Ташлыков И.С.) с целью разработки основ технологии и исследования физико-химических процессов осаждения покрытий на изделия при ионно-лучевом ассистировании в условиях саморадиации. Как результат освоения и использования ядернофизических методов аспирантами, а ныне молодыми преподавателями Бобровичем О.Г., Тульевым В.В., были проведены исследования, выявлены механизмы и разработаны модели взаимодействия ускоренных ионов с изделиями из материалов, характеризующихся разным типом химической связи атомов (металлы и сплавы, полупроводники, диэлектрики, эластомеры) [36-41]. Как результат исследований установлено, что метод ионно-ассистированного нанесения покрытий в условиях саморадиации обеспечивает осаждение тонких пленок на проводящие и диэлектрические подложки независимо от типа химической связи между атомами подложки. Осаждаемые на твердые подложки покрытия характеризуются плотноупакованной структурой, в составе которой имеются оксиды, карбиды, гидриды металла основы. При осаждении покрытий на упругую подложку (эластомер) формируется пленка, которая имеет "квазиволновую" структуру. Это свойство поверхности наряду с составом пленки (аналог твердой смазки) является важным фактором, который обеспечивает синергетический эффект кратного снижения силы трения модифицированной поверхности изделия в контакте с вращающимся валом или штоком, участвующим в возвратнопоступательном движении [40], что обеспечивает повышение износоустойчивости резино-технических изделий, модифицированных осаждением покрытий.

Оригинальность предложенного направления исследований вызвала интерес ученых Германии, Канады, Великобритании, в сотрудничестве с которыми получены новые научные результаты [38, 41-43], послужившие основой создания приоритетных технических решений защиты изделий и разработки технологии осаждения покрытий [44-46]. Ведутся работы, направленные на изучение макроскопических свойств модифицированных изделий, а также продолжается сотрудничество, в том числе с российскими учеными, по исследованию фунда-

ментальных закономерностей взаимодействия импульсных воздействий большой и сверхбольшой мощности с изделиями из новых перспективных материалов (см. обзорную статью в настоящем сборнике).

*Статистическое изучение равновесных свойств молекулярных конденсированных систем* осуществляется в рамках развиваемого научного направления “Двухуровневое молекулярно-статистическое описание неоднородных сред”, которое предложено и разрабатывается под руководством проф. Наркевича И.И. Это новое и перспективное направление [47] сформировалось в процессе решения двух проблем современной статистики.

К ним относятся центральная проблема статистической физики — *проблема замыкания (или обрыва)* бесконечных цепочек интегро-дифференциальных уравнений или бесконечных функциональных рядов и *проблема нормировки* коррелятивных функций многокомпонентных систем, которая возникает и при изучении чистых (однокомпонентных) систем, например при описании свойств реальных кристаллов с тепловыми вакансиями, “конденсация” которых в объеме кристалла приводит к образованию дислокаций (разного типа), микропор и других дефектов.

Предпринятые в рамках статистического метода условных распределений профессора Ротта Л.А. [48] многочисленные попытки разрешения этих и связанных с ними сопутствующих проблем технического характера показали, что их решение возможно, если одновременно применить два независимых (с точки зрения их исходных положений) статистических подхода. Один из них базируется на методе безусловных коррелятивных функций Боголюбова-Борна-Грина-Кирквуда-Ивона (метода ББГКИ [49]), а второй связан с вариационными методами статистической физики, использующими экстремальные свойства термодинамических потенциалов систем многих частиц (метод термодинамических функционалов (см. [50])).

В развиваемом двухуровневом подходе все коррелятивные функции конденсированной среды представляются в виде произведения двух функций. Первая функция описывает микрораспределения частиц в пределах элементарных ячеек (на которые мысленно разделен весь объем  $V$  в методе условных распределений [48]) и при замыкании подвергается аппроксимации по методу потенциалов средних сил [51] (*микроруровень*). Вторая функция, которая описывает усредненное по микроячейкам распределение частиц среды, является нормировочным множителем для функций первого типа, так что она описывает макронеоднородности на расстояниях больших, чем размеры

микрочеек (*мезоскопический уровень* с самым мелким масштабом). Заметим, что в случае кристаллов мысленно вводимые микрочейки приобретают реальный смысл и представляют собой элементарные, т.е. примитивные ячейки той или иной кристаллической решетки. Функции второго типа не подвергаются какой-либо дополнительной аппроксимации при решении проблемы замыкания, выражения для этих функций получаются в процессе варьирования функционала свободной энергии по парным, тройным и т. д. корреляциям в распределении частиц по микрообъемам [52]. В результате удалось практически реализовать известное утверждение Боголюбова о том, что старшие коррелятивные функции являются функционалами от младших.

Использование двухуровневого описания [47] позволило уточнить фазовую диаграмму простых (молекулярных) веществ (по отношению к результатам первого  $F_{11}$  - приближения метода условных распределений), получить простое аналитическое всефазное уравнение состояния конденсированной среды [53, 54], которое в самом простом приближении дает два решения в кристаллической области, что, возможно, приведет к статистическому описанию *аморфного состояния молекулярных систем* [55]. Другое перспективное направление использования развиваемого подхода связано с появившейся возможностью описания свойств реальных деформированных кристаллов с дефектами [56], поскольку впервые в практике применения статистических методов удалось в определяющие уравнения для коррелятивных функций ввести в явном виде тензор микроскопических деформаций. Созданы все предпосылки для построения *нелокальной статистической теории упругости*, а возможно, и пластичности, поскольку в выражении для функционала свободной энергии присутствует энтропийное слагаемое, которое учитывает вклады от всевозможных состояний системы многих частиц, отвечающих различным скорректированным распределениям частиц и вакансий по элементарным ячейкам. Поэтому при нагружении образцов, т.е. под действием внешних сил или полей в кристаллических телах, возможна такая перестройка распределения частиц, которая приводит к необратимому изменению структуры, что и отвечает за пластические деформации, а в последующем и за разрушение материала.

Развиваемые на кафедре физики научные направления позволяют творчески решать двуединую задачу высшей школы, которая, как известно, состоит в подготовке высококвалифицированных инженерных кадров и одновременном воспроизводстве новых поколений исследователей высшей квалификации, что реализуется в процессе руко-

водства студенческими научными работами и подготовкой кандидатских и докторских диссертаций.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Олехнович А.М., Савиных В.П., Спиридонов В.М. Диэлектрические свойства композиционных древесных пластиков на основе феностиролов // Механическая технология древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1971. - № 1. - С. 61 - 67.
2. Ревяко М.М., Олехнович А.М., Ицакова Д.Л. Электрические свойства наполненного полиэтилена // Пластические массы, 1972, № 1. - С. 53-54.
3. Ревяко М.М., Олехнович А.М., Табанькова В.В., Афанасьева Л.И. Свойства композиционных древесных пластиков на основе сшитого полиэтилена // Механическая технология древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1973. - № 3. - С. 140-145.
4. Баштовой В.Г., Берковский Б.М., Вислович А.Н. Введение в термомеханику магнитных жидкостей. М.: ИВТАН, 1985. - 188 с. Bashtovoy V. G., Berkovsky B.M., Vislovich A.N. Introduction to thermomechanics of magnetik fluids. - Washington: Hemisphere publishing corporation, 1988. - 216 p.
5. Гольман Л.П. Инфракрасные спектры лигнина. В кн. Грушников О.П., Елкин В.В. Достижения и проблемы химии лигнина. М.: "Наука", 1973.
6. Гольман Л.П., Резников В.М. ЭКПС, 1973, 19, 1128.
7. Гольман Л.П., Михасева М.Ф., Резников В.М. ДАН БССР, 1973, 17, 1031.
8. Bauer R., Rudik K. Emission anisotropy of fluorescence of phtalimide solutions, - Bull. Acad. Polon. Sci., 1968, V. 16. - P. 543-547.
9. Bauer R., Rudik K. Desay and deplarisation of fluorescence of phtalimide solutions. - Acta Phys. Blon. 1969, V. 35. - P. 259-700.
10. Рудик К.И., Пикулик Л.Г. Изучение спектральной зависимости анизотропии излучения растворов сложных молекул // Изв. АН СССР, сер. физ., 1970, т. 34. - С. 611-614.
11. Рудик К.И., Ярошенко О.И. Осцилляторная модель сложной молекулы в анизотропной теории усилителей и лазеров на красителях. - Acta Phys. Polon., 1978, V. A54, № 6. - P. 879-888.
12. Рудик К.И. Наведенная оптическая анизотропия растворов сложных соединений при лазерном возбуждении // Труды БГТУ, 1996, вып. 3. - С. 3-12

13. Пикулик Л.Г., Рудик К.И., Чернявский В.А. Влияние вязкости активной среды на кинетику поляризации излучения лазеров на красителе с лазерной импульсной накачкой // ЖПС, 1990, Т. 52, № 6. - С. 915-921.
14. Чернявский В.А., Пикулик Л.Г., Рудик К.И., Гриб А.Ф. Дисперсия наведенной амплитудной и фазовой анизотропии вязких растворов красителей // ЖПС, 1998, Т. 65, № 4. - С. 485-490.
15. Chernyavsky V.A., Pikulik L.G., Rudik K.I., Grib A.F. Polarization of radiation amplified by dye solution. - Quantum Semiclass. Opt., 1998, V. - P. 459-468.
16. Komarov F.F., Poplavsky V.V. Review Article. Ion Beam Modification of Catalytic Properties of Solids // Radiation Effects. - 1988. - V. 106, Nos. 1+2. - P. 1-26.
17. Поплавский В.В. Приготовление катализаторов с использованием ионно-лучевых технологий // Научные основы приготовления и технологии катализаторов. Сб. научных трудов. - Новосибирск: СО АН СССР, 1990. - С. 156-172.
18. Поплавский В.В., Мычко Д.И., Стрельцов Е.А. Принципы формирования коррозионноустойчивых электрокаталитически активных покрытий на электродах с использованием ионно-лучевых технологий // Оптимизация процесса обработки конструкционных материалов. Сб. научных трудов. - Уфа, 1995. - С. 36-41.
19. Poplavsky V.V. Influence of the Implantation of Transition Metal Ions on the Electrocatalytic Activity of Carbon Materials // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. - 1987. - V. B28, Nos. 3-4. - P. 534-539.
20. Poplavsky V.V., Zharsky I.M., Bely I.M., Matys V.G. Effect of Ion Beam Treatment on Electrochemical Properties of Glassy Carbon Electrodes // International Symposium on Ion Implantation of Science and Technology (IIST'97). Conference Proceedings - Naleczow, Polska. - 1997. - P. 186-192.
21. Матыс В.Г., Жарский И.М., Матвейко Н.П., Поплавский В.В. Влияние способа получения барьерного слоя и термообработки на активность композиционных электродов // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. - 1998. - № 3. - С. 28-33.
22. Поплавский В.В., Белый И.М., Горощенко А.А., Матвейко Н.П., Шнып В.А. Ионно-лучевое модифицирование каталитических

свойств поверхности // Вакуумная техника и технология. – 1993. – Т.3, № 2. – С. 48-56.

23. Poplavsky V.V., Shnyp V.A. Catalytic Device for Cleaning of Exhaust Gases of Motorcycle Two-Stroke Engines //25th Exhibition-Congress International Meeting on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology (ACHEMA 97). – Frankfurt am Main, Germany, 1997.
24. Poplavsky V.V., Matys V.G., Zharsky I.M., Shnyp V.A. Electrocatalytic Properties of Graphite Modified by Ion Assisted Metals Deposition //11th International Conference on Ion Beam Modification of Materials (IBMM-98). Abstracts. – Amsterdam, Holland, 1998. – P. 135-136.
25. Почтенный А.Е., Фель Я.А. О радиусе локализации электронов в органических материалах // Физика твердого тела. – 1989. – Т. 31, № 1. – С. 284-286.
26. Буренков А.Ф., Ильюшонок И.П., Почтенный А.Е. О проводимости приповерхностных ионно-легированных слоев органических материалов // Поверхность. Физика, химия, механика. –1990. – №6. – С. 123-127.
27. Бельый И.М., Бочаров В.Ф., Поплавский В.В., Почтенный А.Е., Ратников Э.В. Источник ионов металлов. А.с. СССР №1625258 (1.10.1990).
28. Ильюшонок И.П., Почтенный А.Е., Долгий В.К. Электрофизические свойства ионно-легированных пленок хлорзамещенного фталоцианина меди // Вакуумная техника и технология. – 1993. – Т.3, №5/6. – С. 48-51.
29. Адсорбционно-резистивные свойства фталоцианина меди, диспергированного в полимерную матрицу / А. Е. Почтенный, Д. И. Сагайдак, Г. Г. Федорук, А. В. Мисевич // Физика твердого тела. – 1998. – Т. 40, № 4. – С. 773-775.
30. Почтенный А.Е., Сагайдак Д.И., Федорук Г.Г. Композиционные сенсорные пленки фталоцианин меди - полимер, синтезированные в плазме // Высокомолекулярные соединения, серия А. – 1997. – Т. 39, № 7. – С. 1199-1205.
31. Electrical and gas sensing properties of copper phthalocyanine – polymer composites / G. G. Fedoruk, D. I Sagaidak, A. V. Misevich, A. E. Pochtenny // Sensors and actuators. – 1998. – V. B48. – P. 351-355.

32. Адсорбционно-резистивные свойства фталоцианина меди, диспергированного в полимерную матрицу/ А. Е. Почтенный, Д. И. Сагайдак, Г. Г. Федорук, А. В. Мисевич // Физика твердого тела. – 1998. – Т. 40, № 4. – С. 773-775.
33. Nanostructural sensor films of copper phthalocyanine and their polymer composites / A. E. Pochtenny, A. V. Misevich, I. G. Yaminsky, M. O. Gallyamov, V.K. Solonovich, O.M. Stukalov // Physics, chemistry and application of nanostructures. – World Scientific: Singapore, 1999. – P. 221-224.
34. Pochtenny A.E., Fedoruk G.G., Ilyushonok I.P., Misevich A.V. The modified metallophthalocyanines: electron transport mechanism and gas sensing properties // Electron Technology. – 2000. – Vol. 33, № 1/2. – P. 145-152.
35. Misevich A.V., Pochtenny A.E. The effect of gas adsorption on hopping conduction in metallophthalocyanines // Electron Technology. – 2000. – Vol. 33, № 1/2. – P. 167-170.
36. Komarov F.F., Kumakhov M.A., Tashlykov I.S. Non-destructive ion beam analysis of surfaces. - New York: Gordon and Breach Science Publishers. - 1990. - P. 231.
37. Ташлыков И.С. Исследование механизмов атомного перемешивания бикомпонентных слоев на основе никеля// ФХОМ. - 1991. - Т. 1. - С. 39-43.
38. Tashlykov I.S., Belyi I.M., Bobrovich O.G., Kalbitzer S., Meyer O., Wolf G., Enders B. On the efficiency of deposited energy density for ion beam mixing processes with ions implanted during and after Thin metal film deposition // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. - 1993. - V. B. 80/81. - P. 98-101.
39. Tashlykov I.S., Belyi I.M., Bobrovich O.G., Kalbitzer S., Meyer O., Wolf G., Enders B. On the efficiency of deposited energy density for ion beam mixing processes with ions implanted during and after Thin metal film deposition // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. - 1993. - V. B. 80/81. - P. 98-101.
40. Poplavsky V.V., Tashlykov I.S. Characteristics properties of thin metal layers deposited on graphite and glassy carbon by means of CIAD technique // Asbstr. of 9-th Intern. Cont. on Surface Modification of Metals by Ion Beams. San Sebastian. - 1995. - P. 120.
41. Tashlykov I.S., Kasperovich V.I., Shadruxhin M.G., Kasperovich A.V., Wolf G., Wesch W. Elastomer treatment by arc metal deposition assisted with self ion irradiation // Surf. Coat. Technol. - 1999. - Vols. 116-119. - P. 848-852.

42. Carter G., Colligon J., Tashlykov I.S. A simple theory and experimental investigation of ion-assisted deposition of cobalt coating on silicon // *J. of Advanced Materials*. - 1999. - V. 5. - Nr.1. - P. 1-6.
43. Дэвис Дж., Ташлыков И.С., Хау Л. Применение метода резонансных ядерных реакций для изучения пространственного распределения алюминия, имплантированного в Ga As // *Атомная энергия*. - 1992. - Т. 52. - № 5. - С. 329-331.
44. Ташлыков И.С., Качур И.Я., Белый И.М., Касперович В.И., Малахов А.И., Пахомов В.Д., Ситало Н.С., Шадрухин М.Г. Патент РФ № 2014365 на “Способ обработки поверхностей стальных пресс-форм”.
45. Ташлыков И.С., Качур И.Я., Белый И.М., Касперович В.И., Пахомов В.Д., Шадрухин М.Г. Патент РФ № 2044108 на “Способ обработки поверхности стальных пресс-форм”.
46. Ташлыков И.С., Белый И.М. Патент РБ № 2324 на “Способ нанесения покрытий”.
47. Наркевич И.И. Молекулярно-статистическая теория неоднородных конденсированных сред: Дисс. докт. физ.-мат. наук. - С.-П.: СПГУ, 1993. - 242 с.
48. Ротт Л.А. Статистическая теория молекулярных систем. - М.: Наука, 1979.
49. Боголюбов Н.Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. - М. - Л.: Гостехиздат, 1946.
50. Роулинсон Дж., Уидом Б. Молекулярные теории капиллярности: Пер. с англ. В.Л. Кузьмина/ Под ред. А.И. Русакова. - М.: Мир, 1986.
51. Бокун Г.С., Вихренко В.С., Наркевич И.И., Ротт Л.А. Метод потенциалов средних сил в статистической теории бинарных систем // *ДАН БССР*. 1975, т. 19, № 7. - С. 595-598.
52. Наркевич И.И. Метод множителей Лагранжа в проблеме нормировки коррелятивных функций многокомпонентного кристалла с дефектами // *Высокочистые вещества*, 1990. № 1. - С. 67 - 75.
53. Наркевич И.И., Ротт Л.А., Жаркевич А.В. Решение проблемы фазовых переходов и всефазного уравнения состояния с помощью статистического метода условных распределений. Результаты и перспективы // *Труды БГТУ, сер. физ.-мат. наук*. Минск, 1997, вып. V. - С. 56-60.
54. Наркевич И.И., Лобко С.И., Жаркевич А.В. Статистическая модель конденсированной среды // *Неорганические материалы*. 1999, т. 35, № 6. - С. 743-744.

55. Наркевич И.И., Наркевич В.И., Жаркевич А.В. Статистическое изучение структурных и термодинамических свойств среды в аморфном и кристаллическом состояниях // Физика и химия стекла. 1999.
56. Наркевич И.И., Клинецвич С.И., Жаркевич А.В. Статистико-механическое описание структурных, термодинамических и механических свойств неоднородной молекулярной среды // Весці НАНБ. 1998. № 4. - С. 111-117.

УДК 537. 84

А.Н. Вислович, доцент

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА В БГТУ**

The main ideas served to development of elektrical and magnetic polarisation of substance investigation at the Belarussian State Technological University have been examined.

Не будет преувеличением утверждение, что исследования явлений, связанных с поляризацией вещества, представляли актуальное направление на протяжении всей истории развития физической науки. Поляризацию здесь следует понимать в широком смысле — как электрическую, так и магнитную (т. е. намагничивание). Эффекты поляризации во многих случаях послужили ключом к разгадке строения материи, они также находят разнообразные практические применения. На кафедре физики БГТУ проблемы поляризованного состояния изучались на протяжении трех последних десятилетий. Целью настоящего обзора является рассмотрение важнейших идей, которые послужили развитию этого направления.

В начале 70-х годов доц. М.А. Олехновичем были проведены первые измерения электрических свойств технологических материалов [1, 2]. В течение последующего десятилетия им в сотрудничестве со специальными кафедрами были исследованы электрические характеристики модифицированной древесины [3], композиционных материалов на основе полиолефинов [4], материалов целлюлозно-бумажной промышленности, керамики, стекла, органических жидкостей и др. Полученные частотные зависимости диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и статическая проводимость использовались для разработки технологического процесса получения этих материалов и контроля их качества, в частности: