

ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ISSN 0142-0843

ФИЗИКА сериясы
№ 3(59)/2010
Серия ФИЗИКА

Шілде–тамыз–қыркүйек
1996 жылдан бастап шығады
Жылына 4 рет шығады

Июль–август–сентябрь
Издается с 1996 года
Выходит 4 раза в год

Собственник РГКП **Карагандинский государственный университет
имени Е.А.Букетова**

Бас редакторы — Главный редактор

Е.К.КУБЕЕВ,

академик МАН ВШ, д-р юрид. наук, профессор

Зам. главного редактора М.Ж.Буркеев, д-р хим. наук
Ответственный секретарь Г.Ю.Аманбаева, д-р филол. наук

Серияның редакция алқасы — Редакционная коллегия серии

Т.А.Кокетайтеги,	редактор д-р физ.-мат. наук;
К.К.Кусайынов,	д-р техн. наук;
Н.Х.Ибраев,	д-р физ.-мат. наук;
К.М.Арынгазин,	д-р пед. наук;
И.В.Брейдо,	д-р техн. наук;
Л.М.Ким,	д-р физ.-мат. наук
С.Д.Джуманов,	д-р физ.-мат. наук (Узбекистан);
М.М.Кидибаев,	д-р физ.-мат. наук (Кыргызстан);
З.Ж.Жанабаев,	д-р физ.-мат. наук;
Г.В.Климушева,	д-р физ.-мат. наук (Украина);
С.А.Кумеков,	д-р физ.-мат. наук;
В.М.Лисицын,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
И.А.Огородников,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
Г.И.Пилипенко,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
С.В.Плотников,	д-р физ.-мат. наук;
Л.А.Пунг,	д-р физ.-мат. наук (Эстония);
М.П.Тонконогов,	д-р техн. наук;
А.Ж.Турмухамбетов,	д-р физ.-мат. наук;
К.Ш.Шункеев,	д-р физ.-мат. наук;
Л.В.Чиркова,	ответственный секретарь канд. техн. наук, доцент

Адрес редакции: 100028, г. Караганда, ул. Университетская, 28

Тел.: (7212) 77-03-69 (внутр. 1026); факс: (7212) 77-03-84.

E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz

Редакторы *Ж.Т.Нұрмұханова*
Редактор *И.Д.Рожнова*
Техн. редактор *В.В.Бутяйкин*

Издательство Карагандинского
государственного университета
им. Е.А.Букетова
100012, г. Караганда,
ул. Гоголя, 38,
тел., факс: (7212) 51-38-20
e-mail: izd_kargu@mail.ru

Басуға 28.09.2010 ж. қол қойылды.
Пішімі 60×84 1/8.
Офсеттік қағазы.
Көлемі 9,75 б.т.
Таралымы 300 дана.
Бағасы келісім бойынша.
Тапсырыс № 483.

Подписано в печать 28.09.2010 г.
Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная.
Объем 9,75 п.л. Тираж 300 экз.
Цена договорная. Заказ № 483.

Отпечатано в типографии
издательства КарГУ
им. Е.А.Букетова

© Карагандинский государственный университет, 2010

Зарегистрирован Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан.
Регистрационное свидетельство № 1131–Ж от 10.03.2000 г.

МАЗМҰНЫ

КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН КҮЙДЕГІ ЗАТТАРДЫҢ ФИЗИКАСЫ

<i>Әлиев Б.А.</i> Электрондық сәулеленудің кеуек кремнийдің фотолюминесценция спектріне әсері.....	3
<i>Әлиев Б.А.</i> Сәулеленген қатты полимерлердегі ішкі үйкеліс	8
<i>Архипов В.В., Құдусов А.С., Қамрикова А.А.</i> Де Бройль және Шредингер толқындық функцияларының қатынастары туралы.....	13
<i>Жұмадилов Е.К., Мұрашова З.Ф.</i> GdCaFe ₂ O _{5,5} ферриттің электрофизикалық қасиеттері	21
<i>Мырзахмет М.К.</i> Екі бөлшекті Грин функциясы әдісімен экситон-фонондық өзара әрекет етуін зерттеу.....	26
<i>Юров В.М., Вертягина Е.Н., Бақтыбеков Қ.С., Ыбыраев Н.Х., Гученко С.А.</i> Алюминийді балқыту негізіндегі иондық-плазмалық қабыршақ.....	32

ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА

<i>Балгабеков Т.К.</i> Қазақстан Республикасы көлікпен қамтамасыз етілуі мен қолжетерлігінің кешендік көрсеткіштері	42
<i>Закиев Д.М., Амочаева Г.П.</i> Саран қаласының абоненттік қызмет көрсету желісін жетілдіру .	48
<i>Ищанова Ж.К., Амочаева Г.П.</i> Цифрлық дабылдардың таратылу сапасына дыбыс кодекстерінің әсер етуін зерттеу	55

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

<i>Арынгазин Қ.М., Васильева И.Ф.</i> Теориялық физиканы әдіснамалық құру мәселесі	62
<i>Ильина Л.Ф., Тәжібәева Д.К.</i> Магниттік эффектерді зерттегенде инновациондық технологияларды қолдану	68
АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР	78

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

<i>Алиев Б.А.</i> Влияние электронного облучения на спектр фотолюминесценции пористого кремния	3
<i>Алиев Б.А.</i> Внутреннее трение в облученных твердых полимерах	8
<i>Архипов В.В., Кудусов А.С., Камрикова А.А.</i> О соотношении волновых функций де Бройля и Шредингера.....	13
<i>Жумадилов Е.К., Мурашова З.Ф.</i> Электрофизические свойства феррита GdCaFe ₂ O _{5,5}	21
<i>Мырзахмет М.К.</i> Исследование экситон-фононного взаимодействия методом двухчастичных функций Грина.....	26
<i>Юров В.М., Вертягина Е.Н., Бактыбеков К.С., Ибраев Н.Х., Гученко С.А.</i> Ионно-плазменные покрытия на основе сплавов алюминия	32

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<i>Балгабеков Т.К.</i> Показатели транспортной обеспеченности и доступности Республики Казахстан.....	42
<i>Закиев Д.М., Амочаева Г.П.</i> Модернизации сетей абонентского доступа города Сарани.....	48
<i>Ищанова Ж.К., Амочаева Г.П.</i> Исследование влияния речевых кодеков на качество передачи цифровых сигналов	55

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

<i>Арынгазин К.М., Васильева И.Ф.</i> Методологические проблемы построения теоретической физики	62
<i>Ильина Л.Ф., Тажибәева Д.К.</i> Использование инновационных технологий при изучении магнитных явлений	68
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	78

КОНДЕНСАЦИЯ ЛАНҒАН КҮЙДЕГІ ЗАТТАРДЫҢ ФИЗИКАСЫ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 539.21:539.12.04

Б.А.Алиев

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы (Bahodir.Aliev@kaznu.kz)

Влияние электронного облучения на спектр фотолюминесценции пористого кремния

В работе исследовано влияние электронного облучения с энергией 2 МэВ и дозами 10^{14} – 10^{17} см⁻² на спектр фотолюминесценции (ФЛ) и ИК-спектры пористого кремния (ПК). Облучению подвергались как свежеприготовленные образцы ПК, так и приготовленные год назад. Отмечено, что наиболее сильно деградирует фотолюминесценция свежеприготовленных образцов, причем, чем тоньше пленка ПК тем сильнее деградация. Отмечено, что увеличение дозы — более 10^{15} см⁻² — приводит к снижению интенсивности ФЛ и при $D = 10^{16}$ см⁻² — ее гашению в 4 раза. Радиационно-стойкими оказались образцы длительного хранения из более толстых слоев ПК, при $D = 10^{16}$ см⁻² ФЛ уменьшилась лишь на 20 %.

Ключевые слова: фотолюминесценция, пористый кремний, облучение, радиационная стойкость, энергия.

Введение

Пористый кремний является перспективным материалом микро-, нано- и оптоэлектроники. Его свойства на протяжении последнего десятилетия активно исследуются более чем в 40 странах мира, а объем научных публикаций достигает 500 статей в год. На крупных международных конференциях обсуждаются уникальные свойства этого материала и возможности его применения в приборах различного назначения.

Широкое использование монокристаллов кремния в устройствах электроники стало настолько привычным, что мало кто задается вопросом, почему именно кремнию из всех полупроводников отдается предпочтение при создании электронных приборов. Ведущее положение кремния связано с широким набором положительных свойств, многих из которых нет у других полупроводниковых материалов. Кремний как химический элемент широко распространен в природе, и его содержание в земной коре составляет 29,5 %. Он технологичен, инертен в обычных условиях, выдерживает высокие температуры, сопровождающие процесс изготовления приборов и интегральных схем. Для создания диэлектрических слоев нет необходимости специально искать диэлектрические материалы — собственный окисел SiO₂, формируемый на кремнии при высоких температурах в окислительной среде, прекрасно выполняет изолирующие и маскирующие функции. В кристаллической решетке атомы кремния занимают только 25 % объема, в результате чего материал имеет малую плотность (2,32 г/см³, для Ge 5,35 г/см³) и допускает сильное легирование элементами III и V групп. Каждый введенный в кристалл кремния атом III или V группы добавляет один носитель заряда с положительным знаком (дырку) или один электрон соответственно. Концентрация носителей заряда в результате этого может изменяться в широких пределах — от 10^{10} до 10^{21} см⁻³. Высокие значения коэффициентов диффузии легирующих элементов в кремнии позволяют формировать локальные области микронных и субмикронных размеров с дырочным (*p*-Si) или электронным (*n*-Si) типом проводимости, совокупность которых и составляет основу любой интегральной схемы или полупроводникового прибора. Производство кремниевых монокристаллов превышает 3000 тонн в год. Однако монокри-

сталлический кремний имеет и недостатки. Один из них связан с относительно невысокой подвижностью носителей заряда (для электронов $1500 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, дырок $600 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$), что ограничивает быстродействие приборов. Для этих целей применяют другой полупроводник — арсенид галлия GaAs, у которого подвижность электронов при комнатной температуре $8500 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, а при температуре кипения жидкого азота (77 К) — $250\,000 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Результатом этого стало появление нового технологического направления, получившего название арсенид-галлиевой микроэлектроники. Другой недостаток монокристаллического кремния заключается в том, что его нельзя использовать для создания светоизлучающих приборов. Светоизлучающие структуры широкого спектрального диапазона изготавливают на основе других полупроводников (GaAs, GaP, GaN, ZnS, ZnSe и др.), однако решение этой задачи в перспективе все же возможно в рамках кремниевой технологии. В настоящее время существует два подхода к этой проблеме. Один из них состоит в легировании кремния редкоземельными элементами (Er, Eu, Gd), в результате чего такой модифицированный кремний обладает излучающими свойствами в инфракрасном диапазоне. Другой подход заключается в формировании на поверхности или в объеме диэлектрических материалов (например, SiO_2) кремниевых кристаллов нанометровых размеров ($1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$). На рисунке 1 видно, что кремний существует в нескольких структурных модификациях. Все эти материалы имеют различные физические свойства, разные области применения, хорошо совместимы и, взаимно дополняя друг друга, обеспечивают широкие возможности кремниевой технологии. Каждый из семейства кремниевых «братьев» достоин отдельного рассмотрения, однако перейдем к описанию самого загадочного из них — кремния с пористой структурой.



Рисунок 1. Семейство кремния и области применения материалов

Открытие светоизлучающих свойств пористого кремния (ПК) вызвало к нему большой интерес как к перспективному материалу оптоэлектроники. В настоящее время исследователи много внимания уделяют изменению интенсивности фотолюминесценции (ФЛ) ПК под действием непрерывного и импульсного электронного облучения. Значительно менее изучены последствия облучения поверхности пористого кремния электронами. При этом влияние электронов на светоизлучающие свойства ПК представляется в литературе только качественно, так как отсутствует информация о зависимости интенсивности ФЛ от дозы и энергии электронов для ПК различного типа проводимости, уровня легирования и условий формирования. Несмотря на богатый экспериментальный материал, до сих пор не удалось разработать общую теорию, описывающую как механизм, так и кинетику изменения интенсивности ФЛ ПК при различных типах воздействия.

В последнее время большое внимание уделяется исследованию воздействия радиации на структурные и люминесцентные свойства пористого кремния. В работе [1] исследовано влияние облучения электронами с энергией 2 МэВ и дозами 10^{16} – 10^{17} см^{-2} на тип проводимости и удельное сопротивление

ние ПК и отмечена возможность генерации таких же дефектов, как в монокристалле кремния. В [2, 3] ПК подвергали электронному облучению с энергией 20 кэВ и показано увеличение после облучения количества кислородных групп, тогда как водородные группы уменьшились.

Методика эксперимента

В работе исследовались слои ПК, сформированные на поверхности монокристаллических пластин кремния *p*-типа с удельным сопротивлением 10 Ом·см, ориентацией (100), полированные с двух сторон. Для формирования ПК использовался процесс электрохимического анодирования в модифицированном электролите в смеси HF:окисленный спирт в соотношении 1:1,5. Используемый в данной работе электролит позволяет получать фотолюминесцентный ПК при низкой плотности тока порядка 0,1 мА/см², при этом формируется однородный слой ПК. Используемые для облучения пленки были сформированы при плотности тока 20 мА/см² и времени анодизации от 10 с до 30 мин. Максимальная толщина слоя пористого кремния составила порядка 20 мкм.

Электронное облучение проводилось при комнатной температуре на линейном ускорителе «Электроник ЭЛУ-4» с энергией электронов 2 МэВ при плотности тока 1 мкА/см² и дозами облучения 10¹⁴, 10¹⁵ и 10¹⁶ э/см². Температура образцов ПК во время облучения не превышала 30 °С. Во время облучения образцы заворачивались в алюминиевую фольгу. Облучению подвергались как свежеприготовленные образцы ПК, так и образцы, приготовленные год назад.

Измерение ФЛ проводилось при комнатной температуре на установке КСВУ-23 с использованием в качестве источника излучения импульсного лазера ИЛГИ-503 на молекулярном азоте, работающего в квазинепрерывном режиме на длине волны 337 нм. Состав пористого кремния определялся из спектров инфракрасного поглощения, измеренных на Фурье-спектрометре FTIR-1700 Palmer-Elmer в области 400–4000 см⁻¹.

В данной работе влияние радиации исследовалось на образцах двух типов — сразу после изготовления и после длительного хранения на воздухе. Это связано с тем, что ПК может взаимодействовать с кислородом в процессе хранения на воздухе [4], что приводит к постепенной замене Si–H связей на поверхностях нанокристаллов кремния на Si–O связи. Это сопровождается вначале уменьшением люминесценции, но после длительного хранения восстановлением и стабилизацией люминесцентных свойств.

Спектр ФЛ

Вначале рассмотрим ФЛ свежеприготовленных образцов ПК, сформированных при разном времени анодирования (от 10 с до 25 мин), приводящем к различию толщины и пористости ПК. Спектры ФЛ ПК до облучения приведены на рисунке 2.

С увеличением толщины слоя ПК интенсивность ФЛ увеличивается с незначительным (порядка 5 нм) смещением пика ФЛ в коротковолновую область спектра. Размер нанокристаллитов свежеприготовленных образцов ПК, рассчитанный по методу выделения составляющих спектра ФЛ, составил 3,8 нм.

После облучения дозой 10¹⁵ см⁻² положение максимума в спектре ФЛ практически не изменилось. Интенсивность пика ФЛ для образцов, сформированных при временах анодирования 10, 30 с, 2 мин и 25 мин, падает соответственно на 30, 20, 10 и 5 % по сравнению с кривыми до облучения. То есть чем меньше толщина ПК, тем сильнее гашение ФЛ. Это указывает на участие вторичного поверхностно-активного фактора, сопровождающего процесс облучения. Выдержка на воздухе приводит к быстрому восстановлению интенсивности ФЛ облученных образцов ПК.

Облучение дозой более 10¹⁵ см⁻² дает значительное снижение интенсивности ФЛ свежеприготовленного ПК (рис. 3). Положение максимума в спектре ФЛ при этом практически не меняется.

В образцах ПК длительного хранения водород отсутствует. Максимум интенсивности ФЛ образцов длительного хранения находится на длине волны 660 нм. Сдвиг максимума ФЛ в длинноволновую область после долгого хранения, видимо, связан с окислением более крупных кристаллитов, приводящим к уменьшению размеров кремниевой «сердцевинки», и их вовлечением в ФЛ. Пористый кремний длительного хранения оказался более радиационно стойким. ФЛ образцов ПК длительного хранения после облучения дозой 10¹⁶ см⁻² уменьшается лишь на 20 %.

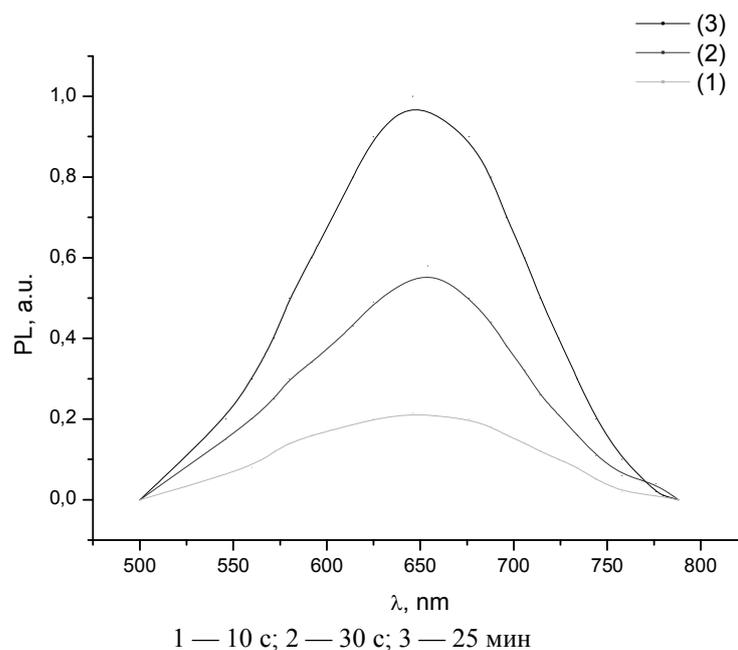


Рисунок 2. Спектр ФЛ ПК до облучения для тонких образцов ПК, сформированных за 10 с; 30 с; 25 мин

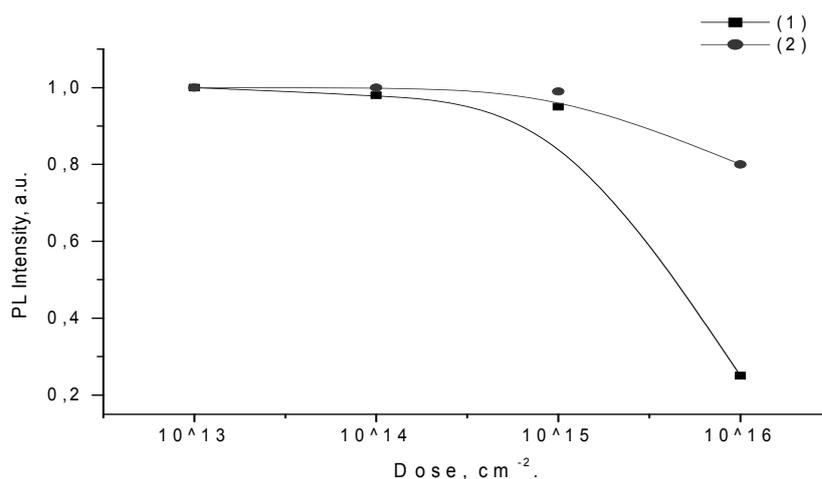


Рисунок 3. Влияние дозы облучения на интенсивность ФЛ свежеприготовленного ПК (1) и длительного хранения (2)

Заключение

Таким образом, при электронном облучении на воздухе наиболее сильно деградирует фотолуминесценция свежеприготовленных образцов. Увеличение дозы более 10^{15} см^{-2} сопровождается резким снижением интенсивности ФЛ, причем чем тоньше пленка ПК, тем сильнее деградация, и при $D = 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ее интенсивность уменьшается в 4 раза. Но при этом возможно существенное влияние образующегося в процессе облучения на воздухе озона.

Более радиационно стойкими оказались образцы длительного хранения, в которых водорода практически нет. Кислородная пассивация способствует увеличению радиационной стойкости ПК. Доза электронного облучения 10^{16} см^{-2} уменьшает интенсивность ФЛ до 20 %.

References

- 1 Zimin S.P., Zimin D.S., Ryabkin Yu., Bragin A.N. Electron Irradiation Influence on Porous Silicon Electrical Parameters // *Phys. Stat. Sol. (a)*. — 2000. — Vol. 182. — P. 221.
- 2 Kostishko B.M., Guseva M.B. et al. // *Phys. Low-Dim. Struct.* — 1999. — № 7/8. — P. 9—14.
- 3 St. Borin et al. // *J. Appl. Phys.* — 2003. — Vol. 93. — № 8. — P. 1–4.
- 4 Kashkarov P.K. Unusual properties of porous silica // *Soros' Educational Journal*. — 2001. — № 1. — P. 102–107.

Б.А.Әлиев

Электрондық сәулеленудің кеуек кремнийдің фотолюминесценция спектріне әсері

Мақалада 2 МэВ энергиялы және 10^{14} – 10^{17} см⁻² дозалы электрондық сәулеленудің кеуек кремнийдің ИҚ-спектрлеріне және фотолюминесценция (ФЛ) спектріне әсері қарастырылған. Сәулелендіруге кеуек кремнийдің жаңа және бір жыл бұрын дайындалған үлгілері ұшырады. Нәтижесінде жаңа дайындалған үлгілер тез бұзылуға бейім екені байқалды.

B.A. Aliev

Influence of the electronic irradiation on spectrum photoluminescence porous silicon

In present work explored influence electronic irradiation with energy 2 MeV and dose 10^{14} – 10^{17} cm⁻² on spectrum photoluminescence (FL) and IR-spectrums porous silicon (PS). The irradiation were subjected to as the prepared sample PS, so and sample, prepared year back. It is noted that most powerfully the photoluminescence degrades sample moreover, than fine film PC that more degradates. Increase the dose more than 10^{15} cm⁻² bring about reduction of the intensities FL and under $D = 10^{16}$ cm⁻² her (its) extinguish in 4 times. Radiacia-steadfast turned out to be the sample of long keeping from thick layers PC, under $D = 10^{16}$ cm⁻² FL decreased only on 20 %.

Б.А.Алиев

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы (Bahodir.Aliev@kaznu.kz)

Внутреннее трение в облученных твердых полимерах

В работе представлена возможность исследования структурных изменений при электронном облучении методом внутреннего трения. Показана информативность данного метода и проведены сравнения с другими методами анализа процессов деструкции и сшиванию в твердых полимерах.

Ключевые слова: структура, полимер, методы анализа, деструкция, сшивание, электронное облучение.

Введение

Под внутренним трением (ВТ) в твердых телах понимается не вязкость, как в газах и жидкостях, а рассеяние упругой энергии механических колебаний, вызванное локальными атомными, тепловыми и магнитными перестройками в микрообъемах вещества. ВТ проявляется в виде нарушений закона Гука при очень малых деформациях (10^{-7} – 10^{-4}), которые приводят к двум типам потерь энергии: релаксационным и гистерезисным. Механические свойства твердых полимеров сильно зависят от условий испытания: скорости приложения нагрузки, температуры, величины деформации. При этом полимер может обнаруживать признаки стеклообразного хрупкого твердого тела, высокоэластичного каучука или вязкой жидкости, в зависимости от интервала температур или продолжительности действия силы при испытаниях. Полимеры обычно характеризуются термином «вязкоупругие материалы», подчеркивающим их промежуточное положение между вязкими жидкостями и упругими твердыми телами. При низких температурах или высоких частотах измерения полимер может быть стеклообразным материалом с модулем Юнга 10^9 – 10^{10} Н/м² и будет разрушаться или переходить в пластическое состояние при деформации более 5 %. При высоких температурах и низких частотах тот же полимер может быть каучукоподобным материалом с модулем 10^6 – 10^7 Н/м², причем он может накапливать большие удлинения (около 100 %) без остаточной деформации. При еще больших температурах при действии силы создаются необратимые деформации, и полимер ведет себя как высоковязкая жидкость.

Свободные радикалы, образующиеся в полимерных композитных материалах под действием ионизирующего излучения, рекомбинируют, а также участвуют в реакциях, приводящих к деструкции и сшиванию макромолекул в различных областях полимерного материала. Такие материалы не являются простой геометрической суммой их составляющих, включающих полимерное связующее, полимерный или неорганический наполнитель и другие возможные компоненты. Интенсивное межмолекулярное взаимодействие между составляющими открытой системы приводит к существенно неаддитивным структурным изменениям.

В свою очередь, структурные изменения, вызванные облучением, приводят к изменениям характеристик структурно-фазовых переходов, происходящих в различных областях полимерного композитного материала в разных или перекрывающихся температурных интервалах. Наиболее характерным для полимерных составляющих композитных материалов является структурный переход из стеклообразного в высокоэластичное состояние, наблюдаемый, как правило, при температурах выше 100 °С.

Поскольку внутреннее трение имеет исключительно высокую чувствительность как к структурным переходам в полимерах, так и к воздействию ионизирующих излучений, то детальная информация о радиационно-иницированных процессах может быть получена из экспериментальных исследований механической релаксации в облученных композитах. При этом параметры внутреннего трения являются мерой деструкции–сшивания в полимере, а сигнал ЭПР — мерой концентрации свободных радикалов.

Процессы, происходящие при облучении в полимерных композитных материалах, могут иметь неодинаковую направленность в их различных структурных составляющих, а их конкуренция и взаимосвязь определяют эволюцию структуры, свойств и радиационную стойкость композита.

Для выяснения влияния соотношений между скоростями радиационно-иницированных процессов в различных структурных составляющих композитов на эволюцию их структуры и свойств и описания кинетики структурных превращений в процессе и после облучения изложено общее описание радиационных процессов деструкции–сшивания и изменения параметров внутреннего трения в композитах при радиационных воздействиях [1].

Вызванное облучением изменение высот α - и α' -пиков на температурных зависимостях внутреннего трения определяется количеством свободных молекулярных сегментов, вносящих вклад в соответствующий релаксационный процесс, которое приближенно пропорционально разности степеней радиационной деструкции и радиационного сшивания макромолекул. Это обстоятельство позволяет связать кинетику внутреннего трения с кинетикой радиационных процессов сшивания–деструкции [2].

При облучении твердых полимеров, в частности, электронами образуются свободные радикалы, которые могут рекомбинировать и участвовать в реакциях, приводящих к деструкции и сшиванию макромолекул в различных областях полимерного материала. В свою очередь, структурные изменения, вызванные облучением, приводят к изменениям характеристик структурно-фазовых переходов, происходящих в полимерном материале в разных или перекрывающихся температурных интервалах. Наиболее характерным для полимерных составляющих композитных материалов является структурный переход из стеклообразного в высокоэластичное состояние (α -переход), наблюдаемый, как правило, при невысоких температурах (выше 100 °С).

В работах [3, 4] были исследованы с помощью УФ- и ИК-спектроскопии структурные изменения, которые появляются после облучения эпоксидной смолы, отвержденной ароматическими аминами. Получены модификации системы на основе эпоксидной смолы при помощи дополнительно произведенных изменений в соответствующих пропорциях состава. Наблюдается образование карбонильных, перекисных и дифенильных этиленовых групп, катионов дифенила этила и радикалов. Предполагается, что за образование этих групп ответственны радиационные процессы.

Основные характеристики отвержденной эпоксидной смолы, определяющие ее тепловые и механические свойства (модули упругости в высокоэластичном и застеклованном состояниях, предел ползучести, ударная вязкость при изломе, температура стеклования), получены в работе [5], в которой описана также методика этих измерений. Установлена связь между этими характеристиками и параметрами, определяющими структуру сетки: функциональностью сшивков и молекулярной массой отрезков цепей между сшивками.

Для описания кинетики релаксации модуля Юнга ориентированных полимеров авторами [6] предложено уравнение аррениусовского типа, модифицированное для случая измерений в широком диапазоне температур. Уравнение связывает температурно-временную зависимость модуля Юнга высокоориентированных полимеров в области от 100 К до температуры плавления, а также изотропных и слабоориентированных полимеров между температурами релаксационных переходов. Предлагаемый подход сопоставляется с традиционным описанием релаксации модуля на основе спектра времен релаксации.

В полимерных композитных материалах с активным наполнителем появляется новый сегментальный переход (α' -переход) по аналогии с «чистыми» полимерами [6]. Тем не менее этот переход отсутствует у исходного полимера и наблюдается только в присутствии наполнителя.

Таким образом, из приведенного краткого обзора видно, что экспериментальные данные по внутреннему трению в облученных полимерах крайне немногочисленны, несмотря на их практическую значимость для детального описания структурных изменений в полимерах в процессе и после облучения. Восполнение этого пробела в исследовании процессов рассеяния упругой энергии в композитных полимерных материалах позволит в значительной мере устранить проблему описания эволюции структуры и свойств при внешних воздействиях, связанную с отсутствием детальной информации о процессах, протекающих в различных структурных составляющих композитов.

Для определения механизмов и получения количественных характеристик радиационной деструкции и структурирования в различных структурных составляющих и переходных областях полимерных композитных материалов, а также их кинетики и выявления влияния этих процессов на параметры структурно-фазовых переходов особенно перспективным представляется использование метода внутреннего трения.

Широко распространенные испытания композитов на механическую прочность, измерения их электрических, теплофизических свойств и т.п. дают лишь некоторые интегральные характеристики

радиационной стойкости композитных материалов и косвенную информацию о молекулярных процессах. Гораздо более детальные сведения об изменениях электронной и молекулярной структуры полимерных материалов можно получить с помощью таких методов, как ЭПР или ИК-спектроскопия. Однако полученные с помощью этих методов данные трудно связать с характеристиками структурно-фазовых превращений в той или иной области композита.

Существенным преимуществом экспериментального метода ВТ является его избирательность по отношению к релаксационным и гистерезисным процессам, протекающим в различных областях температур, частот колебаний и деформаций, что открывает новые возможности детального исследования пограничных эффектов взаимодействия разнородных макромолекул в композитных полимерных материалах.

В таких полимерах, как эпоксидная и фенольная смолы элементами, рассеивающими энергию механических колебаний в процессах α -релаксации, являются объемные сегменты макромолекул, способные совершать термически активированные перемещения в поле внешних напряжений. Считается, что полимер характеризуется единственным α -переходом, ответственным за стеклование. Известно, что основной α -пик обусловлен размораживанием сегментальной подвижности в полимерной матрице композита и определяет температуру перехода полимерного связующего из стеклообразного в высокоэластичное состояние. В густосшитых сетчатых полимерах, таких как фенольные и эпоксидные смолы, кинетической единицей α -процесса релаксации является некоторый микрообъем v_α , который представляет собой аналог сегмента в линейных полимерах. Поэтому под размораживанием сегментальной подвижности в таких полимерах понимается размораживание подвижности молекулярного движения микрообъема v_α как целого [7]. Радиационная деструкция приводит к увеличению числа подвижных «сегментов» и, следовательно, к пропорциональному росту высоты α -пика.

На рисунках 1–3 представлены графики зависимости внутреннего трения, измеренные через различные промежутки времени с момента окончания облучения, для следующих значений поглощенных доз: 3 МГр, 6 МГр и 9 МГр.

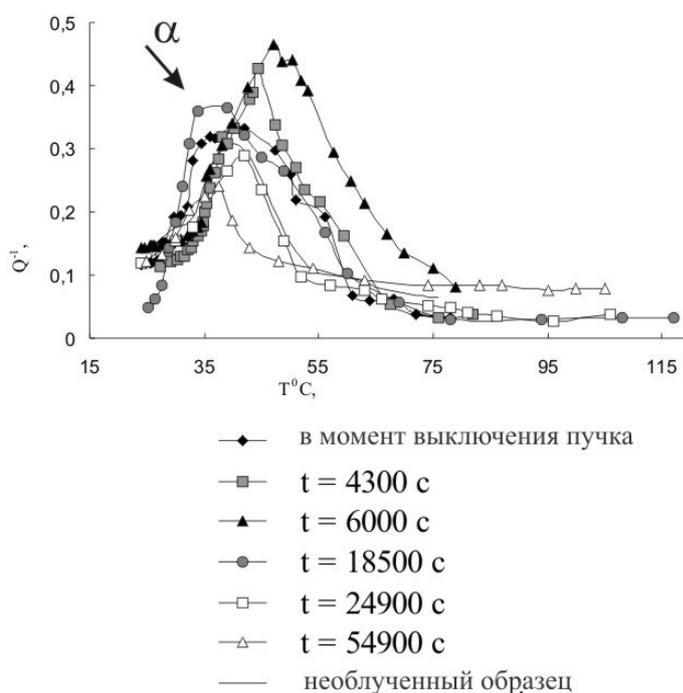


Рисунок 1. Температурная зависимость внутреннего трения в эпоксидной смоле после облучения электронами $D = 3$ МГр

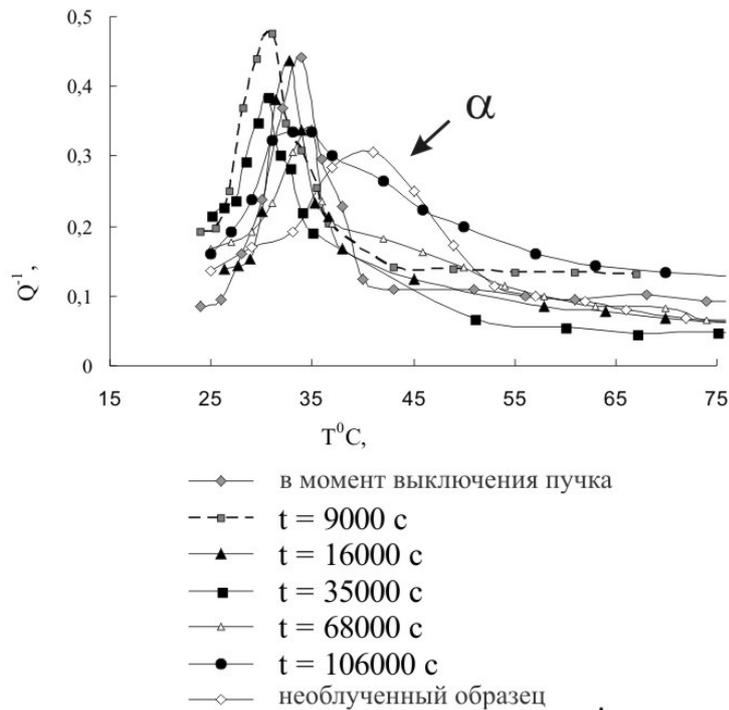


Рисунок 2. Температурная зависимость внутреннего трения в эпоксидной смоле после облучения электронами $D = 6$ МГр

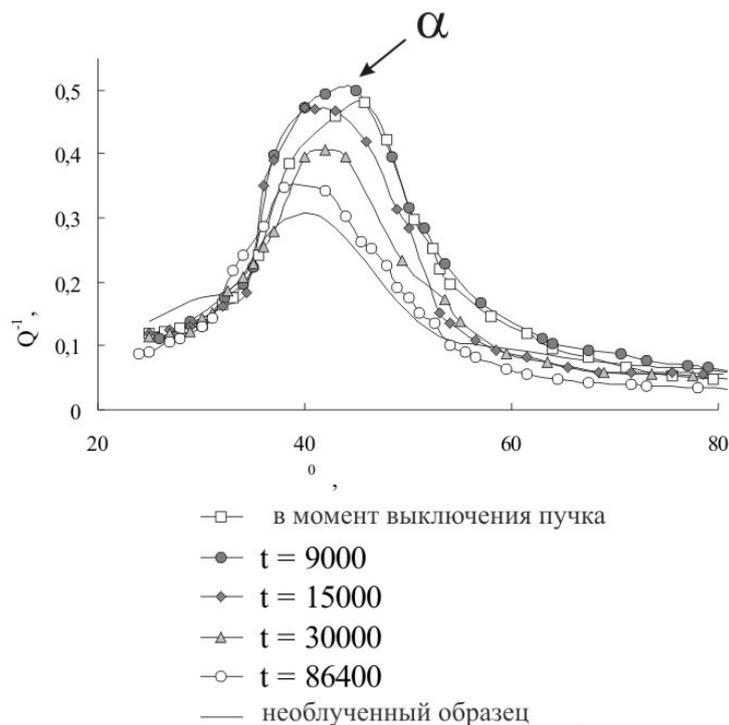


Рисунок 3. Температурная зависимость внутреннего трения в эпоксидной смоле после облучения электронами $D = 9$ МГр

Для образцов эпоксидной смолы, облученной дозой $D = 3$ МГр, на кривой, соответствующей измерению температурной зависимости внутреннего трения через $t = 4300$ с после облучения, наблюдается значительный рост высоты пика по сравнению с необлученным образцом. Через время

$t = 18500$ с с момента облучения высота пика уменьшается. Следовательно, в данном образце сначала происходили процессы деструкции, а затем деструкция сменяется сшиванием. В образцах, облученных дозой $D = 6$ МГр, происходят аналогичные процессы, и с момента времени $t = 16000$ с деструкция сменяется сшиванием.

Увеличение дозы облучения приводит к значительному уширению α -пика (рис. 3). Полуширина пика увеличивается, и появляется широкий непрерывный спектр релаксации, что говорит об усилении интенсивности межмолекулярного взаимодействия.

Литературные данные [8, 9] и проведенные измерения температурных зависимостей ВТ в «чистом» полимере показывают, что в эпоксидных смолах дополнительные пики отсутствуют, не появляются они и после облучения электронами.

Характерной закономерностью для эпоксидной смолы является первоначальный рост и последующее уменьшение степени деструкции после выключения электронного пучка. При заданной мощности дозы конечный результат радиационной обработки зависит от дозы облучения.

References

- 1 Zaykin Yu.A., Potanin A.S., Koztayeve U.P. Kinetics of radiational transformations and evolution of structural polymeric composites irradiated by electrons // KSU Messenger. Physical series. — 2001. — № 2(11) — P. 56–65.
- 2 Zaykin Yu.A., Koztaeva U.P. Non-Linear Effects in Polymer-Based Composite Materials Irradiated by High-Energy Electrons // Problems of evolution of open system. Edition 3. — Almaty: Complex, 2001. — P. 63–68.
- 3 Kien V.T., Hedvig P. Mechanical Relaxation Spectra of a Radiation Crosslinked Linear Low Density Polyethylene // Radiat. Phys. Chem. — 1990. — Vol. 36. — № 6. — P. 771–778.
- 4 Burnay S.G. Radiation-Induced Changes in the Structure of an Epoxy Resin // Radiat. Phys. Chem. — 1980. — Vol. 16. — P. 389–397.
- 5 Bronnikov S.V., Vettegren V.I., Frenkel S.Ya. Kinetics of Yung module polymer relaxation in wide diapason of temperatures // High molecular compounds A-B. — 1995. — Т. 37. — № 10. — P. 1715–1719.
- 6 Dakin V. Elastic Properties of Radiation-Crosslinked Block-Copolymers // Radiat. Phys. Chem. — 1995. — Vol. 45. — № 5. — P. 715–718.
- 7 Bartenev G.M. Structure and relaxation qualities of elastomer. — Moscow: Chemistry, 1979. — 288 p.
- 8 Zaykin Yu.A., Shirokaya N.A. Effect of Elektron Irradiation on Internal Friction and Molecular Structural Alterations in Polymer-Based Composite Materials Reinforced with Mica and Asbestos // Eurasian Chemico-Technological Journal. — 2007. — Vol. 9. — P. 47–56.
- 9 Askadskii A.A., Kondrashenko V.I. On structure of hardened phenolformaldehyd rosin // High molecular compounds A-B. — 1997. — № 10. — P. 1625–1634.

Б.А.Әлиев

Сәулеленген қатты полимерлердегі ішкі үйкеліс

Мақалада электрондық сәулелену кезіндегі құрылымдық өзгерісті ішкі үйкеліс әдісімен зерттеу мүмкіндігі келтірілген. Бұл әдістің көп ақпарат беретіндігі көрсетілген және қатты полимерлердегі деструкция және түзілу процестерінің талдауларының басқа әдістерімен салыстыру жүргізілген.

B.A. Aliev

Internal friction in irradiated hard polymer

In work is presented possibility of the study of the structured change electronic irradiation by method of internal friction. It is shown informatization given method and is undertaking comparisons with the other methods of the analysis of the processes destruction and cross-linking in hard polymer.

В.В.Архипов, А.С.Кудусов, А.А.Камрикова

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (e-mail: midav_73@mail.ru)***О соотношении волновых функций де Бройля и Шредингера**

В работе рассмотрен вопрос о соотношении теории Шредингера и релятивистской теории де Бройля. В качестве конкретного примера исследованы волновые функции свободной частицы обеих теорий. Показано, что релятивистская теория де Бройля не может быть редуцирована гладким образом на классический уровень. Исследовано поведение поверхностей постоянной фазы в предельных случаях движения наблюдателя с фазовой скоростью волны Шредингера и скоростью свободной частицы. Отмечено, что два этих случая являются дуальными по отношению друг к другу.

Ключевые слова: теория Шредингера, теория де Бройля, фазовая скорость, свободная частица, волновая функция.

Введение

В работе исследована область согласования релятивистского и классического подходов к квантованию физических систем. Согласно де Бройлю каждой частице сопоставляется некоторая монохроматическая волна

$$\psi(r, t) = C \exp i(\vec{k}\vec{r} - \omega t), \quad (1)$$

где частота ω и волновой вектор \vec{k} связаны с энергией и импульсом частицы теми же соотношениями, которые были изначально предложены для квантов света:

$$E = \hbar\omega, \quad \vec{p} = \hbar\vec{k}. \quad (2)$$

Причем энергия и импульс являются релятивистскими (m — масса покоя):

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}. \quad (3)$$

Как положительные аспекты этой теории можно отметить возможность вычисления расположения максимумов и минимумов дифракционных картин микрочастиц и объяснение устойчивости электронов на стационарных орбитах в атоме [1, 2].

Теория де Бройля получила экспериментальное подкрепление три года спустя в опытах Дэвисона и Джермера. Затем последовал ряд успешных экспериментов других исследователей.

Обобщение изначальной теории де Бройля до теории волнового пакета позволило обойти такие ее недостатки, как конфликт между бесконечностью монохроматических волн и локальностью частиц, а также сверхсветовое значение фазовой скорости. Однако трудности, связанные с расплыванием волнового пакета вследствие дисперсии его составляющих для частиц с ненулевой массой, новая — вероятностная трактовка волновых функций, предложенная М.Борном, и успехи квантовой теории Шредингера-Гейзенберга перевели теорию де Бройля в разряд «отживших».

Тем не менее проблемы, связанные с геометрической основой процедуры квантования, и неразрешённые до сих пор вопросы философского характера о сущности вещества не позволяют волновой теории материи безвозвратно уйти в прошлое. Об этом свидетельствует масса работ, посвященных альтернативным подходам к физической картине мира, например [3–5], поток которых никогда не иссякал.

Актуальность представленной работы обусловлена тем, что во всех известных нам учебниках по квантовой теории (см., напр., [1, 2, 6, 7]) математический вид волны де Бройля и ее согласие с экспериментом делегируются теории Шредингера без всяких объяснений. Однако нетрудно заметить, что соответствующие этим волнам частоты должны сильно отличаться ввиду учета в релятивистском случае энергии покоя частиц. Вследствие этого возникают вопросы о том, что происходит с геометрией волн при редукции теории де Бройля на классический уровень, почему сохраняются следствия, вытекающие из обеих теорий и можно ли найти гладкий путь деформации между этими теориями, который бы обеспечил выполнение принципа соответствия Бора?

1. Соотношение волновых функций де Бройля и Шредингера

Волновая функция свободной частицы, распространяющаяся вдоль оси x , имеет вид:

$$\psi(x,t) = A \exp \frac{i}{\hbar} \{ p_x x - Et \}, \quad (4)$$

где под p_x и E в теории де Бройля понимаются релятивистские импульс и энергия (3), или классические выражения для импульса (mv) и кинетической энергии ($mv^2/2$) в теории Шредингера. При малых скоростях выражения (3) могут быть заменены следующим приближением:

$$p_x = mv_x, \quad E = mc^2 + \frac{mv^2}{2}. \quad (5)$$

Таким образом, для нерелятивистских скоростей соотношение между волновыми функциями де Бройля и Шредингера для свободной частицы имеет вид

$$\psi_B = \psi_S \exp \frac{i}{\hbar} \{ mc^2 t \}. \quad (6)$$

Нетрудно видеть, что разница в частотах волн де Бройля и Шредингера (ω_B и ω_S , соответственно) для электрона отличается на величину

$$\omega_B - \omega_S = \frac{mc^2}{\hbar} \approx 10^{21} (c^{-1}). \quad (7)$$

2. Графическое изображение волн

Для начала рассмотрим обычную классическую плоскую волну вида

$$y = A \cos(kx - \omega t), \quad (8)$$

где y — отклонение некоторой величины от положения равновесия, A — амплитуда. Для простоты мы положили начальную фазу волны равной нулю. Уравнение плоской волны связывает между собой три меняющиеся величины: время, координату и колеблющуюся величину. Соответственно, волновой процесс может быть изображен с помощью трех двумерных графиков, попарно действующих эти параметры, как это изображено на рисунке 1.

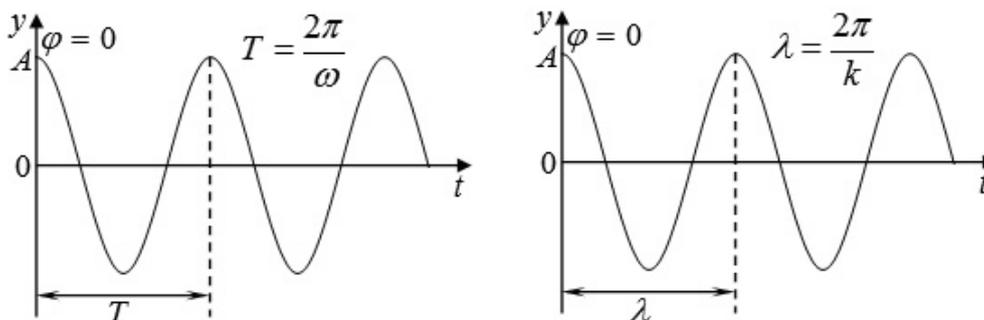


Рисунок 1. Развёртка волны во времени и в пространстве

Расстояние между точками одной фазы задается в первом случае периодом T и во втором — длиной волны λ . Наиболее интересным с точки зрения геометрии будет изображение волновых поверхностей в пространстве–времени (рис. 2). Тангенс угла наклона линий постоянной фазы дает фазовую скорость волны.

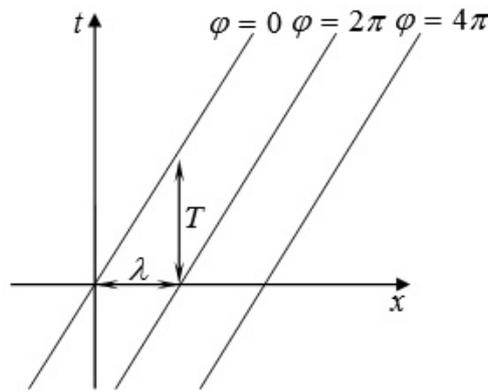


Рисунок 2. Изображение волновых поверхностей плоской волны в пространстве–времени. Вертикальная линия изображает мировую линию наблюдателя, покоящегося относительно системы координат

3. Преобразования Галилея для волнового процесса

Рассмотрим преобразования волновых поверхностей при переходе между инерциальными системами отсчета в соответствии с классическими преобразованиями Галилея:

$$x = x' + Vt'; \quad t = t', \quad (9)$$

где V — скорость подвижной системы отсчета или движущегося наблюдателя. Применяя (9) к уравнению (1), получим:

$$y = A \cos(kx' - (\omega - kV) \cdot t'). \quad (10)$$

Таким образом, частота и период для наблюдателя, движущегося вдоль волны:

$$\omega' = \omega - kV, \quad T' = \frac{2\pi}{\omega - kV} = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{T} - \frac{2\pi}{\lambda}V} = \frac{\lambda T}{\lambda - TV}. \quad (11)$$

Нетрудно видеть, что период колебаний в системе отсчета, двигающейся в том же направлении, что и волна, становится больше ($T' > T$), а длина λ оказывается инвариантом, как это проиллюстрировано на рисунке 3.

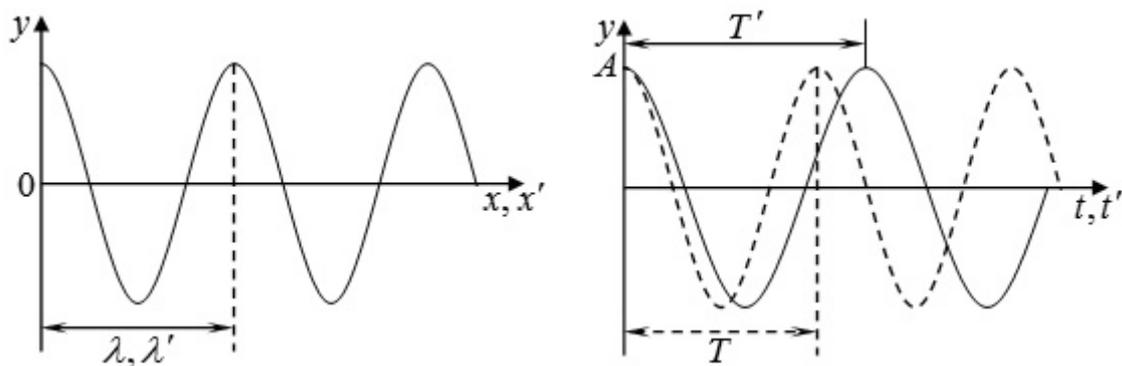


Рисунок 3. Соотношение между периодами и длинами волн в двух инерциальных системах отсчета

Волновые поверхности также изменяются, а именно: нетрудно видеть, что переход в сопутствующую волне систему координат приводит к уменьшению их наклона. Действительно, чем ближе скорость наблюдателя к фазовой скорости волны, тем меньше будет относительная фазовая скорость (рис. 4). При достижении наблюдателем фазовой скорости волны вид поверхностей постоянной фазы превращается в вертикальный «частокол».

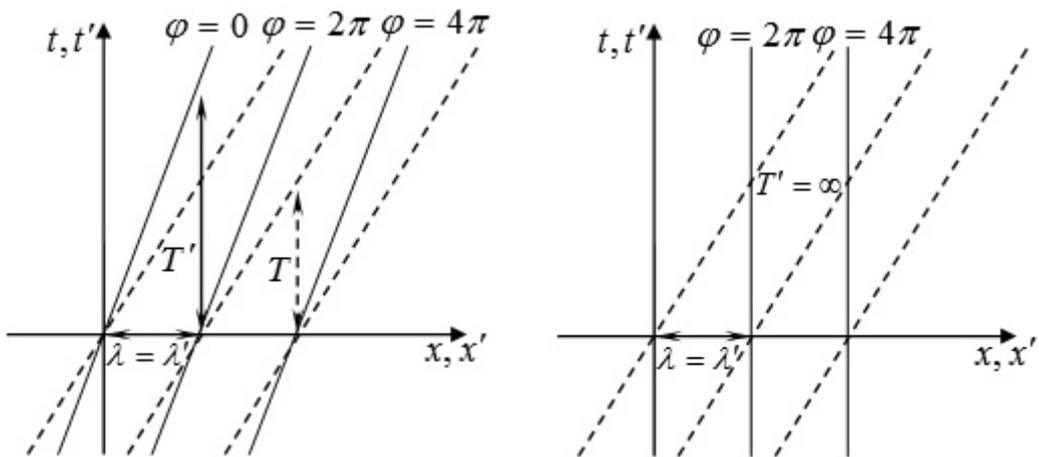


Рисунок 4. Изменение вида волновых поверхностей постоянной фазы в зависимости от выбора системы отсчета. Пунктиром указаны поверхности для лабораторной системы отсчета. Справа — предельный случай сопровождения волны наблюдателем

То есть наблюдатель сопровождает гребни волн и колебательный процесс относительно него является застывшим во времени. Волновое уравнение (8) вырождается при этом в уравнение гармонической пространственной гребенки (рис. 5).

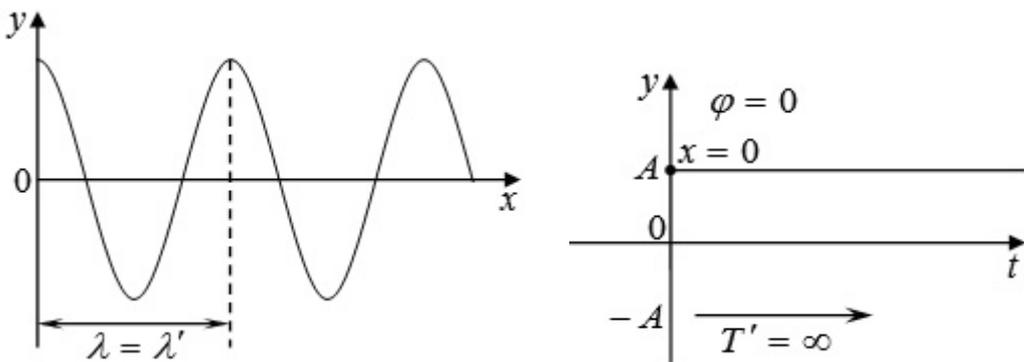


Рисунок 5. Профиль «гармонической гребёнки». Справа — вырождение колебаний во времени при движении наблюдателя с фазовой скоростью волны

4. Описание волновых процессов в релятивистском случае

Уравнение плоской монохроматической волны вида (8) имеет очень симметричный характер в духе специальной теории относительности. Пространственная координата и время входят в уравнение ковариантным образом. Коэффициенты — волновое число и циклическая частота — задаются формулами одного вида:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}. \tag{12}$$

Можно ожидать, что фаза такой волны будет инвариантна относительно преобразований Лоренца. Учитывая, что в формализме специальной теории относительности k, ω образуют 4-ковектор $(\omega/c, \vec{k})$, можно применить преобразования Лоренца вида

$$x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}, \quad t = \frac{t' + \frac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}, \quad \omega = \frac{\omega + Vk'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}, \quad k = \frac{k' + \frac{V}{c^2}\omega'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}. \tag{13}$$

Применяя формулы (13) к фазе волнового уравнения (1), нетрудно убедиться, что фаза плоской монохроматической волны ковариантна, т.е. сохраняет свой вид во всех инерциальных системах отсчета.

Если фазовая скорость волны меньше скорости света, то может быть рассмотрен случай, когда наблюдатель движется совместно с волной. Такая ситуация была рассмотрена выше в классическом формализме, и там не возникало каких-либо проблем ввиду отсутствия запретов на скорости переноса энергии и информации. В релятивистском же случае такой запрет существует и должен быть принят во внимание.

Пусть скорость движущейся системы отсчета совпадает с фазовой скоростью волны, т.е.

$$V = v_{\text{фаз.}} = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T}. \quad (14)$$

Из (13) и (14) следует, что (эти «особые» параметры пометим нулем):

$$\omega_0 = 0, \quad k_0 = k \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{kc}\right)^2} \quad \text{или} \quad T_0 = \infty, \quad \lambda_0 = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{cT}\right)^2}}. \quad (15)$$

Таким образом, при совпадении скорости наблюдателя с фазовой скоростью волны период волны обращается в бесконечность, так же как это имеет место в классическом случае, а длина волны принимает свое максимальное значение (рис. 6). Нетрудно показать, что «собственные» волновое число k_0 и длина волны λ_0 являются инвариантами относительно преобразований (13). Действительно, из (15) следует, что

$$(\omega/c)^2 - k^2 = -k_0^2, \quad (16)$$

что автоматически подразумевает инвариантность k_0 . Картина поверхностей постоянной фазы схожа с картиной для классического случая. Однако из-за неабсолютности длины волны «частокол» поверхностей становится более разреженным, как это показано на рисунке 6.

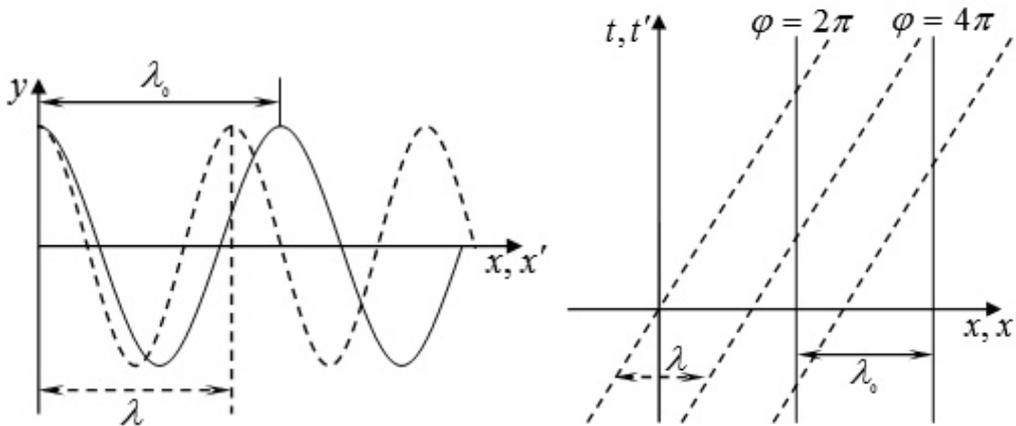


Рисунок 6. Волна, покоящаяся относительно наблюдателя, имеет максимальную длину. Пунктиром показаны профиль волны и поверхности постоянной фазы в лабораторной системе отсчета или в классической теории

5. Волны де Бройля

Перед рассмотрением геометрических аспектов волн де Бройля отметим ряд соотношений, которые лежат в основе его релятивистской квантовой теории, для начала — основное уравнение релятивистской динамики:

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4.$$

Введем частоту ω_0 , соответствующую энергии покоя mc^2 , тогда уравнение с учетом (2) примет вид:

$$\omega^2 - k^2 c^2 = \omega_0^2 \quad \text{или} \quad \frac{1}{T^2} - \frac{c^2}{\lambda^2} = \frac{1}{T_0^2}. \quad (17)$$

Будем называть ω_0 собственной частотой, $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ — собственным периодом. Так как фазовая скорость волн де Бройля больше скорости света, не может рассматриваться вопрос о виде этой волны в системе отсчета, имеющей скорость, равную фазовой. Однако в этом случае можно рассмотреть вопрос о системе отсчета, в которой покоится частица, соответствующая волне де Бройля. Положим импульс частицы равным нулю. Тогда ее длина, длина волны, согласно соотношениям Эйнштейна, обращается в бесконечность, а период становится равным собственному периоду (рис. 7).

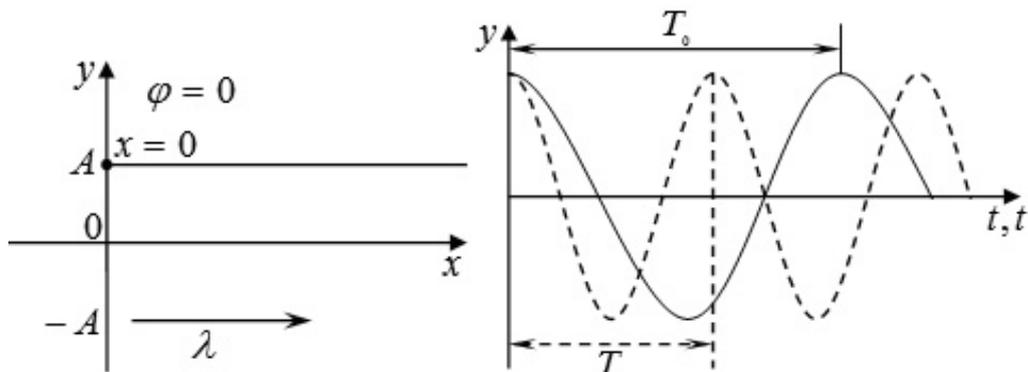


Рис. 7. Длина волны де Бройля покоящейся частицы обращается в бесконечность. Значение колеблющегося параметра в волне де Бройля колеблется с собственным периодом — максимальным из возможных для данной частицы

Отметим, что собственный период является максимальным из возможных для данной частицы, что следует из (17). Картина распределения поверхностей постоянной фазы принимает вид как на рисунке 8.

Сравнивая этот вид со случаем, изображенным на рисунке 6, нетрудно заметить существование симметрии между системами отсчета, двигающимися с фазовой скоростью волны для времени-подобных фазовых поверхностей, и системами отсчета, двигающимися со скоростью частицы для пространственно-подобных фазовых поверхностей волн де Бройля.

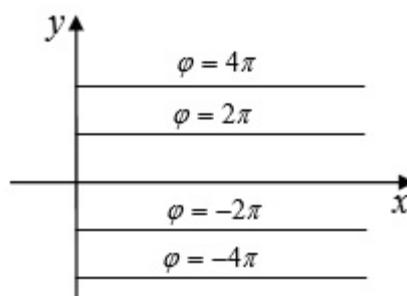


Рис. 8. Картина распределения поверхностей постоянной фазы для волн с фазовой скоростью больше скорости света

То есть можно говорить о существовании взаимосвязи и симметрии между фазовой скоростью волны и скоростью соответствующей ей частицы. Отметим, что обе эти характерные скорости вычисляются схожим, но взаимнообратным образом:

$$v_{\text{фаз}} = \frac{\omega}{k}, \quad v_{\text{част}} = \frac{kc^2}{\omega}.$$

Таким образом,

$$v_{\text{фаз}} v_{\text{част}} = \frac{\omega}{k} \frac{kc^2}{\omega} = c^2.$$

Учитывая, что v/c трактуется в специальной теории относительности как тангенс угла наклона мировой линии [8], мы получаем, что

$$\frac{v_{\text{фаз}}}{c} \cdot \frac{v_{\text{част}}}{c} = 1,$$

и, следовательно, угол между мировой линией частицы и поверхностью постоянной фазы или волны де Бройля должен пониматься как прямой угол.

Заключение

Наблюдаемые экспериментально следствия квантованности микромира связаны со значением соответствующей частице длины волны. Последняя же имеет одинаковое значение для обеих сравниваемых теорий, что объясняет одинаковость их предсказаний.

В то же время фазовая скорость волны Шредингера меньше скорости света, а волны де Бройля — больше. Сравнение этих двух случаев было подробно разобрано в настоящей работе.

При исследовании поведения уравнения одномерной монохроматической волны относительно преобразований Лоренца было показано, что фаза такой волны является ковариантным объектом, не изменяющим своего вида в различных инерциальных системах отсчета. Переход между инерциальными системами отсчета приводит к вращению картины поверхностей постоянной фазы в полном соответствии с геометрической интерпретацией эффектов специальной теории относительности. В случае предельного перехода к системе отсчета, двигающейся с фазовой скоростью волны, для случая, если эта скорость не превышает скорости света, наблюдаемая картина в общих чертах совпадает с предсказаниями классической теории, за исключением увеличения длины волны, не являющегося значительным в классическом пределе.

В результате исследования геометрии волн де Бройля в зависимости от скорости наблюдателя по отношению к скорости соответствующей элементарной частицы выяснено, что скорость частицы имеет аналогичный смысл предельной скорости, как для волн с времениподобными поверхностями постоянной фазы. Принципиальным отличием является то, что при этой скорости вырождению подвержен не период, как это имеет место при движении совместно с волной, а длина волны. То есть длина волны обращается в бесконечность.

Интересным фактом является взаимная перпендикулярность фазовой скорости волны де Бройля и скорости частицы.

При попытке гладко деформировать релятивистскую волну де Бройля, имеющую фазовую скорость больше скорости света в вакууме, в волну теории Шредингера, имеющую скорость меньше предельной скорости, нужно гладко менять фазовую скорость волны, проведя ее через световой барьер. При этом длина или период каждой из волн вырождаются и обратятся в бесконечность, т.е. будет иметь место разрыв в волновых параметрах.

Таким образом, для квантовых теорий переход от релятивистской квантовой теории к классической носит скачкообразный характер.

References

- 1 Sokolov A.A., Loskutov Yu.M., Ternov I.M. Quantum mechanics. — М.: Prosveschenie, 1961. — 638 p.
- 2 Blokhincev D.I. Foundations of quantum mechanics. — М.: Nauka, 1983. — 664 p.
- 3 Zheng-Johansson J.X. Internally Electrodynamical Particle Model: Its Experimental Basis and Its Predictions // arXiv:0812.3951v1 [physics.gen-ph] 22 Dec 2008.
- 4 Pouria Pedram. An approach to construct wave packets with complete classical-quantum correspondence in non-relativistic quantum mechanics // arXiv:0810.3382v2 [quant-ph] 27 Jan 2009.
- 5 Babin A. and Figotin F. Wave-corpuscle mechanics for elementary charges // arXiv:0812.2686v1 [physics.class-ph] 14 Dec 2008.
- 6 Elyutin P.V., Krivchenkov V.D. Quantum mechanics. — М.: Nauka, 1976. — 333 p.
- 7 Landau L.D., Lifshits E.M. Theoretical physics. Vol.3. Quantum mechanics (non relativistic theory). — М.: PhysMathLit, 2001. — 808 p.
- 8 Landau L.D., Lifshits E.M. Theoretical physics. Vol. 3. Field theory. — М.: PhysMathLit, 1988. — 510 p.

В.В.Архипов, А.С.Кудусов, А.А.Камрикова

Де Бройль және Шредингер толқындық функцияларының қатынастары туралы

Мақалада Шредингер теориясы мен де Бройльдің релятивистік теориясының қатынасы туралы сұрақтар қарастырылған. Нақты мысал ретінде екі теорияның еркін бөлшектерінің толқындық функциясы зерттелген. де Бройльдің релятивистік теориясы үздіксіз түрде классикалық деңгейге редуцирленбейтіндігі, сонымен қатар бақылаушының Шредингер толқынның фазалық жылдамдығы және еркін бөлшектің жылдамдығымен қозғалысының ерекше жағдайындағы тұрақты фаза беттерінің сипаты зерттеліп, осы екі жағдай дуальды болатындығы көрсетілген.

V.V.Archipov, A.S.Kudussov, A.A.Kamricova

About the correlations between wave functions of de Broglie and Schrödinger

There is considered the question about correlations between the Schrödinger's theory and the relativistic theory of de Broglie in the present work. As the concrete example the wave functions of a free particle are researched for both theories. It is shown that the relativistic de Broglie's theory cannot be reduced to classical level in continual way. In the article, the behavior of the constant phase surfaces is researched for special cases of the observer movements with phase velocity of Schrödinger's wave and the free particle velocity. It is shown that both cases are dual to each other.

Е.К.Жумадилов, З.Ф.Мурашова

Карагандинский государственный технический университет (E-mail: z.murashova@mail.ru)

Электрофизические свойства феррита $GdCaFe_2O_{5,5}$

Проведено исследование электрофизических свойств двойного феррита $GdCaFe_2O_{5,5}$. Исследования зависимости электрофизических свойств полученного феррита от температуры показали, что в интервалах 303–383 К и 413–493 К характер электропроводности полупроводниковый, при 383–413 К — металлоподобный. С помощью схемы Сойера-Тауэра на осциллографе С1–83 наблюдалась петля электрического гистерезиса. Определены параметры петли: максимальная и остаточная поляризации, коэрцитивная сила. Отмечено, что проведенный анализ результатов позволяет утверждать: синтезированное соединение можно отнести к сегнетоэлектрикам — полупроводникам с размытым фазовым переходом.

Ключевые слова: ферриты, электрофизические свойства, электропроводность, электрический гистерезис, поляризация, фазовый переход.

Сложные оксидные соединения РЗЭ обладают уникальным сочетанием физических и физико-химических свойств, которые могут найти широкое применение в современной микроэлектронике и многих областях новой техники при создании материалов многофункционального назначения [1]. Наличие указанных свойств объясняется тем, что спиновые и орбитальные моменты ионов РЗЭ с незаполненными 4 *f*-оболочками не скомпенсированы и при определенной температуре наступает упорядочение [2]. Но главным достоинством таких соединений является то, что за счет наличия в них сильного *f-d*-обменного взаимодействия носителей тока с магнитной подсистемой удается управлять электрическими свойствами материала с помощью магнитного поля и, наоборот, влиять на магнитную систему кристалла, изменяя концентрацию носителей тока. Таким образом, открываются принципиально новые возможности для практического применения редкоземельных магнитных полупроводников в современной электронной технике [3]. Определенный интерес вызывают синтез и исследование электрофизических свойств ферритов щелочноземельных металлов и РЗЭ, в которых часть дорогостоящего РЗЭ заменена на более дешевые щелочноземельные металлы. При этом электрофизические свойства новых ферритов имеют более перспективные характеристики.

Цель настоящей работы — исследование электрофизических характеристик феррита $GdCaFe_2O_{5,5}$.

Исследуемый феррит $GdCaFe_2O_{5,5}$ синтезирован по керамической технологии из соответствующих оксидов Gd и Fe(III) и $CaCO_3$ в лаборатории физико-химических исследований АО «Научно-производственный центр «Фитохимия»» [4].

Для исследований электрофизических свойств $GdCaFe_2O_{5,5}$ в зависимости от температуры в диапазоне от 303 К до 493 К применяли двухэлектродную систему с контактами на всей рабочей поверхности, полученную вжиганием серебряной пасты. Образцы имели вид запрессованных плоскопараллельных дисков диаметром 10 мм, которые в последующем обжигали в печи с силитовыми нагревателями. Нагревательное устройство для получения нужной температуры представляло собой специальную печь цилиндрической формы для равномерного нагрева рабочего объема, скорость нагрева составляла ~5 К/мин. Температуру измеряли хромель-алюмелевой термопарой. Для исследований использовалась мостовая схема на рабочей частоте 1 кГц. Диэлектрическую проницаемость определяли по электрической емкости конденсатора с исследуемым соединением. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунках 1–2.

Из графика температурной зависимости диэлектрической проницаемости виден нелинейный характер $\varepsilon(T)$ в исследуемом температурном диапазоне с аномальными эффектами. Максимум диэлектрической проницаемости ($\varepsilon = 1160$) наблюдается в области температур от 383 до 413 К, т.е. отмечается ее размытие. Такое размытие отмечалось в ранних работах [5, 6] при исследованиях физических свойств поликристаллических образцов твердых растворов $Ba(Ti, Sn)O_3$ при больших содержаниях $BaSnO_3$. Данный аномальный эффект можно отнести к сегнетоэлектрическому фазовому переходу. Сегнетоэлектрическое состояние исследуемого соединения подтверждается хорошо выраженной петлей гистерезиса, что будет отражено ниже.

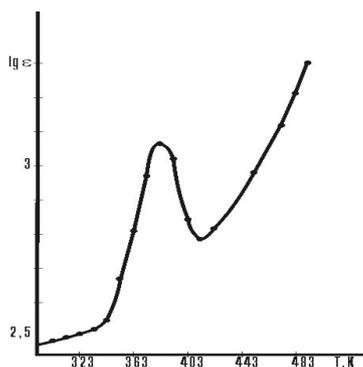


Рисунок 1. Зависимость диэлектрической проницаемости $GdCaFe_2O_{5.5}$ от температуры

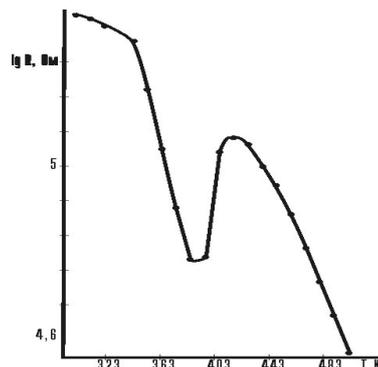


Рисунок 2. Зависимость сопротивления $GdCaFe_2O_{5.5}$ от температуры

В более поздних работах [7] обнаружено большое число сегнетоэлектриков с размытым фазовым переходом: твердые растворы титаната висмута в титанате стронция, многие сложные соединения и твердые растворы со структурой типа перовскита. Внимательное рассмотрение этих веществ и исследуемого в этой работе соединения позволяют выделить общую черту их строения — наличие ионов разного типа в одинаковых кристаллографических положениях. Предположение о возможности статистического распределения разных ионов позволило сделать допущение о возможности существования «замороженных» флуктуаций состава, которые приводят к размытию сегнетоэлектрического фазового перехода и к релаксационному характеру диэлектрической поляризации.

В работе [8] размытые сегнетоэлектрические фазовые переходы рассматриваются как состоящие из двух этапов: накопление областей новой сегнетоэлектрической фазы и образование бесконечных сегнетоэлектрических кластеров. Образование кластеров происходит или под действием электрического поля, или спонтанно, под действием механических напряжений, накопившихся в деформированных параэлектрических прослойках. Каждый из кластеров служит своего рода основой, зародышем образующегося домена. Таким образом, качественно кинетику такого размытого фазового перехода, λ-образной зависимости диэлектрической проницаемости от температуры, наблюдаемой нами в изучаемом соединении, можно представить следующим образом. Пусть температура будет значительно выше средней температуры Кюри T_{cp} , но ниже, чем локальная температура Кюри T_l . Тогда на участках с максимальными T_l возникают зародыши сегнетоэлектрической фазы, т.е. образуются полярные области, окруженные неполярной фазой с меньшей локальной температурой Кюри.

Пока температура относительно высока, полярных областей мало, и они удалены друг от друга на большие расстояния, так что силами взаимодействия можно пренебречь. При снижении температуры происходит два процесса: разрастание уже имеющихся полярных областей за счет прилегающих к ним участков параэлектрической фазы и появление новых полярных областей. По мере уменьшения расстояния между этими областями взаимодействие усиливается. При этом между различно ориентированными полярными областями остаются прослойки параэлектрической фазы. Такого рода прослойки препятствуют слиянию полярных областей в бесконечный сегнетоэлектрический кластер с единым направлением вектора спонтанности поляризации.

При $T = T_{cp}$ (в области размытого перехода), где объем сегнетоэлектрической и параэлектрической фаз одинаков, домен можно представить как некое сложное переплетение двух взаимно проникающих, сильно разветвленных кластеров сегнетоэлектрической и параэлектрической фаз. При температуре ниже T_{cp} доменная структура разрастается постепенно на весь кристалл, но с сохраняющимися неполярными островками, число которых постепенно снижается, по мере сохранения и удаления от T_{cp} .

При таком рассмотрении размытого фазового перехода мы сталкиваемся с важной ролью гетерофазных флуктуаций. При температуре образца выше температуры какого-либо участка кристалла в стабильном параэлектрическом состоянии под действием тепловых флуктуаций время от времени возникает спонтанная поляризация (сегнетоэлектрическая фаза). Эта флуктуация тем реже, чем больше разность температур, т.е. спонтанная поляризация стабилизируется.

Наличие аномалий обнаруживается и при рассмотрении температурной зависимости электропроводности (сопротивления) исследуемого соединения (рис.2). Температурный интервал фазового перехода такой же, как и для температурной зависимости диэлектрической проницаемости, имеет

черты фазового перехода первого рода. (Последнее будет являться предметом отдельной публикации авторов данной работы.)

В монографии К.Окадзаки «Технология керамических диэлектриков» [9] приведены данные по характеристике области Кюри для ряда керамических сегнетоэлектриков. В частности, для титаната бария нижняя T_H и верхняя T_B границы области Кюри составляют 385,2 К и 403,3 К соответственно. Титанат бария-стронция $T_H = 226$ К, $T_B = 291$ К; титанат бария-свинца $T_H = 491$ К, $T_B = 518$ К; титанат бария-кальция $T_B - T_H = (10 \div 15)$ К, метаниобат свинца $T_H = 841$ К, $T_B = 869$ К. Такую аномалию характеризует скачок электропроводности в точке перехода (причем электропроводность при переходе из сегнетоэлектрической в смежную с ней параэлектрическую фазу уменьшается).

В приведенной зависимости сопротивления от температуры для керамики $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$ можно отметить четыре области, в которых характер электропроводности различен. Так, в частности, рост электропроводности (уменьшение сопротивления) наблюдается в интервалах 303–343 К, 343–383 К и 413–493 К, причем характер электропроводности различный. Указанная зависимость характерна для полупроводниковых материалов, т.е. образец, по-видимому, относится к сегнетоэлектрикам-полупроводникам.

Расчет ширины запрещенной зоны проводился следующим образом.

Формула для температурной зависимости электропроводности полупроводников имеет вид

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right). \quad (1)$$

Как известно, сопротивление определяется по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma S}, \quad (2)$$

где ρ — удельное сопротивление; l и S — длина и площадь поперечного сечения образца соответственно. Подставив значение σ из выражения (1) в (2), получим:

$$R = \frac{l}{\sigma_0 S} \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right). \quad (3)$$

Введя обозначение $R_0 = \frac{l}{\sigma_0 S}$, окончательно получим:

$$R = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right). \quad (4)$$

Формула (4) лежит в основе одного из методов определения ширины запрещенной зоны полупроводников.

После логарифмирования формулы (4) получаем:

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2kT}. \quad (5)$$

Запишем это выражение для температур T_1 и T_2 , обозначив соответствующие им сопротивления R_1 и R_2 :

$$\ln R_1 = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2kT_1}; \quad \ln R_2 = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2kT_2}. \quad (6)$$

Вычитая второе равенство из первого и исключая R_0 , получим:

$$\ln R_1 - \ln R_2 = \frac{\Delta E}{2k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \frac{\Delta E (T_2 - T_1)}{2kT_1 T_2}. \quad (7)$$

Из последнего выражения имеем ΔE :

$$\Delta E = \frac{2kT_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2} = \frac{2kT_1 T_2}{0,43(T_2 - T_1)} \lg \frac{R_1}{R_2}. \quad (8)$$

Рассчитанная нами ширина запрещенной зоны составляет: для интервала 303–343 К — 0,27 эВ, 343–383 К — 2,86 эВ, 413–493 К — 2,45 эВ. Таким образом, относительно устойчивая сегнетоэлектрическая фаза в области 303–343 К переходит в параэлектрическую с ростом ширины запрещенной зоны более чем в десять раз. В области более высоких температур (413–493 К) переход из пара в сегнетоэлектрическую фазу заметно ниже. Возможно, это объясняется отмеченной выше тепловой

флуктуацией. Можно предположить, что метастабильное состояние в сегнетоэлектрической фазе в области 343–383 К выше, чем в области 413–493 К.

Резкий скачок в характере электропроводности наблюдается при 383 К. Образец при этом от полупроводникового характера резко переходит к метастабильному. Наблюдаемый рост сопротивления характеризуется положительным температурным коэффициентом сопротивления, равным $0,05 \text{ K}^{-1}$. Аномальная электропроводность при 383 К для $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$ свидетельствует о возможном при этой температуре фазовом переходе. Скачкообразный характер этой аномалии существенно увеличивает вероятность наличия именно фазового перехода.

По определению сегнетоэлектриками называется группа кристаллических диэлектриков, обладающих в определенном интервале температур самопроизвольной (спонтанной) поляризацией, которая сильно изменяется под влиянием внешних воздействий — электрического поля, деформации, изменения температуры. Поляризация сегнетоэлектрического образца во внешнем электрическом поле состоит, во-первых, в смещении границ доменов и росте размеров тех доменов, векторы электрических моментов которых близки по направлению к напряженности внешнего поля, и, во-вторых, в повороте электрических моментов доменов по полю. В достаточно сильном поле достигается состояние насыщения, когда весь образец однородно поляризован по полю и его поляризованность не изменяется при дальнейшем увеличении напряженности внешнего поля. Одна из самых важных отличительных характеристик сегнетоэлектриков — явление диэлектрического гистерезиса. Наличие петли гистерезиса, описывающей зависимость между электрической индукцией и напряженностью электрического поля на образце, обнаружено у исследуемого образца $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$. Наиболее распространенный способ основан на получении с помощью схем Сойера-Тауэра петли гистерезиса. Хорошо наблюдаемая на осциллографе С1–83 петля гистерезиса нами была получена (рис. 3).

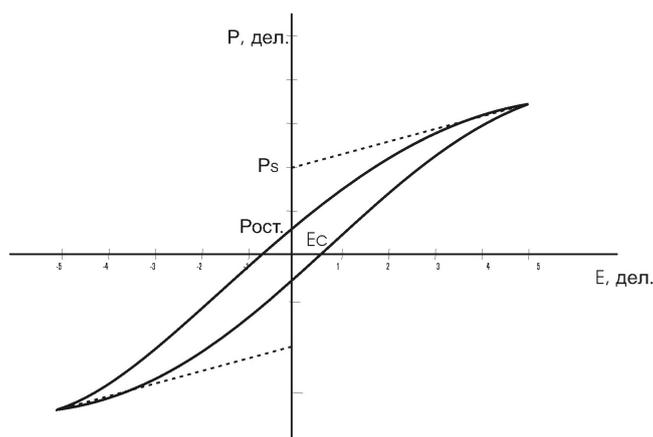


Рисунок 3. Петля диэлектрического гистерезиса $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$

Основные её параметры следующие: найденная по насыщению величина поляризации составляет $0,15 \text{ мкКл/см}^2$ (P_s) при напряжённости $E = 1,7 \text{ кВ/см}$; остаточная поляризация $P_{ост} = 0,025 \text{ мкКл/см}^2$, коэрцитивная сила $E_c = 0,02 \text{ кВ/см}$. Таким образом, то, что исследуемый образец представляет собой сегнетоэлектрик, не вызывает сомнений. Исследована динамика петли гистерезиса при нагревании образца $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$, т.е. температурные зависимости $P_s(T)$ и $E_c(T)$. Отмечено, что, начиная с 380 К, петля вырождается в прямую линию, т.е. происходит переход вещества из сегнетоэлектрической в параэлектрическую фазу. При температурах выше 413 К наблюдалась двойная петля, что, по-видимому, свидетельствует об образовании антисегнетоэлектрической фазы.

References

- 1 Nabokov M.N., Shevchenko V.J. Structure and properties of thin films on the basis of connections of rare-earth metals // Magazine of the All-Union chemical society of D.I.Mendeleyev. — 1981. — Vol. 36. — № 6. — P. 31–39.
- 2 Zhuze V.P. Optical properties of rare-earth semiconductors // Magazine of the All-Union chemical society of D.I.Mendeleyev. — 1981. — Vol. 36. — № 6. — P. 95–102.

- 3 *Smirnov I.A.* Rare-earth semiconductors — a prospects of the development and using // Magazine of the All-Union chemical society of D.I.Mendeleyev. — 1981. — Vol. 36. — № 6. — P. 2.
- 4 *Kasenov B.K., Sergazina S.M., Mustafin E.S. et al.* Radiographic research $\text{GdMe}^{\text{II}}\text{Fe}_2\text{O}_{5,5}$ (Me^{II} — Mg, Ca, Sr, Ba) // Chemical magazine of Kazakhstan. — 2006. — № 2. — P. 39—41.
- 5 *Smolenskiy G.A., Bokov V.A., Isupov V.A.* The crystals possessing simultaneously electric and magnetic streamlining. — Rostov: Publishing house of the Rostov university, 1968. — P. 129—154.
- 6 *Tomashpolskiy J.J., Venetsev J.N., Zhdanov G.S.* To question about intercoupling person dielectric and magnetic characteristic in segnetomagnetics // ZHTEV. — 1964. — Vol. 46. — № 5. — P. 1921—1923.
- 7 *Levanjuk A.P., Sannikov D.G.* Nesobstvennye ferroelectrics // The successes of the physical sciences. — 1974. — Vol. 112. — № 4. — P. 561—589.
- 8 *Venetsev J.N., Muromtsev V.I., Solovaev S.P.* Finding to correlations between person warm-up point and system energy level material // DAS USSR. — 1976. — Vol. 230 — № 1. — P. 121—124.
- 9 *Okadzaki K.* Technology of ceramical dielectrics — M.: Energy, 1976. — 441 p.

Е.К.Жұмадилов, З.Ф.Мұрашова

$\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$ ферриттің электрофизикалық қасиеттері

Қосарланған ферриттің $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$ электрофизикалық қасиеттеріне зерттеу жүргізілді. Ферриттің электрофизикалық қасиеттерінің температуралы тәуелділігін зерттеу оның 303–383 К және 413–493 К аралығындағы электрөткізгіштігі жартылай өткізгіштік, ал 303–413 К аралығында металға ұқсас сипатта болатыны көрсетілді. Сойер-Тауэр сұлбасы көмегімен С1-83 осциллографта электрлік гистерезис тұзағы бақыланды. Тұзақтық өлшемдерінің: ең үлкен, қалдық поляризациясы, коэрцитивтік күші анықталды. Алынған нәтижеге жүргізілген талдау синтезделген қосылысты сегнетоэлектрикке, фазалық ауысуын көмескі жартылайөткізгішке жатқызуға болатындығын дәлелдеді.

E.K.Zhymadilov, Z.F.Murashova

Electrophysical properties ferrite $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$

Investigation of electro-physical properties of double ferrite $\text{GdCaFe}_2\text{O}_{5,5}$ has been conducted. The exploration of the dependence of electro-physical properties obtained ferrite on temperature showed within interval of 303–383K and 413–493K the character of electro-conductivity is semiconductive. At 383–413K is metal like. With the help of S-Tower scheme in oscillographe C1-83 the loop of electrical hysteresis was noticed. The loop parameters were determined: maximum and residual polarizations, coercive force. The results of the conducted analyses permit to state that synthesis connection may be referred to segneto-electrical-semiconductors with indefinite transition.

М.К.Мырзахмет

Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана (e-mail: myrzakmet@mail.ru)

Исследование экситон-фононного взаимодействия методом двухчастичных функций Грина

Рассмотрена система с малой концентрацией экситонов в пренебрежении экситон-экситонным взаимодействием. Использован переход от ферми-операторов вторичного квантования электронов и дырок в бозе-функционалы экситонов. Исследовано экситон-фононное взаимодействие. Получены аналитические выражения для вывода основных термодинамических величин.

Ключевые слова: экситон, экситон-экситонное взаимодействие, концентрация, ферми-оператор, вторичное квантование, функционал.

Гамильтониан электрон-фононной системы с кулоновским взаимодействием можно представить в следующем виде:

$$H = H_0 + H_{\text{int}}; \quad (1)$$

$$H_0 = \sum_k E(k) a_k^+ a_k + \sum_q \omega(q) b_q^+ b_q; \quad (2)$$

$$H_{\text{int}} = \sum_{qk} g(q) \sqrt{\frac{\omega(q)}{2V}} a_{k+q}^+ a_k \left(b_q + b_{-q}^+ \right) + \frac{1}{2V} \sum_{qk_1 k_2, q+0} v(q) a_{k_1+q}^+ a_{k_2-q}^+ a_{k_2} a_{k_1}. \quad (3)$$

Здесь a_k^+ и a_k — операторы рождения и уничтожения электрона с импульсом k ; b_q^+ и b_q — операторы рождения и уничтожения фонона с импульсом q .

Перейдем от истинного гамильтониана (1–3) к приближенному модельному гамильтониану Савады-Вентцеля-Боголюбова [1]. При переходе надо, прежде всего, использовать частично-дырочное представление электронных полевых операторов в исходном гамильтониане взаимодействия и затем отобразить в нем слагаемые, выражаемые только через операторные комбинации $a_{p+q}^+ c_q^+$ и $c_p a_{p+q}$, где a_{p+q} — частичный оператор; c_q — частичный электронный оператор. Эти операторные комбинации заменим на новые бозе-операторы $\beta_{-q}^+(p)$ и $\beta_q(p)$. Нулевой гамильтониан нужно тоже изменить, рассматривая вместо него другой нулевой гамильтониан идеальной системы бозонов $\beta_{-q}^+(p)$, $\beta_q(p)$ с энергиями $\omega_q(p) = E(p+q) - E(p)$. Таким образом, из (3) получаем, считая, что

$$a_k = a_k \quad \text{при } |k| > k_F, \quad a_k = c_k^+ \quad \text{при } |k| < k_F, \quad (4)$$

где k_F — импульс Ферми, следующее выражение для приближенного модельного гамильтониана Савады-Вентцеля-Боголюбова:

$$\begin{aligned} \Omega = & \sum_{pq} \omega_q(p) \beta_{-q}^+(p) \beta_q(p) + \sum_q \omega_q b_q^+ b_q + \\ & + \frac{9}{\sqrt{2V}} \sum_{pq} \sqrt{\omega_q} \left\{ \beta_{-q}^+(p+q) \beta_q^+(p) b_q + \beta_q(p-q) b_q^+ + \beta_{-q}^+(p) b_q^+ \right\} + \\ & + \frac{1}{2V} \sum_q v(q) \sum_{p_1 p_2} \left\{ \beta_{-q}^+(p_1+q) \beta_q^+(p_1-q) + \beta_q(p_1) \beta_{-q}(p_2) + \beta_q(p_1) \beta_{-q}^+(p_2-q) + \beta_{-q}^+(p_1+q) \beta_{-q}(p_2) \right\}. \quad (5) \end{aligned}$$

Здесь $\omega_q(p) = \omega(q)$ и операторы $\beta_{-q}^+(p)$, $\beta_q(p)$ являются обычными бозевскими операторами, порождающими и уничтожающими частично-дырочные пары в рассматриваемой нами электрон-фононной системе с кулоновским взаимодействием.

Рассмотрим систему с малой концентрацией экситонов и пренебрежем экситон-экситонным взаимодействием. В этом случае гамильтониан (5) приобретает вид

$$\Omega = \sum_{pq} \omega_q(p) \beta_q^+(p) \beta_q(p) + \frac{9}{\sqrt{2V}} \sum_{pq} \sqrt{\omega_q} \left\{ \beta_{-q}^+(p+q) \beta_q + \beta_q^+(p) b_q + \beta_q(p-q) b_q + \beta_{-q}(p) b_q^+ \right\}. \quad (6)$$

Нам необходимо найти вид двух запаздывающих функций Грина: экситонных « $\beta_q^+(t) \beta_q^+(t')$ », « $\beta_q^+(t) \beta_q(t')$ » и смешанных « $b_q^+(t) \beta_q^+(t')$ », « $b_q(t) \beta_q^+(t')$ ». При составлении уравнений для этих функций используем правила коммутации:

$$\begin{aligned} [\beta_q^+(p) \beta_s(k)] &= \delta_{qs} \delta(p-k), \\ [\beta_q(p) \beta_s(k)] &= 0, \\ [b_s^+ b_q] &= \delta_{sq}, \\ [\beta_s^+(l) b_q] &= \delta_{sq} B(q, l=p) = 0, \\ [b_q \beta_s(l)] &= \delta_{sq} D(q, l=p-q), \\ [\beta_s(l) b_q] &= \delta_{s,-q} B(q, l=p+q), \\ [b_q^+ \beta_s(l)] &= \delta_{s,-q} D(q, l=p). \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $B(q, l=p)$ — вероятность фононного возбуждения экситонов (фононное довозбуждение экситонов рассматривать не будем). Полагая только фононное возбуждение экситонов, имеем эту вероятность равной нулю. $B(q, l=p+q)$ — вероятность неупругого экситон-фононного рассеяния. $D(q, l=p-q)$ — вероятность безызлучательного распада экситона. $D(q, l=p+q)$ — вероятность совместного образования экситонов и фононов при фотонном возбуждении.

Вид импульсов в скобках в (7) следует из членов взаимодействия гамильтониана (8.6). Чтобы прояснить физический смысл этих членов, выпишем структуру экситонных операторов в них:

$$b_q \begin{cases} \beta_q^+(p) = a_{p+q}^+ c_p & (8a) \\ \beta_{-q}^+(p+q) = c_{p+q} a_p & (8b) \end{cases}$$

$$b_q \begin{cases} \beta_q(p-q) = c_{p-q} a_p & (9a) \\ \beta_{-q}(p) = a_{p-q}^+ c_p & (9b) \end{cases}$$

Уничтожение фонона с положительным импульсом в (8) связано или с рождением экситона с положительным импульсом в (8a), или с уничтожением экситона с отрицательным импульсом (8b). Рождение фонона с положительным импульсом в (9) связано или с уничтожением экситона с положительным импульсом (9a), или с рождением экситона с отрицательным импульсом (9b).

Приступим к выводу уравнений для функции Грина. Используем уравнение Гейзенберга

$$\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \beta_s(k, t) = [\Omega \beta_s(k, t)]. \quad (10)$$

Раскрывая скобку справа с помощью гамильтониана (6) и правил коммутации (7), получим уравнение:

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{i} \frac{\partial \beta_s(k)}{\partial t} &= \omega_s(k) \beta_s(k) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \left(\sqrt{\omega_s} b_s + \sqrt{\omega_{-s}} b_{-s}^+ \right) + \\ &+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \sum_p \left[\left(\beta_{-s}^+(p) + \beta_s(p-s) \right) \left(\sqrt{\omega_s} D(s, k=p-s) - \sqrt{\omega_{-s}} B(-s, k=p-s) \right) \right]. \end{aligned}$$

Снимая суммирование по \vec{p} , получим:

$$\frac{\hbar}{i} \frac{\partial \beta_s(k)}{\partial t} = \omega_s(k) \beta_s(k) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \left(\sqrt{\omega_s} b_s + \sqrt{\omega_{-s}} b_{-s}^{\dagger} \right) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \left[\left(\beta_{-s}^{\dagger}(k+s) + \beta_s(k) \right) \left(\sqrt{\omega_s} D(s) - \sqrt{\omega_{-s}} B(-s) \right) \right]. \quad (11)$$

Отсюда для запаздывающей функции Грина « $\beta_s(k, t) \beta_r(l, t')$ » получаем уравнение (учитывая, что

$$[\beta_s(k) \beta_r(l)] = -\delta_{sr} \delta_{kl} \text{ и } \frac{\hbar}{i} \frac{1}{i\hbar} = -1):$$

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \left\langle \left\langle \beta_s(k, t) \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle &= \delta(t-t') \delta_{sr} \delta_{kl} + \omega_s(k) \left\langle \left\langle \beta_s(k, t) \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \\ &+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \left(\sqrt{\omega_s} \left\langle \left\langle b_s(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \sqrt{\omega_{-s}} \left\langle \left\langle b_{-s}^{\dagger}(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle \right) + \\ &+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \left(\sqrt{\omega_s} D(s) - \sqrt{\omega_{-s}} B(-s) \right) \left(\left\langle \left\langle \beta_{-s}^{\dagger}(k+s, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \left\langle \left\langle \beta_s(k, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle \right). \end{aligned} \quad (12)$$

Необходимо составить уравнение еще для трех функций Грина: « $b_s(t) \beta_r(l, t')$ », « $b_{-s}^{\dagger}(k, t) \beta_r(l, t')$ » и « $\beta_{-s}^{\dagger}(k, t) \beta_r(l, t')$ ».

Выпишем их без вывода:

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \left\langle \left\langle \beta_{-s}^{\dagger}(k+s, t) \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle &= -\omega_{-s}(k+s) \left\langle \left\langle \beta_{-s}^{\dagger}(k+s, t) \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \\ &+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \left(\sqrt{\omega_s} \left\langle \left\langle b_s(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle - \sqrt{\omega_{-s}} \left\langle \left\langle b_{-s}^{\dagger}(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle \right) + \\ &+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} D(s) \left(\left\langle \left\langle \beta_s(k, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \left\langle \left\langle \beta_{-s}^{\dagger}(k+s, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle \right) + \\ &+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} D(-s) \left\langle \left\langle \beta_s(k+s, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \left\langle \left\langle b_s(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle &= \sum_p (\omega_{-s}(p) B(-s, p) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s}) \left\langle \left\langle \beta_{-s}^{\dagger}(p, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \\ &+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \sum_p \sqrt{\omega_s} \left\langle \left\langle \beta_s(p-s, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sum_p (\sqrt{\omega_s} B(s, p+s)) \left\langle \left\langle b_s(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle + \\ &+ \sqrt{\omega_s} B(-s, p+s) \left\langle \left\langle b_{-s}^{\dagger}(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \left\langle \left\langle b_{-s}^{\dagger}(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle &= -\delta(t-t') D(-s, l) + \sum_p (\omega_{-s}(p) D(-s, p) - \\ &- \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_{-s}}) \left\langle \left\langle \beta_{-s}^{\dagger}(p, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle - \sum_p \omega_s(p) D(-s, p) \left\langle \left\langle \beta_s(p, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle - \\ &- \frac{g}{\sqrt{2V}} \sum_p \sqrt{\omega_{-s}} \left\langle \left\langle \beta_s(p-s, t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle - \frac{g}{\sqrt{2V}} \sum_p \sqrt{\omega_s} (D(-s, p+s) + D(-s, p)) \left\langle \left\langle b_s(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle - \\ &- \frac{g}{\sqrt{2V}} \sum_p \sqrt{\omega_s} (D(-s, p+s) + D(-s, p)) \left\langle \left\langle b_{-s}^{\dagger}(t), \beta_r(l, t') \right\rangle \right\rangle. \end{aligned} \quad (15)$$

Пусть разность импульсов частиц, составляющих экситоны, мала по сравнению с самими этими импульсами — $|s| \ll |p|$ (приближение слабой связи). Перейдем в Фурье-представление, используя предположение о диагональности функции Грина и соотношения

$$\omega_s = \omega_{-s}, \quad p \approx l = K/2$$

$$\left\langle \left\langle \beta, \beta^+ \right\rangle \right\rangle_{\omega} \equiv G_{\beta\beta^+} \quad \text{и т.д.} \quad (16)$$

В Фурье-представлении уравнения имеют вид:

$$\left(\hbar\omega + \omega_s(K/2) - \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \left(D(s) - B(-s) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) \right) \right) = 1 + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} G_{\beta\beta^+}(K, \omega) +$$

$$+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} G_{\beta\beta^+}(K, \omega) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \left(D(s) - B(-s) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) \right); \quad (17)$$

$$\left(\hbar\omega + \omega_{-s} \left(\frac{K}{2} + s \right) - \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \left(D(s) + D(-s) \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) \right) = 1 + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} G_{\beta\beta^+}(K, \omega) -$$

$$- \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} G_{\beta\beta^+}(K, \omega) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} D(s) G_{\beta\beta^+}(K, \omega); \quad (18)$$

$$\left(\hbar\omega - \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} B \left(s, \frac{K}{2} + s \right) \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) = - \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} G_{\beta\beta^+}(K, \omega) + \left(\omega_{-s}(K/2) B \left(-s, \frac{K}{2} \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} B \left(-s, \frac{K}{2} + s \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega); \quad (19)$$

$$\left(\hbar\omega + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \left(D \left(-s, \frac{K}{2} + s \right) + D \left(-s, \frac{K}{2} \right) \right) \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) = -D \left(-s, \frac{K}{2} \right) - \omega_s(K/2) G_{\beta\beta^+} +$$

$$+ \left(\omega_{-s}(K/2) D \left(-s, \frac{K}{2} \right) - \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) - \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \left(D \left(-s, \frac{K}{2} + s \right) + D \left(s, \frac{K}{2} \right) \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega). \quad (20)$$

Таким образом, получим следующие решения:

$$G_{\beta\beta^+}(K, \omega) = \frac{1}{[3]} \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} G_{\beta\beta^+}(K, \omega) + \left(\omega_{-s}(K/2) B \left(-s, \frac{K}{2} \right) + \frac{g}{\sqrt{2V}} \sqrt{\omega_s} \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega) +$$

$$+ \frac{g}{\sqrt{2V}} \frac{\sqrt{\omega_s}}{[3]} B \left(-s, \frac{K}{2} + s \right) G_{\beta\beta^+}(K, \omega); \quad (21)$$

$$G_{\beta\beta^+}(K, \omega) = \frac{D \left(-s, \frac{K}{2} \right)}{[6]} + [7] G_{\beta\beta^+} + [8] G_{\beta\beta^+}(K, \omega); \quad (22)$$

$$G_{\beta\beta^+}(K, \omega) = [11]^{-1} \left([13] + [12] G_{\beta\beta^+} \right); \quad (23)$$

$$G_{\beta\beta^+}(K, \omega) = \frac{[11][14] + [9][13]}{[10][11] - [9][12]}. \quad (24)$$

(См. обозначения в конце статьи.)

Используя формулу

$$\langle H \rangle = cV \int \frac{d\vec{K}}{(2\pi)^3} \frac{d\omega}{2\pi} \frac{\hbar\omega + \vec{K}^2/2m}{2} J(K, \omega), \quad (25)$$

имеем:

$$\langle H \rangle = cV \int \frac{d\vec{K}}{(2\pi)^3} \frac{d\omega}{2\pi} \frac{\hbar\omega + \vec{K}^2/2m}{2(e^{\hbar\omega/\theta} - 1)} i\hbar \lim \left(G_{\beta\beta^+}(K, \omega + i\varepsilon) - G_{\beta\beta^+}(K, \omega - i\varepsilon) \right). \quad (26)$$

Из этого выражения нетрудно найти все остальные термодинамические величины.

Обозначения

$$\begin{aligned}
 [1] &= \hbar\omega - \omega_s(K/2) - \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}(D(-s) - B(-s)); \\
 [2] &= \hbar\omega + \omega_s\left(\frac{K}{2} + s\right) - \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}(D(s) + D(-s)); \\
 [3] &= \hbar\omega - \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}B\left(s, \frac{K}{2} + s\right); \\
 [4] &= \hbar\omega + \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}\left(D\left(-s, \frac{K}{2} + s\right) + D\left(-s, \frac{K}{2}\right)\right); \\
 [5] &= \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}\left(D\left(-s, \frac{K}{2} + s\right) + D\left(-s, \frac{K}{2}\right)\right); \\
 [6] &= [4] + \frac{[5]}{[3]}\frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}B\left(-s, \frac{K}{2} + s\right); \\
 [7] &= \frac{1}{[6]}\left(\frac{[5]}{[3]}\frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s} - \omega_s(K/2)\right); \\
 [8] &= [6]^{-1}\left(\omega_s(K/2)D(-s, K/2) - \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s} + \frac{[5]}{[3]}\left(\omega_s(K/2)B(-s, K/2) + \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}\right)\right); \\
 [9] &= [8]\frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s} + \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}(D(s) - B(-s)) + \\
 &+ \frac{g}{\sqrt{2V}}\frac{\sqrt{\omega_s}}{[3]}\left(\omega_s(K/2)B(-s, K/2) + \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}\right) + [8]\frac{g}{\sqrt{2V}}\frac{\sqrt{\omega_s}}{[3]}B(-s, K/2); \\
 [10] &= [1] - \frac{g^2}{\sqrt{2V}}\frac{\omega_s}{[3]} - [7] - \frac{[8]}{[3]}\frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}B\left(-s, \frac{K}{2} + s\right); \\
 [11] &= [2] + [8]\frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s} - \frac{g}{\sqrt{2V}}\frac{\sqrt{\omega_s}}{[3]}\left(\omega_s(K/2)B(-s, K/2) + \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}\right) - \frac{g}{\sqrt{2V}}\frac{\sqrt{\omega_s}}{[3]}[8]B\left(-s, \frac{K}{2} + s\right); \\
 [12] &= -[7]\frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s} + \frac{1}{[3]}\frac{g^2}{2V}\omega_s - \frac{g^2}{2V}\omega_s\frac{[7]}{[3]}B\left(-s, \frac{K}{2} + s\right) + \frac{g}{\sqrt{2V}}\sqrt{\omega_s}D(s); \\
 [13] &= 1 + \frac{g}{\sqrt{2V}}\frac{\sqrt{\omega_s}}{[6]}D(-s, K/2) - \frac{g}{\sqrt{2V}}\frac{\sqrt{\omega_s}}{[6]}\frac{D(-s, K/2)}{[3]}B(-s, K/2 + s); \\
 [14] &= 1 - \frac{D(-s, K/2)}{[6]} - \frac{D(-s, K/2)}{[6][3]}\frac{g\sqrt{\omega_s}}{\sqrt{2V}}B\left(-s, \frac{K}{2} + s\right).
 \end{aligned}$$

References

- 1 Tolmachyov V.V. The theory of fermi-gas. — M.: Moscow State University, 1973. — 342 p.

М.К.Мырзахмет

**Екі бөлшекті Грин функциясы әдісімен
экситон-фонондық өзара әрекет етуін зерттеу**

Экситон-экситондық өзара әрекет етуін ескермей экситондардың аз мөлшердегі концентрация жүйесі қарастырылған. Экситондардың электрондар мен тесіктердің екінші қайталанған кванттануы ферми операторлардан бозе-операторларға өтуі қолданылған. Экситон-фонондық өзара әрекет етуі зерттелген. Экситонды құрайтын импульс бөлшектерінің айырмасы осы импульстермен салыстырғанда аз мөлшерде қабылданған (әлсіз байланысты жақындату). Бастапқы термодинамикалық шамаларын шығаруға қажет аналитикалық теңдік алынған.

M.K.Myrzakhmet

**Investigation of exciton-phonon interaction
by two-partial Green functions method**

The system with small concentration of excitons in neglect exciton-exiton interaction is viewed. Transition from fermi-operators of secondary quantization of electrons and holes to boze-functionals of excitons is used. Exiton-phonon interaction is explored. Analytical expression for a deduction of the basic thermodynamic quantities is gained.

В.М.Юров¹, Е.Н.Вертягина², К.С.Бактыбеков², Н.Х.Ибраев¹, С.А.Гученко¹

¹Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (e-mail: exciton@list.ru);

²Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева

Ионно-плазменные покрытия на основе сплавов алюминия

В работе даны результаты исследования композиционных покрытий на основе сплавов алюминия. Количественный анализ элементного состава композиционных покрытий проводился на электронном микроскопе JEOL JSM-5910. Путем математической обработки энергетических спектров по специальной программе PHI-RHO-Z были определены концентрации элементов. Проведены исследования микроструктуры композиционных покрытий методом атомно-силовой микроскопии, сочетающим в себе режимы топографии и фазового контраста. Получена информация о механизме локальной деформации покрытия.

Ключевые слова: деформация, сплав, энергетический спектр, композиционное покрытие, электронный микроскоп, микроструктура.

Введение

Ионно-плазменные методы химико-термической обработки позволяют повысить износостойкость деталей в 3–5 раз [1]. Общая толщина покрытия при этом не превышает 6 мкм. Изучение тонких поверхностных слоев требует высокоразрешающих методов исследования. До появления сканирующей зондовой микроскопии таким универсальным методом исследования поверхности была сканирующая электронная микроскопия. Используя этот метод, стало возможным изучить механизм формирования вакуумных покрытий толщиной 1–20 мкм. С появлением туннельной и атомно-силовой микроскопии классическое материаловедение получило инструмент изучения поверхности в нанометровом диапазоне.

Метод атомно-силовой микроскопии (АСМ), сочетающий в себе режимы топографии и фазового контраста, позволяет не только исследовать структуру поверхности в нанометровом масштабе, но и выявить в структуре поверхности зоны с изменением микромеханических свойств. Поскольку в современном материаловедении еще отсутствуют эталоны структур, полученные методом атомно-силовой микроскопии, целесообразно совмещать данный метод с более традиционной сканирующей микроскопией. Это позволяет исключить артефакты изображения и сделать выводы о том, насколько выявленная АСМ локальная микроструктура характерна для общей структуры поверхности образца.

В настоящей работе исследованы композиционные покрытия, полученные ионно-плазменным методом при распылении катодов бинарных сплавов Zn–Al и Fe–Al.

Методика эксперимента

Для нанесения нанопокровтий используются следующие основные технологические подходы: 1) осаждение покрытий в условиях ионного ассистирования; 2) осаждение многослойных покрытий со слоями нанометрической толщины; 3) осаждение многофазных покрытий; 4) комбинация перечисленных способов. Нами использовалось осаждение многофазных покрытий в условиях ионного ассистирования. Перед нанесением покрытий в вакуумной камере производилась очистка подложек сначала тлеющим разрядом, для этого на подложку подавалось напряжение 1–3 кВ в течение 5–10 мин, затем ионная очистка. Для чего камеру откачивают до давления $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст., через натекаль подают чистый аргон до давления $3\text{--}5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. и устанавливают напряжение разряда 700–800 В, напряжение на мишени 1–3 кВ. Ионная очистка проводится в течение 15–20 мин. Напыление осуществлялось при давлении $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст., при достижении которого в камеру подавался аргон до давления $5\text{--}8 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., устанавливалось напряжение 900–1000 В. Напыление проводилось в течение 15–20 мин.

Количественный анализ элементного состава композиционных покрытий проводился на электронном микроскопе JEOL JSM-5910. Основная работа была связана с электронно-микроскопическими исследованиями композиционных покрытий, разработкой методики проведения количественного анализа элементного состава и определения стехиометрического состава полученных образцов материалов.

Исследуемый образец в форме диска диаметром 8 мм и высотой 3 мм вставляется в углубление держателя образца микроскопа. Образец должен иметь хороший электрический контакт с держателем образца. При необходимости применяется проводящий клей. После нанесения клея необходима выдержка в течение 30 минут для просушивания. Держатель с образцом помещается в камеру микроскопа. Проводится откачка воздуха из камеры до достижения вакуума не менее чем 10^{-4} мм рт. ст. На экране компьютерного монитора видно место положения объекта с указанием координат по осям X и Y . Также должен быть виден острый ствол электронной пушки. Затем электронные лучи направляются к объекту. Устанавливается энергия электронов зонда 20 кэВ, ток зонда 1 нА, время измерения нужно выбрать равным 30 с. Рабочее расстояние от электронной пушки до поверхности образца устанавливается равным 10 мм, диаметр зонда 3 нм. Значение энергии электронов зонда выбирается из соображений достаточного эффективного возбуждения K и L линии всех химических элементов, содержащихся в сложном катоде. Характеристические рентгеновские излучения, возбужденные электронным лучом, имеют энергию, строго определенную для каждого элемента. Излучение регистрируется с помощью рентгеновского спектрометра с энергетической дисперсией JXA-8200, встроенного в микроскоп с детектором частиц EX54133MUK. На экране компьютерного монитора получают характеристические рентгеновские энергодисперсионные спектры.

Нами проведены исследования микроструктуры композиционных покрытий состава Fe–Al, Zn–Al, полученных на электронном микроскопе JEOL JSM-5910, работающем в режиме вторичной электронной эмиссии.

Для исследования поверхности покрытий в наномасштабе нами использовался атомно-силовой микроскоп NT-206 международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева.

Многофункциональный сканирующий зондовый микроскоп NT-206 представляет собой атомно-силовой микроскоп в комплексе с аппаратными и программными средствами, необходимыми для измерения и анализа микро- и субмикрорельефа поверхностей, объектов микро- и нанометрового размерного диапазона, их микромеханических и других свойств с высоким разрешением. Ниже перечислены режимы работы микроскопа NT-206:

- 1) контактная статическая АСМ;
- 2) латерально-силовая микроскопия (одновременно с контактной статической АСМ);
- 3) бесконтактная динамическая АСМ;
- 4) полуконтактная динамическая АСМ;
- 5) микроскопия фазового контраста (одновременно с полуконтактной динамической АСМ);
- 6) двухпроходный режим (для статической и динамической АСМ);
- 7) двухпроходный режим с переменным подъемом (для статической и динамической АСМ);
- 8) многоцикловое сканирование участка (для статической и динамической АСМ);
- 9) многослойное сканирование участка с переменной нагрузкой (для статической и динамической АСМ);
- 10) электростатическая силовая микроскопия (двухпроходная методика);
- 11) токовый режим;
- 12) магнитно-силовая микроскопия (двухпроходная методика);
- 13) статическая силовая спектроскопия (с расчетом количественных характеристик, поверхностной энергии и модуля упругости образца в точке анализа);
- 14) динамическая силовая спектроскопия;
- 15) динамическая частотная силовая спектроскопия;
- 16) наноиндентирование;
- 17) наноцарапание;
- 18) наноизнашивание по линии;
- 19) нанолитография (с контролем $\langle i \rangle$ прижатия, $\langle ii \rangle$ глубины внедрения, $\langle iii \rangle$ напряжения смещения);
- 20) микротрибометрия;
- 21) микроадгезиометрия;
- 22) микротрибометрия в режиме shear-force;
- 23) температурно-зависимые измерения (для всех вышеперечисленных режимов).

Технические характеристики зондового микроскопа NT-206 представлены в таблице 1.

Технические характеристики атомно-силового микроскопа NT-206

Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Поле сканирования:	от 5×5 мкм до 50×50 мкм	Минимальный шаг сканирования:	0,3 нм
Максимальный диапазон измерения высот:	от 2 до 4 мкм	Схема сканирования:	подвижный образец под неподвижным зондом
Латеральное разрешение (плоскость XY):	1–5 нм (в зависимости от жесткости поверхности образцов)	Тип сканера:	пьезокерамический трубчатый
Вертикальное разрешение (направление Z):	0,1–0,5 нм (в зависимости от жесткости поверхности образцов)	Зонды:	промышленно выпускаемые зонды (чипы размером 3,4×1,6×0,4 мм)
Размер матрицы сканирования:	до 1024×1024 точек	Система детектирования отклонения измерительной консоли:	лазерно-лучевая с четырехсекционным позиционно-чувствительным фотодетектором
Скорость сканирования:	40–250 точек/с в плоскости X–Y	Размеры образца:	до 30×30×5 мм
Коррекция нелинейностей:	программная коррекция движения сканера	Диапазон автоматизированных перемещений измерительной головки:	10×10 мм в плоскости XY для микропозиционирования зонда относительно исследуемого объекта с шагом 2,5 мкм с оптическим визуальным контролем

Результаты эксперимента

На рисунках 1–2 приведены характеристические рентгеновские энергодисперсионные спектры элементных составляющих композиционных покрытий на основе Zn–Al и Al–Fe.

В спектрах РФЭС легко различимы пики, соответствующие всем химическим элементам исследуемых образцов.

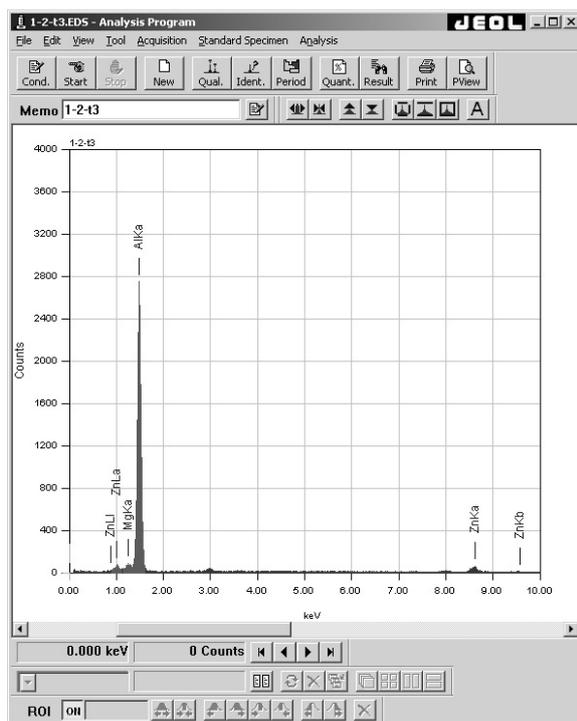
Путем математической обработки энергодисперсионных спектров по специальной программе РНИ-RHO-Z были определены концентрации элементов. Концентрации элементов определены с использованием аналитических сигналов Al K_{α} , Si K_{α} , Cr K_{α} , Mn K_{α} , Fe K_{α} , Cu K_{α} , имеющие максимальные интенсивности (табл. 2).

Результаты расчета стехиометрии компонентов

Соединения	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	Химическая формула по данным анализа
Zn–Al	1	65,45					ZnAl _{65,45}
Al–Fe	1	43,04					AlFe _{43,04}

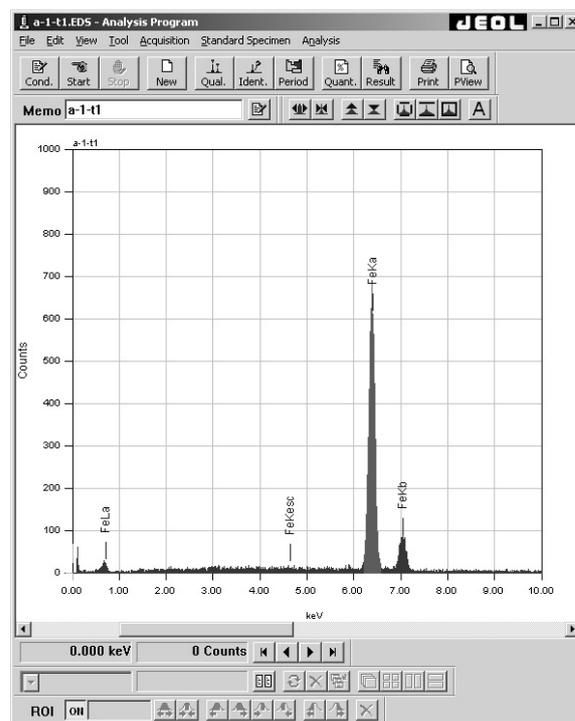
На рисунках 3 и 4 показаны АСМ изображения поверхности покрытия Zn–Al, полученные в режиме латерально-силовой микроскопии (одновременно с контактной статической АСМ).

Латерально-силовая микроскопия позволяет строить карту латеральных сил (сил трения) путем записи угла кручения микроконсоли зонда при сканировании в контакте с поверхностью. Имеется возможность визуализации изменений поверхностного трения, являющихся результатом неомогенности материала поверхности, а также получения контрастных изображений поверхностей. Имеется также возможность регистрирования латерального закручивания одновременно с топографией. При этом особенности рельефа поверхности, не разрешаемые в других модах, могут быть визуализированы благодаря различию фрикционных характеристик поверхности.



Элемент	кэВ	G, %	Ат, %	ε, %
Al K_{α}	1,486	96,43	98,49	0,32
Zn L_{α}	1,012	3,57	1,51	0,72
Всего %		100	100	1,04

Рисунок 1. РФЭС композиционных покрытий состава Zn–Al



Элемент	кэВ	G, %	Ат, %	ε, %
Al K_{α}	1,486	0,53	1,09	1,06
Fe K_{α}	6,398	99,47	98,91	0,78
Всего %		100	100	1,84

Рисунок 2. РФЭС композиционных покрытий состава Fe–Al

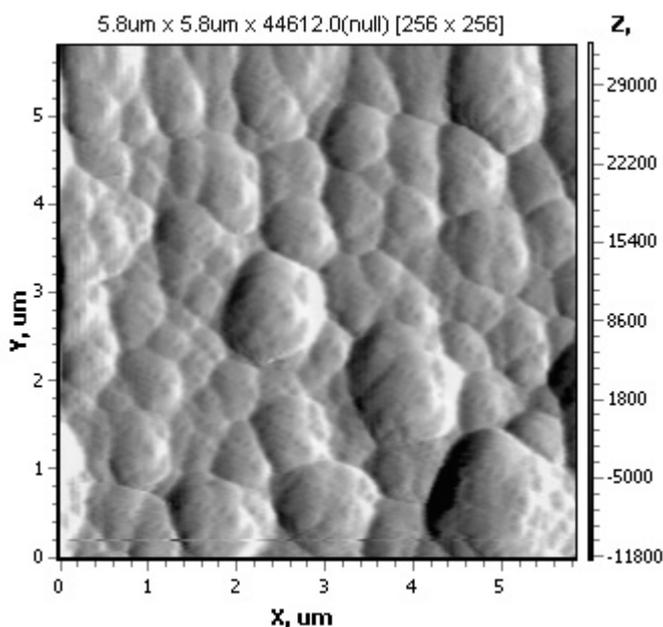


Рисунок 3. АСМ изображение поверхности покрытия Zn–Al

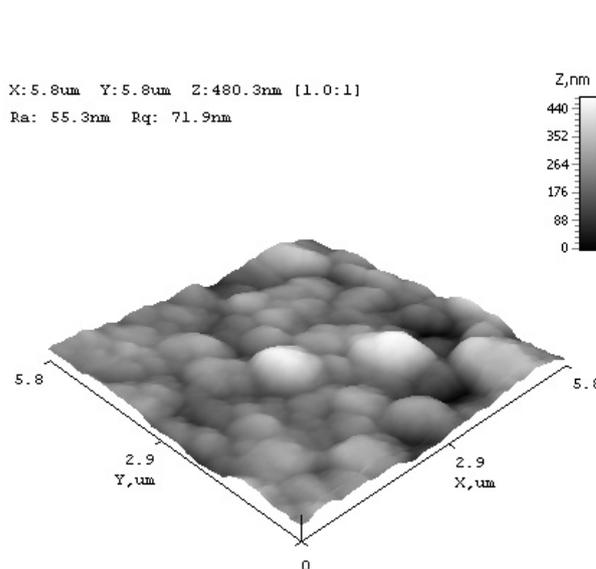


Рисунок 4. АСМ изображение поверхности покрытия Zn–Al

Из рисунков 3 и 4 видно, что покрытие Zn–Al формируется в виде «глобулярной» структуры, имеющей определенное упорядочивание. Однако такая структура наблюдается не всегда. Дело в том,

что на формирование структуры покрытия влияет не только химический состав катода, но и целый ряд технологических параметров, среди которых можно выделить следующие:

- давление реакционного газа в рабочей камере;
- потенциал основы;
- ток разряда дуги;
- свойства материала катода;
- время процесса.

Из проведенных нами исследований следует, что потенциал основы в пределах 20–400 В не влияет на основные физико-механические характеристики покрытия, оказывая влияние только на толщину. При опорных напряжениях до 20 и выше 400 В микротвердость незначительно снижается, поэтому оптимальное значение опорного напряжения находится в пределах 20–400 В. В наших экспериментах мы придерживались среднего значения опорного напряжения, равного 200 В.

Время процесса напыления в соответствии с островковой моделью нанесения покрытий нелинейно увеличивает толщину покрытия: в начальный момент роста пленка формируется в виде островков, и интенсивность отражения частиц от подложки сравнительно мала; при дальнейшем росте островки начинают сливаться, доля покрытой поверхности увеличивается и увеличивается вероятность прохождения процессов осаждения и распыления покрытия. Следовательно, толщина покрытия интенсивно возрастает в течение первых 1,5–2 минут, а в дальнейшем ее рост замедляется. При увеличении толщины пленки ухудшаются морфологические свойства покрытия, поэтому максимум прочностных характеристик приходится на ее размер в пределах 5...10 мкм.

Таким образом, создаются жесткие условия для нанесения покрытий, и единственным параметром, который допускается варьировать для изменения физико-механических свойств данных покрытий, является давление рабочего газа во время напыления.

Из рисунков 5 и 6 следует, что области с возрастанием микромеханических свойств локализуются, как правило, в местах выступающего рельефа, но не совпадают с ним полностью, а имеют свои четко очерченные границы (рис. 6). На рисунке 7 представлена гистограмма распределения высот глобул, которая удовлетворительно описывается функцией Гаусса.

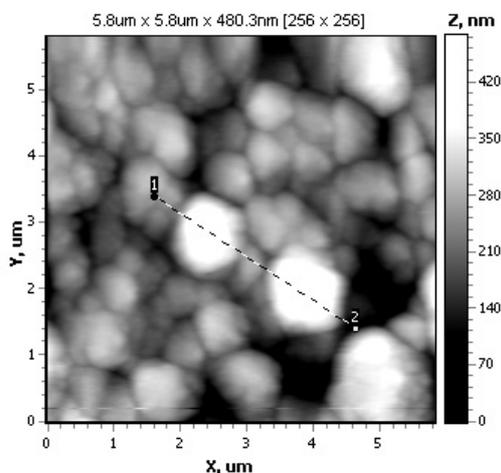


Рисунок 5. Линия 1–2 для определения профиля сечения (Zn–Al)

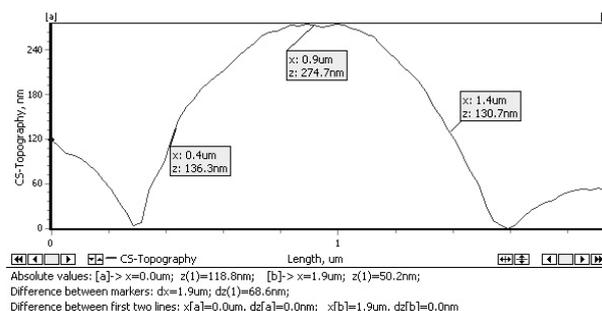


Рисунок 6. Профиль сечения, проведенного вдоль линии 1–2 (Zn–Al)

На рисунке 8 показано распределение сил трения по поверхности Zn–Al, полученное в режиме наноиндентирования. Этот режим дает возможность проводить измерения путем вдавливания твердого острия известной геометрии в поверхность образца, используя нагрузку с заданным максимальным значением, и в дальнейшем вычислять механические свойства образца. В результате вычислений модуль Юнга для покрытия Zn–Al оказался равным $E = 0,5$ ГПа.

Структура покрытия Fe–Al (рис. 9, 10) резко отличается от структуры покрытия Zn–Al. В этом случае мы наблюдаем незамкнутые наноструктуры. Это особенно отчетливо видно на рисунке 10.

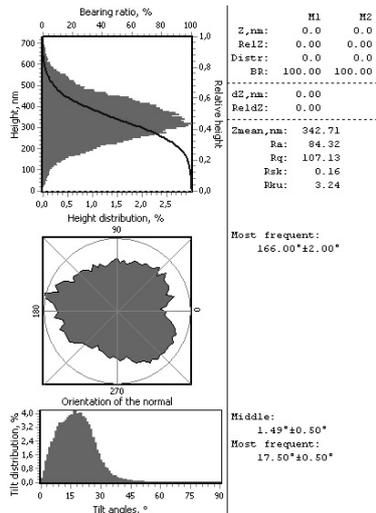


Рисунок 7. Гистограмма распределения хиллококов по высоте (Zn-Al)

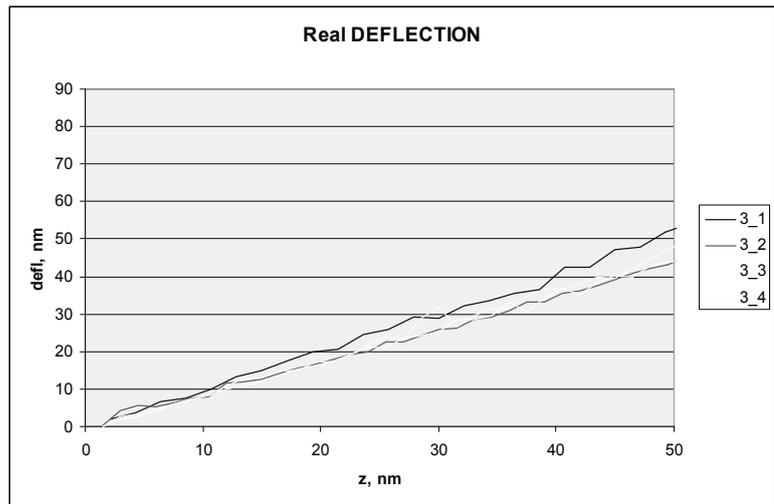


Рисунок 8. Распределение сил трения по поверхности Zn-Al

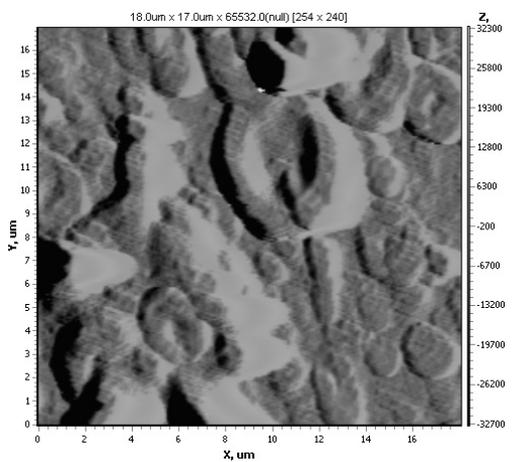


Рисунок 9. АСМ изображение поверхности покрытия Fe-Al

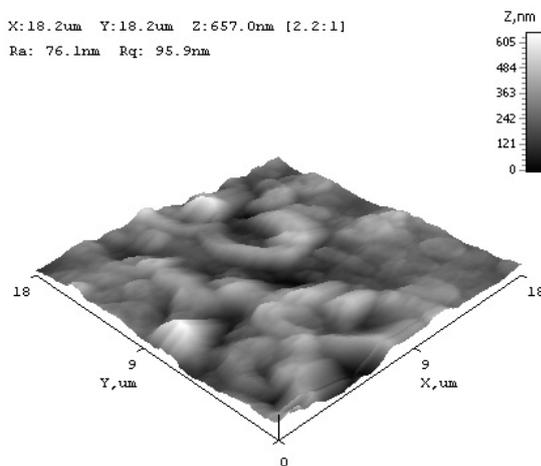


Рисунок 10. АСМ изображение поверхности покрытия Fe-Al

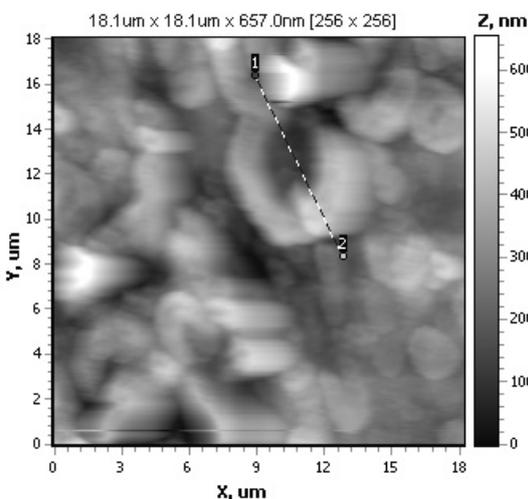


Рисунок 11. Линия 1-2 для определения профиля сечения (Fe-Al)

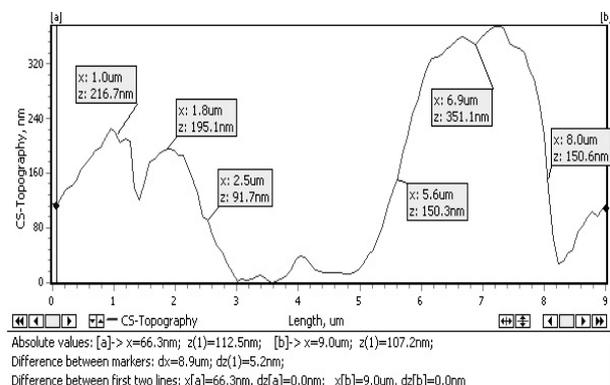


Рисунок 12. Профиль сечения, проведенного вдоль линии 1-2 (Fe-Al)

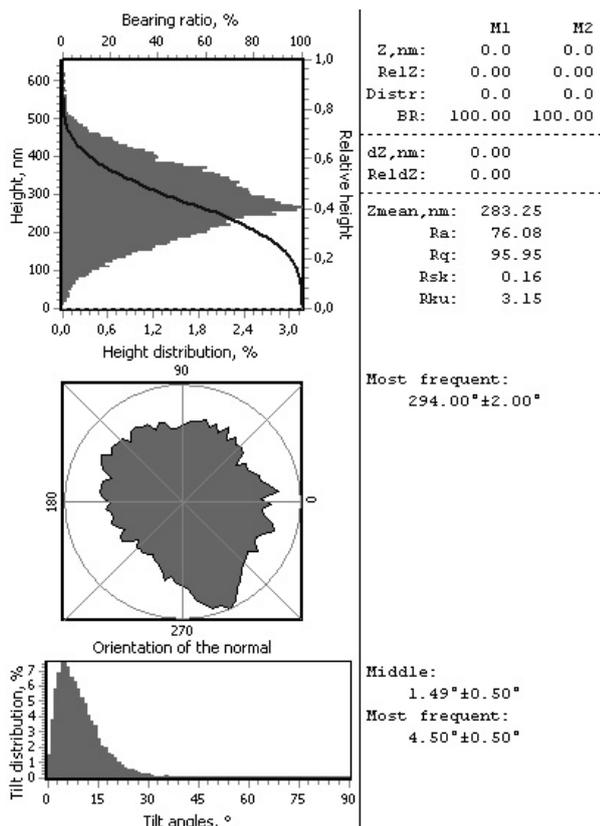


Рисунок 13. Гистограмма распределения хиллококов по высоте (Fe–Al)

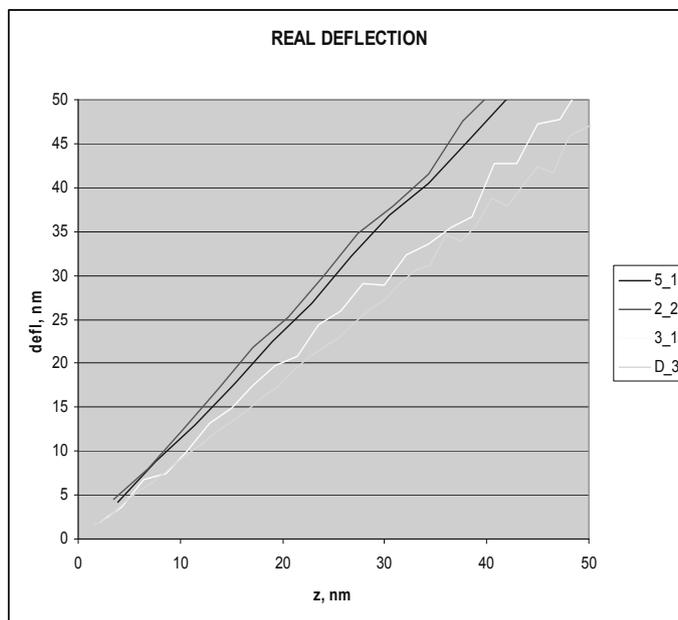


Рисунок 14. Распределение сил трения по поверхности Fe–Al

Из рисунков 11 и 12 следует, что области с возрастанием микромеханических свойств хотя и локализируются, но весьма хаотично. На рисунке 13 представлена гистограмма распределения высот хиллококов, которая также удовлетворительно описывается функцией Гаусса.

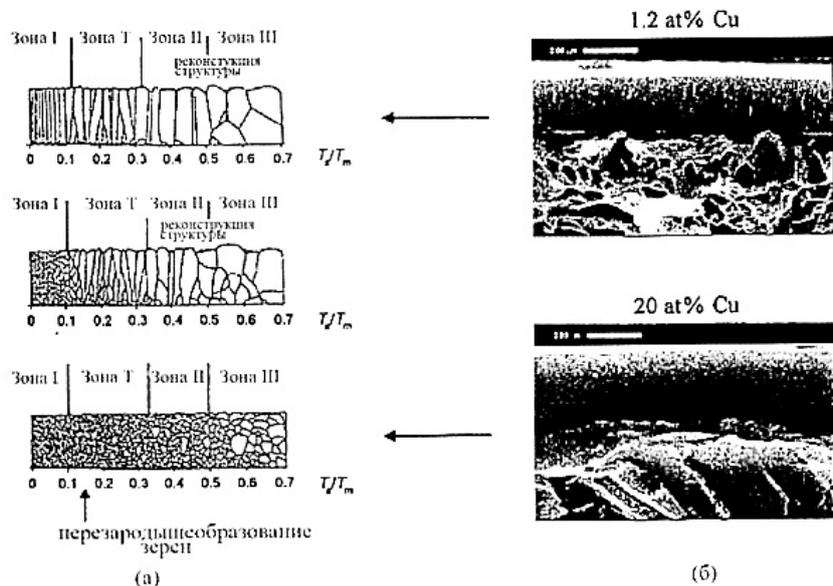
На рисунке 14 показано распределение сил трения по поверхности Fe–Al, полученного в режиме наноиндентирования. В результате вычислений модуль Юнга для покрытия Fe–Al оказался равным $E = 0,2$ ГПа, что в 2,5 раза меньше, чем для покрытия Zn–Al.

На структуру покрытия Fe–Al значительное влияние оказывает величина тока дуги. Увеличение тока разряда дуги приводит к увеличению толщины покрытия, однако при возрастании тока свыше 130 А снижается совершенство структуры и резко повышается количество капельной фазы, которая является причиной снижения прочности сцепления подложки с покрытием. При малой мощности разряда (ток дуги < 20–30 А) из-за уменьшения коэффициента ионизации плазмы в пленку «замораживаются» нейтральные частицы реакционного газа и катода, что способствует повышению концентрации дефектов покрытия. Экспериментально нами определен оптимальный ток — 90 А.

Обсуждение результатов эксперимента

Хотя способы получения наноструктурных материалов и покрытий довольно разнообразны [1], но все они основаны на механизме интенсивной диссипации энергии, обобщенной в трех стадиях формирования. На первой стадии идет процесс зародышеобразования, который из-за отсутствия соответствующих термодинамических условий не переходит в массовую кристаллизацию. Вторая стадия представляет собой формирование вокруг нанокристаллических зародышей аморфных кластеров, которые на третьей стадии объединяются в межкристаллитную фазу с образованием диссипативной структуры. И хотя наличие такого термодинамически метастабильного состояния сильно затрудняет моделирование структурно-фазового состояния конденсатов, однако открывает совершенно новые возможности по получению материалов с уникальными функциональными свойствами. Микроструктуру однофазных пленок качественно хорошо можно описать с помощью моделей, предложенных Мовчаном и Демчишиным, Торнтоном [2, 3]. Однако эти модели сильно изменяются, если в пленку

добавить легирующую примесь. Примеси останавливают рост зерна и стимулируют перезародышеобразование. Это явление приводит, как правило, к формированию глобулярной структуры. Для среднего и высокого содержания примесей полностью исчезает столбчатая микроструктура, которая типична главным образом для зоны I однофазных пленок. Этот факт описывает модель, которая была разработана Барна и Адамиком [4] (рис. 15).



а — модель для двухфазных пленок; б — поперечное сечение Zr–Cu–N с низким (1,2 ат. %) и высоким (20 ат. %) содержанием меди [5]

Рисунок 15. Сравнение модели Барна и Адамика с экспериментом

Однако модель Барна–Адамика не в состоянии объяснить появление незамкнутых наноструктур, обнаруженных нами в системе Fe–Al. Подобные наноструктуры были обнаружены и описаны в работе [6].

Согласно классической теории, образование зародышей новой фазы в старой метастабильной фазе рассматривается как флуктуационный процесс [7]. При допущении макроскопических свойств для малых агрегатов изменение свободной энергии образования зародышей, состоящих из i молекул, равно:

$$\Delta F = (\mu_1 - \mu_2)i + S\sigma,$$

где μ_1 и μ_2 — химические потенциалы соответственно старой и новой фазы; S — поверхность зародыша; σ — поверхностное натяжение на границе раздела фаз.

Из условия экстремума $\partial\Delta F/\partial i$ следует:

$$\Delta\mu = 2\sigma\vartheta_2/r_k,$$

где ϑ_2 — объем одного атома (молекулы) фазы 2, а r_k — критический радиус сферического зародыша.

В случае кристаллизации переохлажденного расплава $\Delta\mu$ и, соответственно, r_k можно выразить через переохлаждение

$$r_k = 2M\sigma T_0/\rho q\Delta T.$$

Тогда работа образования критического зародыша сферической формы также выразится как функция ΔT :

$$W = \Delta F_{кр} = \frac{16\pi}{3} \left(\frac{M}{\rho} \right)^2 \frac{\sigma^3 T_0^2}{q^2 (\Delta T)^2},$$

где M — молекулярный вес; ρ — плотность зародыша; q — теплота плавления; T_0 — равновесная температура двух фаз бесконечно большого радиуса.

Из последнего выражения следует, что работа образования глобулы пропорциональна кубу поверхностного натяжения. Иными словами, незамкнутые наноструктуры характерны для тех веществ, у которых поверхностное натяжение имеет значительную величину. В таблице 3 приведены значения поверхностного натяжения металлов в твердой фазе, полученные нами в работе [8].

Т а б л и ц а 3

Поверхностное натяжение некоторых металлов в твердой фазе

Металл	σ_{τ} , эрг/см ²	Металл	σ_{τ} , эрг/см ²
Свинец	100	Серебро	375
Олово	177	Золото	336
Железо	612	Медь	531
Алюминий	279	Никель	795
Кобальт	702	Платина	624

Поскольку в системе Fe–Al алюминий выступает в роли легирующей добавки, то в процессе формирования структуры покрытия основную роль будет играть железо. В системе Zn–Al легирующей примесью является цинк. Из таблицы 3 следует, что величины поверхностного натяжения железа и алюминия отличаются более чем в 2 раза. Это и обусловило резкое различие в структуре формируемых покрытий.

Заключение

Нанокompозитные покрытия представляют собой новую генерацию материалов. Поскольку для наноструктур основную роль в физических процессах играет поверхность, то и во всех случаях необходимо учитывать именно характеристики поверхности и, в первую очередь, поверхностное натяжение.

References

- 1 *Mihajlov A.N., Mihajlov V.A., Mihajlova E.A.* A ionic vacuum coverings — a basis of wide improvement of quality of products of mechanical engineering // Progressive technologies and mechanical engineering systems: International of Proceedings. — Donetsk: DNTU, 2004. — Vol. 28. — P. 108–115.
- 2 *Movchan B.A., Demchihin A.V.* Research of structure and properties of thick vacuum condensates of nickel, the titan, tungsten, the oxidised aluminium and the oxidised zirconium // FMM. — 1969. — Vol. 28. — № 4. — P. 23–30.
- 3 *Thornton J.A.* Structure and topography of sputtering coatings // Ann. Rev. Material Sci. — 1977. — Vol. 7. — P. 239–260.
- 4 *Barna P.B., Adamik M.* Formation and Characterization of the structure of surface coating // In Protective Coatings and Thin Films? / Edited Pfléau Y., Barna P.B. — 1977. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands. — P. 279–297.
- 5 *Vlasek J.* Magnetron sputtering of hard nanocomposite coatings and their properties // J. Surf. Coat. Technol. — 2001. — Vol. 142–144. — P. 557–566.
- 6 *Psakhie S.G., Zolnikov K.P., Konovalenko I.S.* Synthes and properties nanocrystals and substructural materials. — Tomsk: Tomsk state University, 2007. — 264 p.
- 7 *Kidjarov B.I.* Kinetika of formation of crystals from a liquid phase. — Novosibirsk: Nauka, 1979. — 134 p.
- 8 *Jurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H.* Superficial a tension of metals in liquid and firm phases // J. the Scientific life. — M.: Nauka, 2009. — № 5. — P. 18–21.

В.М.Юров, Е.Н.Вертягина, Қ.С.Бактыбеков, Н.Х.Ыбыраев, С.А.Гученко

Алюминийді балқыту негізіндегі иондық-плазмалық қабыршақ

Мақалада алюминийді балқыту негізіндегі композиттік қабыршақтарды зерттеу нәтижелері келтірілді. JEOL JSM-5910 электрондық микроскопта композиттік қабыршақтың элементтік құрамына сандық талдау жүргізілді. РНІ-RHO-Z арнайы бағдарламасы бойынша элементтер концентрациясының энергетикалық спектрлері математикалық жолмен өңделді. Фазалық әр түрлілігі және топография режимі өзінде құрастырылған, атомдық-күштік микроскоптың көмегімен композиттік қабыршақтың микроқұрылымы зерттелді. Локалды деформациялар қабыршақ механизмі жөнінде ақпарат алынды.

V.M.Jurov, E.N.Vertyagina, K.S.Baktybekov, N.H.Ibraev, S.A.Guchenko

Ionic-plasma coverings on the basis of aluminium alloys

In work results of research of composite coverings on the basis of aluminium alloys are resulted. The quantitative analysis of element structure of composite coverings was spent on electronic microscope JEOL JSM-5910. By mathematical processing of power spectra under special program PHI-RHO-Z concentration of elements have been defined researches of a microstructure of composite coverings by a method of the atomno-power microscopy, combining modes of topography and phase contrast are carried out. The information about the mechanism of local deformation of a covering is received.

Т.К.Балгабеков

Карагандинский государственный технический университет (btk@mail.ru)

Показатели транспортной обеспеченности и доступности Республики Казахстан

В работе приведен анализ транспортной обеспеченности Республики Казахстан. Рассмотрены пути совершенствования эксплуатационной работы железных дорог. Обсуждены вопросы повышения надёжности транспортного обслуживания потребителей транспортных услуг. Уделено внимание развитию сети автоматизированных пунктов коммерческого осмотра поездов и вагонов. Отмечено, что для повышения эффективности функционирования транспортной сети необходимо формирование единой комплексной транспортной системы.

Ключевые слова: анализ, транспортная обеспеченность, надёжность, формирование, железные дороги, эффективность.

Качество и уровень транспортного обслуживания страны определяется показателями транспортной обеспеченности и доступности, которые зависят от протяженности путей сообщения, их пропускной и провозной способностей, географического расположения транспортных линий и других факторов.

Для своевременного качественного и полного удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в перевозках, повышения экономической эффективности его работы необходимо обеспечить согласованное развитие единой транспортной системы страны, её взаимодействие с другими отраслями народного хозяйства. Необходимо совершенствовать координацию работы всех видов транспорта, устранять нерациональные перевозки, сокращать сроки доставки грузов и обеспечивать их сохранность. На железнодорожном транспорте требуется: совершенствовать эксплуатационную работу железных дорог, производить ремонт и содержать в исправном состоянии пути и подвижной состав; значительно повысить производительность локомотивов и вагонов, среднюю массу грузовых поездов; увеличивать скорости движения поездов; ускорить оборот вагонов; повысить пропускную и провозную способность железных дорог; увеличить перерабатывающую способность сортировочных, грузовых и пассажирских станций; ускорить дальнейшее развитие и техническое перевооружение локомотивных и вагонных депо, заводов по ремонту подвижного состава, производству запасных частей и стрелочных переводов [1].

На основе проводимой на железнодорожном транспорте радикальной экономической реформы должно быть достигнуто повышение эффективности и качества грузовых и пассажирских перевозок, непосредственно связанное с внедрением интенсивной технологии перевозок, строгим соблюдением технологической и трудовой дисциплины, полным обеспечением безопасности движения поездов, улучшением стиля и методов руководства на всех уровнях управления.

Технологическое оснащение железных дорог зависит от научно-технических достижений и объёма выполняемой работы. Наряду с этим замена старого, морально устаревшего оборудования обеспечивает высокое качество и эффективность работы транспорта, сопровождаемое увеличением производительности труда и снижением себестоимости перевозки грузов и пассажиров.

При большой протяженности сети железных дорог время доставки груза от пункта отправления до пункта назначения может оказаться значительным. Естественно, что грузоотправитель желает иметь достоверную информацию о том, где находится его груз в тот или иной момент времени.

По общепринятой теории транспортная обеспеченность страны или региона характеризуется густотой сети d_s , км/1000 км², изменяемым отношением эксплуатационной сети L_s , к площади территории S :

$$d_s = 1000 L_s / S. \quad (1)$$

При равной площади регионов густота сети может быть определена численностью населения H , d_H , км/1000 чел.

$$d_H = 1000 L_s / H. \quad (2)$$

Для обобщенной характеристики транспортной обеспеченности можно применить густоту сети d_s , км с учетом площади и численности населения

$$d_s = L_s / \sqrt{S \cdot H}. \quad (3)$$

При одинаковой площади и численности населения потребность в перевозках зависит от структуры, объема и размещения производства, выражаемых объемом предъявляемых к перевозке грузов Q тыс. т:

$$d_y = L_s / \sqrt[3]{S \cdot H \cdot Q}. \quad (4)$$

Для определения комплексного показателя густоты сети d_k различных видов транспорта применяется приведенная длина путей сообщения $L_{прив}$, км и указывается только обжитая площадь рассматриваемого региона S_0 :

$$d_k = L_{прив} / \sqrt[3]{S_0 \cdot H \cdot Q}. \quad (5)$$

С учетом сопоставляемых уровней пропускной и провозной способностей коэффициент приведения транспортных линий на 1 км железной дороги в средних условиях принимается: для усовершенствованной автомобильной дороги — 0,45; для автомобильной дороги с твердым покрытием — 0,15; для водного транспорта — 0,25; для магистрального газопровода — 0,25; для нефтепровода — 1 [1, 2]. Пользуясь этими коэффициентами, с определенной степенью условности можно сравнить транспортную обеспеченность Республики Казахстан с другими странами (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Показатели транспортной обеспеченности некоторых стран мира

Страны и регионы	$d_s^{жд} = \frac{L_{жд}}{S_0}$	$d_s^a = \frac{L^a}{S_0}$	$d_s^0 = \frac{L_{прив}}{S_0}$	$d_s = \frac{L_{прив}}{\sqrt{S_0 \cdot H}}$	$d_k = \frac{L_{прив}}{\sqrt[3]{S_0 \cdot H \cdot Q}}$
Мир в целом	1,81	15,6	8,2	11,5	3,1
СНГ	6,5	52	50	10,6	2,6
Азия	1,35	13,8	5,7	4,4	1,4
Африка	0,5	2,1	1,2	2,8	1,1
США	30,2	62,3	28,4	54,3	10,5
Россия	5,01	29,41	18,3	6,8	2,0
Казахстан	5,23	32,59	19,7	8,5	4,36

Оценка транспортной обеспеченности страны необходима не только для обоснования перспектив развития сети и эффективного использования средств, которые расходуются на их строительство, но и для выбора рациональных пропорций между транспортом и другими отраслями экономики.

В транспортном комплексе совершенствование путей сообщения, увеличение их густоты и соответствия по направлениям, характеру и размерам выполняемых перевозок приводит к снижению энергетических и эксплуатационных затрат, уменьшению потребности в транспортных средствах, т.е. к улучшению эксплуатационных показателей. В целом эффективность транспортной обеспеченности оценивается главным образом по величине снижения транспортных издержек, затрачиваемых при выполнении перевозочных процессов. Из таблицы 1 видно, что Республика Казахстан имеет достаточно высокую транспортную обеспеченность (при расчете на 1000 км² территории, 10000 чел. населения, 1000 т перевезенного груза) по сравнению со странами СНГ и России (4,36 км, против 2,6 км и 2,0 км). Однако некоторая разобщенность территории и малое население страны определяют

низкую транспортную обеспеченность по сравнению с некоторыми странами СНГ (Украина, Белоруссия, Узбекистан) в развитии железных и автомобильных дорог. В связи с этим для улучшения обеспечения потребностей предприятий в перевозках, в особенности сельскохозяйственных, а также сокращения сроков сообщения между отдельными районами, освоения природных богатств, реализации транспортно-экономических связей требуется дальнейшее развитие транспортных сетей страны.

Развитая транспортная сеть ускоряет экономическую интеграцию, что в рыночных отношениях углубляет специализацию и концентрацию производства, территориальное разделение труда. Экономическая интеграция одновременно ускоряет социальную мобильность трудящихся, расширяет их обмен опытом, знаниями, культурой.

В Казахстане население размещено крайне неравномерно. Почти 40 % жителей расселены на 17 % территории юга и юго-востока страны. Остальные 83 % площади расселения носят оазисный характер. Соответственно и обуславливает уровень транспортной обеспеченности регионов республики (табл. 2).

Таблица 2

Показатели транспортной обеспеченности регионов Республики Казахстан

Области	$d_s^{жд} = \frac{L_{жд}}{S_0}$	$d_s^a = \frac{L^a}{S_0}$	$d_s^0 = \frac{L_{прив}}{S_0}$	$d_s = \frac{L_{прив}}{\sqrt{S_0 \cdot H}}$	$d_k = \frac{L_{прив}}{\sqrt{S_0 \cdot H \cdot Q}}$
Алматинская	5,01	43,41	24,54	9,29	4,03
Восточно-Казахстанская	4,7	39,8	22,61	9,88	3,07
Павлодарская	6,72	39,68	24,57	9,96	1,86
Северо-Казахстанская	9,01	76,87	43,6	16,43	5,07
Костанайская	5,89	46,89	26,82	12,25	2,51
Акмолинская	9,39	54,1	33,74	15,2	4,04
Карагандинская	4,29	20,45	13,49	7,6	2,02
Жамбылская	7,23	28,55	20,1	7,7	2,39
Южно-Казахстанская	4,78	44,97	25,01	5,98	1,63
Кызылординская	3,38	11,57	8,58	5,24	2,49
Актюбинская	3,79	20,57	13,04	8,73	2,87
Западно-Казахстанская	2,76	35,45	18,71	9,39	3,62
Атырауская	6,33	23,32	16,83	8,64	1,93
Мангистауская	4,73	15,79	11,83	8,34	1,85

Густота транспортных сетей наиболее низка в Западных и Северо-Западных регионах и наиболее высока в Южных и Центральных регионах. Низкие темпы строительства железных и автомобильных дорог задерживают региональное развитие промышленного и сельскохозяйственного производства, увеличивают потери общества, снижая материальные ресурсы в отдельных районах республики.

Сравнение транспортной обеспеченности с некоторой степенью условности носит общий характер. Поэтому следует также учитывать интенсивность использования транспортных ресурсов и их доступность.

Относительными показателями интенсивности использования транспортных ресурсов можно считать отношение удельного приведенного грузооборота соответственно на 1000 км² площади, 10000 жителей и 1000 т перевезенной в регионе продукции:

$$d_s^{zp} = \frac{\Sigma PL_{прив}}{S}; \quad d_s^{zp} = \frac{\Sigma PL_{прив}}{\sqrt{SH}}; \quad d_k^{zp} = \frac{\Sigma PL_{прив}}{\sqrt[3]{SHQ}}. \quad (6)$$

Интенсивность использования транспорта в Республике Казахстан непрерывно растет в последние годы (табл. 3).

Макроэкономический показатель уровня транспортного обслуживания d_m можно оценить объемом приведенного грузооборота в тонно-километрах, приходящихся на единицу национального дохода (валового внутреннего продукта ВВП) страны:

$$d_m = \Sigma PL_{прив} / ВВП. \quad (7)$$

Интенсивность использования транспорта в Республике Казахстан в 1991–2003 годы

Показатели	Годы							
	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2002	2003
d_s^{zp} тыс. т км	150,8	92	55,5	51	45,7	71	83	124
d_z^{zp} тыс. т км	205,5	125,3	75,5	69,5	63,7	96,7	104,1	165
d_k^{zp} тыс. т км	52,6	36,2	26,6	28,6	22,4	31,7	42,1	53,1

В нормальных условиях развития государства темпы роста удельной величины транспортных работ должны соответствовать темпам прироста валового внутреннего продукта. Эти соотношения в значительной мере зависят от общей транспортной политики государства, направленной на оптимизацию транспортной работы, сокращение затрат на перевозки, рациональное размещение и развитие производительных сил и транспорта. В перспективе должны быть повышены уровни доступности транспорта потребителям транспортных услуг, которые определяются как средневзвешенная величина затрат времени на перемещение транспортной продукции в регионе в зависимости от конфигурации размещения и густоты его транспортной сети

$$d_g^{zp} = \frac{\sum Pt_{zp} \cdot S_0}{\sum Pl_{zp} \cdot L_{прив}}, \quad (8)$$

где $\sum Pt_{zp}$ — суммарное время доставки грузов в регионы за год, тонно-час.

Этот качественный показатель характеризует надежность транспортного обслуживания потребителей транспортных услуг. Уровень транспортной доступности для потребителей транспортных услуг в определенной мере свидетельствует об уровне цивилизации и развития инфраструктуры в государстве, а его повышение способствует улучшению социально-экономического положения страны. По нормативным расчетам считается надежной такая сеть всех видов путей сообщения в регионе, которая позволит достичь любой его точки из любой другой за время, определенное нормативом (для внутриобластных — 3–4 часа, для межобластных — 2–3 суток). В Казахстане этот показатель по всем видам транспорта составляет 4,8 часа для внутриобластных и 1,98 суток для межобластных перевозок [3].

В настоящее время реализуются мероприятия, направленные на развитие магистрального и промышленного транспорта: внедрение новейших универсальных и специализированных транспортных средств; увеличение грузоподъемности и мощности подвижного состава. Кроме того, улучшается взаимодействие различных видов транспорта, совершенствуется технология организации перевозок, ускоряется внедрение высокоэффективных машин и высокосовременных систем автоматического управления. В производстве, плановых расчетах, сфере учета и управления широко применяются компьютерные технологии.

Одной из основных задач в развитии транспортной системы становится наиболее полное удовлетворение населения в качественных транспортных услугах. Анализ работы транспортной системы в различные периоды показал, что транспорт должен развиваться темпами, определяющими потребности народного хозяйства и населения в перевозках и этим стимулировать темпы их роста, улучшение экономических показателей, повышение подвижности населения, способствовать решению задач товарооборота.

Рыночные отношения повышают требования к качеству грузовой и коммерческой работы. Это область, которая должна обеспечивать повышение доходных поступлений за счет совершенствования связи с грузоотправителями и другими видами транспорта, прогнозирования объемов перевозки грузов, механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ и проч.

Повышение уровня механизации погрузочно-разгрузочных работ сократит потребность в рабочей силе и время простоя вагонов под грузовыми операциями и снизит себестоимость погрузочно-разгрузочных работ.

Будут развиваться сети автоматизированных пунктов коммерческого осмотра поездов и вагонов, позволяющие максимально вывести приемосдатчиков и приемщиков поездов из опасной зоны, повысить качество осмотра поездов.

Добиваясь повышения маршрутного отправления грузов повсеместно на дорогах с различной структурой вагонопотоков, следует иметь в виду, что в условиях высокой загрузки большинства сортировочных станций пропуск через станцию транзитом хотя бы одного дополнительного назначения маршрутных поездов приводит к заметному улучшению показателей ее работы. Из-за создания более легкого режима пропуска поездов через горку простои вагонов в системе расформирования снижаются на 1 %, сокращаются задержки на подходах к станции, повышается надежность работы горочных устройств. Все это, в конечном итоге, способствует увеличению пропускной и провозной способности железных дорог, особенно на грузонапряженных направлениях.

Следовательно, с помощью ЭВМ должно быть найдено такое решение, которое являлось бы по технико-экономическим показателям оптимальным как для отправителей и получателей грузов, так и для железнодорожной перевозочной системы. Современный этап внедрения АСУ, предусматривающий переход от сбора, накопления и обработки информационных данных к выработке и принятию решений с доведением их до непосредственных исполнителей, позволяет обеспечить такое оптимальное решение.

За последние годы существенный рост дальности перевозок, повышение объема маршрутизации, увеличение рейса вагона практически не привели к уменьшению количества переработок и, следовательно, к повышению коэффициента транзитности. И систематически растущий потенциал транзитности не увеличивает коэффициента транзитности, а погашается в результате повторных переработок. Вагонопотоки, дальность следования которых возрастает, обладают наибольшим потенциалом транзитности, распределяются по многочисленным вагонным струям. Но это не приводит к увеличению их мощности, чтобы можно было выделить их в самостоятельные назначения.

Технико-экономическая эффективность при улучшении эксплуатационных показателей определяется величиной экономии капиталовложений в технические средства, ускорением окупаемости вложенных средств благодаря интенсификации их использования, ускорением оборачиваемости оборотных средств в результате сокращения объемов грузов, находящихся в процессе перемещения, сокращением сроков доставки грузов, снижением трудовых затрат, эксплуатационных расходов на единицу перевозочной работы (т-км), сокращением доли сопутствующих затрат (например, на маневровую работу, расход энергии и т.д.).

С позиции эффективности функционирования транспортной сети особое значение имеет проблема формирования единой комплексной транспортной сети и оптимизации региональных связей с учетом распределения перевозок по видам транспорта.

References

- 1 The Statistical year-book of Kazakhstan. — Almaty, 2004. — 812 p.
- 2 Kazakhstan per 1991–2002. Republic Kazakhstan agency on the statistician. — Almaty, 2002.
- 3 *Sabetov A., Sarbaev S.Sh.* Characteristic of a railway transportation of Republic Kazakhstan during the period about 1992–2002 // The Bulletin of NAN PK. — 2004. — № 2. — P. 26–32.

Т.К.Балгабеков

Қазақстан Республикасы көлікпен қамтамасыз етілуі мен қолжетерлігінің кешендік көрсеткіштері

Мақалада желідегі әр түрлі көлік түрлерінің кешендік көрсеткіштерінің жиілігі анықталған. Жалпы Қазақстан және әлемдік көліктер саласы бойынша талдау нәтижелері келтірілген. Көлік саласындағы пайдалану жұмыстары бойынша есептеулер көрсетілген. Еліміздің көлік саласында қамтамасыз етілуі жөнінде облыстық көрсеткіштер және жалпы Тәуелсіз Мемлекеттер Достастығы бойынша да салыстырмалы түрде мысалдар қарастырылған.

T.K.Balgabekov

Factors to transport supply and accessibility of the Republic Kazakhstan

In article were determinate complex indicators of system density of different type of transport with an allowance for directions. As a theoretical and methodical basis for research were used propositions of fundamental and applied sciences: expert system of analyses of technical and technological parameters of the chain of transport and structure, effectiveness of investment projects; modeling of management; and also scientific and methodic researches of Kazakhstani and foreign scientists and specialists in the development of the transport and structure management of the freight delivery chain.

Д.М.Закиев, Г.П.Амочаева

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (Karaganda_07@mail.ru)

Модернизация сетей абонентского доступа города Сарани

В статье рассмотрены модернизация сетей абонентского доступа города Сарани, переход от аналоговой системы доступа, основанной на технологии коммутации каналов, на цифровую на основе технологии коммутации пакетов. Приведен поэтапный переход, начиная от выбора структуры главной магистральной сети, до экономически выгодного расположения распределительных шкафов, с введением системы мониторинга сетью Softswitch. Отмечено, что модернизация связана с ростом интернет-технологий и вытеснением классической телефонной связи.

Ключевые слова: сети абонентского доступа, Next Generation Network, сети следующего поколения, технология ADSL, ADSL2, автоматическая телефонная станция, «самовосстанавливающееся кольцо» SDH.

В современном телекоммуникационном мире наблюдаются кардинальные изменения, связанные с интенсивным развитием интернет-технологий, цифровых систем связи и их быстрым внедрением в широкие слои населения. Происходит широкомасштабная «интернетизация» общества, которую, по сути, можно считать научно-технической революцией. Эта причина и послужила толчком в появлении новой концепции NGN (Next Generation Network — сетей следующего поколения).

Сети NGN — это техническое решение, появившееся на этапе развития цифровой связи, когда трафик данных оказался важнее речевого трафика, а компьютеры — важнее телефонов [1]. Действительно, доля передачи трафика данных динамически растет и становится доминирующей в современном телекоммуникационном мире (динамика развития передачи трафика данных за последние годы приведена на рис. 1).



Рисунок 1. Оценка динамики развития трафика данных в современных сетях связи

Доминирование на сегодняшний день трафика данных над речевым трафиком составляет основу идеологии сетей NGN. Эра NGN очень важна в данный момент как для бизнеса, так и для всего общества в целом, так как ни одна технология «коммутации каналов» практически не способна удовлетворить динамически растущие требования к передаче данных.

Поэтому несколько лет назад стали появляться совершенно новые услуги, как на базе традиционных сетей, так и в сетях с пакетной коммутацией, прежде всего, мультисервисные сети TriplePlay [2].

Технология TriplePlay предъявляет серьезные требования как к магистральным, так и к абонентским сетям. Удовлетворить эти требования под силу только сетям NGN, ориентированным на коммутацию пакетов, поскольку только цифровые сети NGN удовлетворяют высокой пропускной способности каналов связи.

Существующие на данный момент абонентские телефонные сети не способны обеспечить рост пропускной способности канала, какие бы совершенные технологии, ориентированные на коммутацию каналов, не вводились. В современном телекоммуникационном мире настал тот переломный момент, когда необходима модернизация сетей абонентского доступа. Бесспорно, какое-то время можно оставаться на таких технологиях, как ADSL, ADSL2, ориентированных на коммутацию каналов и дающих возможность предоставлять операторам связи по одной выделенной линии телефонную связь, широкополосный интернет, IP-TV и обойтись без каких-либо модернизаций сетей абонентского доступа. Но важно также учесть с каждым годом растущее число абонентов, подключающихся к технологиям ADSL, ADSL2, в связи с чем телекоммуникационное оборудование, абонентские сети, ориентированные на коммутацию каналов, испытывают колоссальные нагрузки, не справляются с большими потоками информации. Новая технология TriplePlay практически не пригодна для таких сетей. Операторы связи могут понести со временем убытки, а абоненты будут получать ограниченный спектр телекоммуникационных услуг. Модернизация сетей абонентского доступа неизбежна, она даст новый мощный толчок развитию телекоммуникационной инфраструктуры, особенно это актуально для динамически развивающегося Казахстана.

В данной статье рассматривается модернизация сетей абонентского доступа г. Сарани, основной целью которой является переориентирование существующей в городе аналоговой телекоммуникационной инфраструктуры на цифровую, основанную на коммутацию пакетов. Все это объясняется тем, что в городе имеются все предпосылки к данным преобразованиям. Наблюдается рост промышленной инфраструктуры, связанной не только с горной индустрией, но также с бурным развитием других предприятий (в частности, Казцентрэлектропровод), которые, несомненно, нуждаются в надежной и более качественной системе связи.

Для обеспечения высококачественной и многофункциональной связи были решены следующие задачи, представляющие собой этапы модернизации сети абонентского доступа:

- 1) разработка принципа организации транспортной сети;
- 2) введение системы мониторинга в транспортную сеть NGSDH;
- 3) замена телекоммуникационного оборудования на городской АТС;
- 4) выбор телекоммуникационного кабеля;
- 5) оптимальное определение места расположения распределительных шкафов РШ внутри города;
- 6) расчет нагрузки и количества потоков от каждого распределительного шкафа;
- 7) выбор типа оборудования, удовлетворяющего полученной пропускной способности.

Существует множество способов организации транспортной сети NGSDH:

- «точка–точка»;
- «звезда»;
- многоточечное соединение «добавление/выделение».

Нами предложена двунаправленная самовосстанавливающаяся кольцевая структура транспортной сети NGSDH, которая приведена на рисунке 2.

Основные преимущества двухпроводной самовосстанавливающейся кольцевой структуры над перечисленными выше заключаются в:

- обеспечении полного охвата сетью города, что способствует оптимальному расположению коммутаторов, удобной связи центральной АТС с важными телекоммуникационными узлами внутри города, а также сохраняет работоспособность при разрыве оптической линии в любом месте;
- эффективных решениях по вводу и выводу цифровых потоков;
- быстрых алгоритмах самовосстановления;
- стандартных сигнальных интерфейсах;
- простоте управления, эксплуатации, администрирования и обеспечения работоспособности сети;
- сохранении работоспособности при разрывах;
- легкости доведения данной структуры до радиальной;

- в возможности на основе IP перемешивать различные сети доступа и обеспечивать весь перечень услуг технологии TriplePlay;
- наиболее полном соответствии требованиям к качеству и надежности связи, большой степени помехозащищенности сигналов и гораздо более высоких технико-экономических показателях по сравнению с существующей аналоговой телекоммуникационной инфраструктурой.

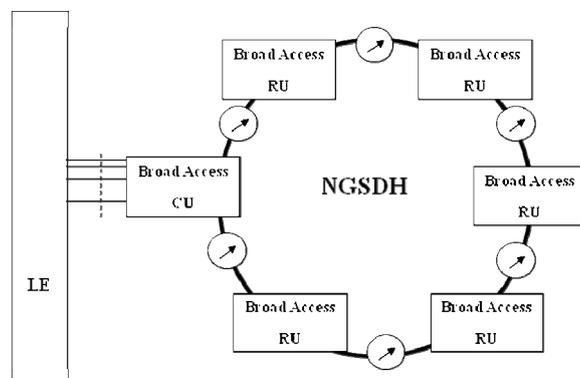


Рисунок 2. Конфигурация «самовосстанавливающееся кольцо»

В качестве связующих звеньев в транспортной сети NGSDH выбрано оборудование BroadAccess, поскольку оно зарекомендовало себя более чем в 50 странах мира своей надежностью и эффективностью. В Казахстане также имеются сервисные центры по обслуживанию данного оборудования, что позволяет значительно уменьшить затраты на ремонт при выходе оборудования из строя.

BroadAccess — это интегрированная многофункциональная платформа доступа (IMAP), которая позволяет провайдерам предоставлять любые комбинации широкополосных услуг [3]. Система BroadAccess обладает гибкой архитектурой TDM/ATM/IP и интегрированным интерфейсом волоконно-оптической передачи SDH, NGSDH и предназначена для предоставления комплексного решения для сети доступа.

К основным функциям BroadAccess относятся:

- мультисервисная поддержка: высокоскоростная объединительная плата с комбинированием TDM/ATM/IP поддерживает различные услуги передачи голоса и данных;
- гибкость: объединенный трафик может передаваться через любое встроенное устройство в различных топологических схемах (защита устанавливается отдельно), таких как кольцо NGSDH. Кроме того, по необходимости, могут осуществляться концентрация трафика, подготовка и мультиплексирование данных;
- модульность: съемные платы позволяют легко наращивать и модернизировать систему без прерывания услуг;
- разнообразные подключения: взаимодействует с местной АТС TDM через V5.1/V5.2 или 2W-соединение, с сетями нового поколения через протоколы VoIP, с магистральными линиями ATM через STM-1 и магистральными линиями IP через Fast-Ethernet или Gigabit-Ethernet;
- резервирование (предоставляется отдельно): обеспечивает защиту от сбоев цепей управления, коммутирования, передачи (в том числе защиту маршрута на NGSDH-кольцах) и питания;
- компактность, обеспечиваемая высокой плотностью компоновки сервисных плат TDM, а также обеспечивает соединение всех сервисных слотов и слотов передачи для поддержки услуг завтрашнего дня, таких как VDSL, местные интерфейсы ATM, Gigabit Ethernet и коммутируемая передача цифрового видео (SDV) в режиме реального времени.

Для оптимальной связи сетевых элементов с транспортным кольцом использовался метод графной интерпретации, позволяющий развертывать сети нового поколения с минимальными экономическими затратами. Суть данного метода заключается в том, чтобы максимально приблизить сетевые элементы к абонентам, а это, в свою очередь, дает возможность значительно сэкономить на прокладывании телекоммуникационного кабеля.

Решение данной задачи проходило в два этапа:

1. Определялись предполагаемые области, где будут примерно располагаться сетевые элементы (рис. 3).

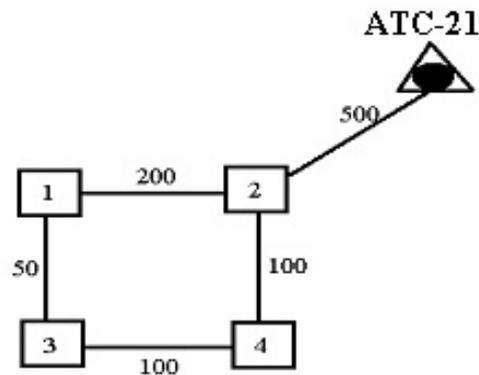


Рисунок 3. План шкафного района

2. По заданным данным: расстояние, емкость шкафов, стоимость кабеля — была составлена матрица данных (1):

$$\begin{matrix}
 0 & 200 & 50 & 150 \\
 200 & 0 & 200 & 100 \\
 50 & 200 & 0 & 100 \\
 150 & 100 & 100 & 0
 \end{matrix} \quad (1)$$

Основной расчет матрицы с условием технических ограничений по сопротивлению кабеля и по затуханию сигнала проводился по специальной программе, написанной на языке Pascal, которая анализирует массивы данных и выбирает оптимальное место расположения РШ. Результат программы приведен на рисунке 4, из которого видно, что оптимальное место расположения РШ — область 2.

```

TPX.EXE
Turbo Pascal Version 7.1 Copyright (c) 1983,97 Borland International
vvedite N
160 160 30 10

vvedite matrix A
0 200 50 150
200 0 200 100
50 200 0 100
150 100 100 0

vvedite St=
700 500 750 600

Optimalnoe mesto raspologeniya RSH: 2
  
```

Рисунок 4. Результат программы

После того как было определено необходимое количество для города РШ, нужно было рассчитать, какую нагрузку на АТС создают РШ в городе. Согласно ведомственным нормам технологического проектирования (ВНТП 112–79) [3] следует различать три категории (сектора) источников: деловой сектор, квартирный сектор и таксофоны.

При этом интенсивность местной возникающей нагрузки может быть определена, если известны следующие ее основные параметры:

- N_d , N_{kv} — число телефонных аппаратов и компьютеров, подключенных к интернету квартирного сектора, делового сектора;
- N_t — число таксофонов;
- C_d , C_{kv} , C_t — среднее число вызовов в ЧНН от одного источника i -й категории;

- Тд, Ткв, Тт — средняя продолжительность разговора абонентов i -й категории в ЧНН;
- Рр — доля вызовов, закончившихся разговором.

Продолжительность отдельных операций по установлению связи, входящих в формулу, принимается следующей:

- время прослушивания сигнала ответа станции $t_{co} = 3$ с;
- время набора n знаков номера с дискового ТА $n \cdot t_n = n \cdot 1,5$ с;
- время набора n знаков номера с тастатурного ТА $n \cdot t_n = n \cdot 0,8$ с;
- время посылки вызова вызываемому абоненту при состоявшемся разговоре $t_{пв} = 7-8$ с;
- время установления соединения t_y с момента окончания набора номера до подключения к линии вызываемого абонента, зависящее от вида связи, не делая большой погрешности, можно принять $t_y = 2$ с.

Для возникающей местной нагрузки составим программы на языке Pascal, с помощью которой рассчитаем нагрузку для цифровых абонентов. Результаты приведены на рисунке 5 в Эрлангах.

```

TPX.EXE
Voznikayushey nagruzka
Y=18.2
Megdugarodnaya nagruzka
Ymg=17.7
Megdunarodnaya nagruzka
Ymn=3.5
Nagruzka k Internet(LVS)
Yvxod=0.3
Yisxod=0.6
Nagruzka k Internet(ISDN)
Yvxod1=7.5
Yisxod1=15.0
    
```

Рисунок 5. Результаты нагрузки цифровых абонентов

При разработке транспортной сети NGSDH большое внимание было уделено системе мониторинга сети. Так, предполагается введение новой системы управления Softsvitch или системы сигнализации Softsvitch, поскольку Softsvitch разработана специально для сетей NGN [4], она обеспечивает в мультисервисных сетях управление соединением, разъединением линий связи для ТфОП, сигнализацию ОКС-7 (SP или STP), равномерное распределение нагрузки пакетного трафика на коммутаторы, управление транспортными шлюзами (Media Gateway Controller — MGC).

Одно из преимуществ Softsvitch над существующей аналоговой сетью состоит в том, что в ней отделены функции управления от функций коммутации. Такой подход разделения особенно эффективен при модернизации одновременно нескольких станций, целесообразно применение АТС большой емкости с выносными концентраторами, решающими задачи управления сетью. К достоинствам этого варианта относится централизация управления и, как следствие, меньшая стоимость концентратора на каждую АТС, поскольку выносные системы управления позволяют управлять несколькими АТС одновременно.

Модель схемы модернизированной системы абонентского доступа города Сарани с учетом сигнализации Softsvitch приведена на рисунке 6.

На основании изложенного выше материала можно сделать следующие выводы:

- в статье была представлена модернизированная модель транспортной сети NGSDH г. Сарани, которая отвечает основным требованиям сетей нового поколения NGN;
- в процессе разработки модели транспортной сети NGSDH были учтены основные характеристики г. Сарани. Так, при выборе кольцевой структуры транспортной сети NGSDH в качестве резервного канала была предложена радиорелейная связь между оборудованием Broad Access в пределах передачи до 6 км, а не радиальное проведение кабеля внутри кольца.

Данный подход не только значительно дороже, но и подразумевает проведение кабеля вдоль города, что крайне затруднительно при прокладке траншей;

- с помощью метода графной интерпретации и разработанной программы на языке Delphi удалось максимально приблизить сетевые элементы к абонентам, что позволит сэкономить на прокладке телекоммуникационного кабеля.

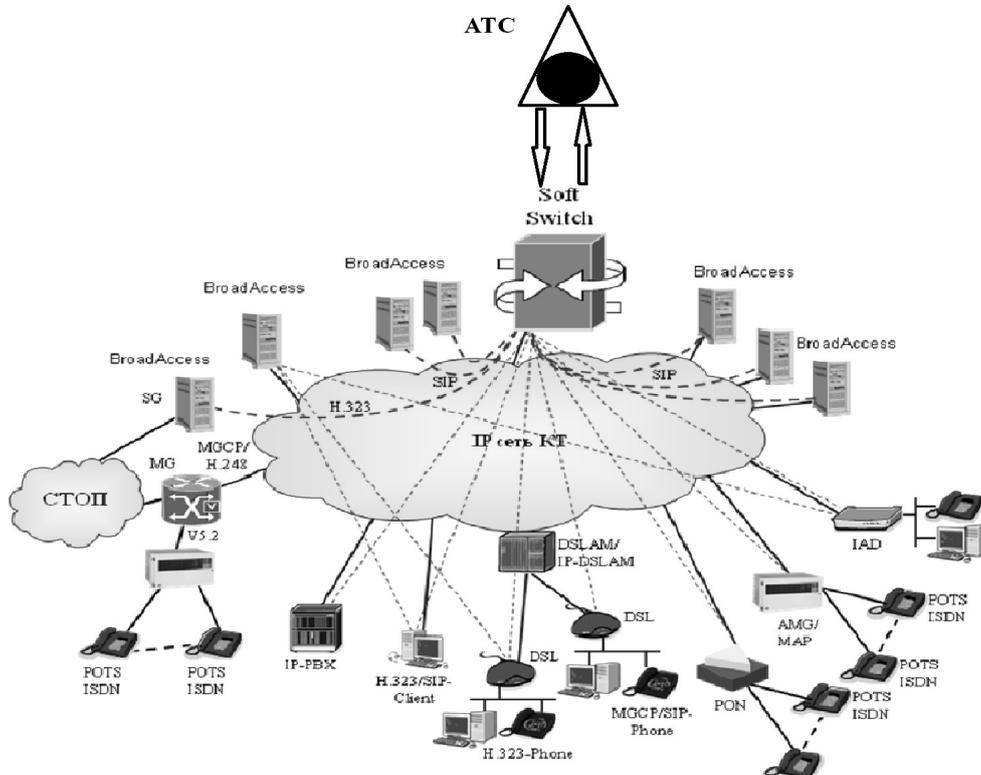


Рисунок 6. Модель схемы модернизированной системы абонентского доступа города Сарани

Модернизация сети абонентского доступа позволит предоставлять пользователям следующие услуги:

- выделение высокочастотных сетей связи, обеспечивающих передачу в цифровой форме аудио- и видеoinформации, объединение локальных корпоративных сетей, удовлетворяющих всем требованиям NGN для различных учреждений и предприятий;
- объединение в рамках выделенной сети распределенных вычислительных и коммуникационных ресурсов (баз данных, узлов электронной почты, центров коммутации пакетов);
- предоставление цифровых каналов для других компаний операторов, использующих различные технологии связи;
- базируется на технологии САД и предоставляет различные виды связи;
- связь с базовыми станциями, доступ к мировым информационным ресурсам;
- высокоскоростные и высококачественные каналы, приспособленные для передачи данных и др., с реализацией услуг по контролю и управлению выделенными каналами.

References

- 1 *Baklanov I.A.* SDH→NGSDH: practical look on the progress of transport net. — M.: Metrotek, 2006. — 56 p.
- 2 *Baklanov I.A.* NGN: principle of building and organizations. — M: Eko-Trendz, 2008. — 107 p.
- 3 *Kashin M.V.* Messenger of communication. — 2006.
- 4 *Gol'dshteyn B.S.* Signalization in the communication of link. — M.: Radio and Communications, 2007. — 150 p.

Д.М.Закиев, Г.П.Амочаева

Саран қаласының абоненттік қызмет көрсету желісін жетілдіру

Мақалада Саран қаласының абоненттік рұқсат етілуін Broad Access технологиясының көмегімен жетілдіру әдісі келтірілген. Желінің топологиясы қарастырылған. Коммутациялық шкафтардың есептеулері Pascal тілінде жазылған арнайы бағдарламаның көмегімен жүргізілді. Басқару жүйесі және сигнализация ретінде Softsvitch қолдану жоспарланып отыр. Абоненттік рұқсат ету жүйесін жетілдіру телекоммуникациялық қызмет көрсету аймағын кеңейтуге мүмкіндік береді.

D.M.Zakiev, G.P.Amochaeva

Modernization of subscription access nets of Saran town

In this article described improvement of users accesses using the Broad Access technology in Saran town as example. The net topology is considered. The calculation of the communication boxes are made by the specifies program, written in a Pascal. Softsvitch is used as a signaligant managing system. In improvement of system of users accesses avows us to enlonge the amount of communication services.

Ж.К.Ищанова, Г.П.Амочаева

Карагандинский государственный университет им.Е.А.Букетова (Zhan7688@mail.ru)

Исследование влияния речевых кодеков на качество передачи цифрового сигнала

В статье рассмотрено влияние кодека САМ на речевой сигнал. Оценка произведена с помощью имитационной программы. Модель построена на Borland C++ Builder 6. Получены результаты, показывающие, что недостаток защиты зависит от САМ номера. Отмечено, что программа может быть использована при разработке новых телекоммуникационных устройств и образовательного процесса.

Ключевые слова: кодек, речевой сигнал, защита, имитационная программа, телекоммуникации.

Актуальность этой темы заключается в том, что на данный момент передача данных по существующим телефонным каналам с помощью модема остается самым приемлемым и доступным видом связи, потому что для внедрения высокоскоростных технологий, таких как xDSL, Ethernet, передача данных в сетях мобильной связи 2-го и 3-го поколений, требуется модернизация сети связи и установка дорогостоящего оборудования. В телефонии используется передача данных по аналоговым каналам с помощью модема — технология dial-up. Это объясняется широким распространением и доступностью таких каналов, изначальное назначение которых — передача речи. Если в распоряжении абонента находится только аналоговый канал, то только модем может решить его задачи по передаче данных. Особенно востребованным модемный доступ остается на ведомственных сетях связи (например, на сетях энергетиков, нефтяников), а также в удаленных и малонаселенных районах Казахстана.

Передача данных по аналоговым каналам может осуществляться с использованием как одномерных сигналов амплитудно-импульсной модуляции (РАМ-технология), так и двумерных сигналов квадратурной амплитудной модуляции (КАМ-технология). Сейчас внедряются также цифровые участки, так как цифровой информацией легче управлять, она менее подвержена влиянию помех, ее легче выделять на фоне шумов и других искажений. Казахская телефонная сеть общего пользования содержит как аналоговые, так и цифровые участки.

В данной статье рассматривается влияние речевых кодеков на качество передачи цифровых сигналов по телефонным каналам, а именно влияние аналого-цифрового преобразователя на передачу КАМ-сигналов, так как эти сигналы подвергаются воздействию специфических искажений, которые невозможно смоделировать аддитивным гауссовским шумом, что связано с нелинейностью используемых квантователей. В связи с этим дальние от центра точки созвездий КАМ-сигналов подвержены более сильному воздействию искажений, чем ближние. Ряд проблем, касающихся влияния речевых кодеков, в частности, логарифмических, на качество передачи КАМ-сигналов, в научной литературе освещен недостаточно.

Оценка степени влияния речевых кодеков на качество передачи цифровых сигналов осуществляется путем компьютерного моделирования.

Для того чтобы произвести оценку степени влияния, нужно решить следующие задачи:

- произвести сравнительный анализ существующих методов аналого-цифрового преобразования речевых сигналов;
- проанализировать свойства сигналов квадратурной амплитудной модуляции (КАМ-сигналы);
- осуществить теоретический анализ влияния кодеков ИКМ (импульсно-кодовая модуляция) на качество передачи КАМ-сигналов;
- создать имитационную модель воздействия аналого-цифрового преобразования на КАМ-сигнал;
- исследовать полученную модель.

При выполнении поставленных задач были использованы методы теории цифровой обработки сигналов, теории цепей и сигналов, теории электрической связи, теории информации и случайных процессов, методы математической статистики и машинного моделирования.

Выбор пути решения поставленной проблемы заключается в том, что с помощью компьютерного моделирования создается имитационная модель воздействия квантователя речевого кодека на

КАМ-сигналы, по которой можно оценить влияние как собственного шума системы — аддитивного шума, так и других шумов.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму могут использоваться различные методы кодирования — временные, частотные, параметрические. Методы частотного кодирования информации заключаются в модуляции информационным сигналом на так называемых несущих частотах. Методы временного кодирования заключаются в точном описании и воспроизведении формы колебаний во времени, т.е. мы кодируем непосредственно форму сигнала. К ним относятся: импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) с равномерной и неравномерной шкалой квантования, дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ), дельта-модуляция, адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ), кодирование с разбиением на поддиапазоны. Параметрическое кодирование основывается на использовании вокодеров, которые используют анализ для преобразования и представления в сжатой форме и синтез для восстановления исходного речевого сигнала на основе его сжатого представления. Наилучшими принято считать методы временного кодирования, потому что с их помощью можно достичь лучшего уровня помехозащищенности сигнала. Из всех методов кодирования во временной области наибольшее распространение в цифровой телефонии получили методы ИКМ и АДИКМ, так как их реализация является простой, и в то же время полезный сигнал легче выделить на фоне помех, искажений и шумов преобразователей. ИКМ заключается в представлении непрерывного аналогового сигнала в форме последовательности равноотстоящих друг от друга импульсов (дискретизация по времени), амплитуда которых представлена двоичным кодом (квантование по уровню), а также кодированием. Подобное преобразование позволяет существенно повысить надежность передачи и хранения сигнала. АДИКМ является модернизированной версией ДИКМ, которая заключается в следующем: предсказывание текущего значения отсчета на основе предыдущих M -отсчетов. Ее модернизация заключается в том, что здесь квантователь и предсказатель адаптируются к меняющейся среде входного сигнала. Существует разновидность ДИКМ, называемая дельта-модуляция. Дельта-модуляция (DM) — это метод кодирования разностного сигнала. В DM-кодере подвергается кодированию ошибка кодирования, т.е. разница между исходным кодируемым сигналом и результатом кодирования. В результате создается поток данных, кодированных разностью. Этот поток данных (представляющий собой сигнал ошибки вычислений) является сигналом с низким битрейтом, который можно декодировать соответствующим декодером на приемной стороне, — таким образом достигается сжатие данных и низкая скорость передачи данных [1].

Международный стандарт электросвязи рекомендует использовать для передачи данных по телефонным каналам только двумерные сигналы КАМ-технологии, потому что они имеют два параметра преобразования — амплитуду и фазу, что является залогом наименьшего влияния помех и шумов. Одной из разновидностей двумерных сигналов являются КАМ-сигналы, которые получаем путем одновременного изменения амплитуды синфазной (I) и квадратурной (Q) компонент несущего гармонического колебания и сдвинутых по фазе друг относительно друга на $\pi/2$. Результирующий сигнал Z формируется в результате суммирования этих колебаний. Таким образом, КАМ-модулированный дискретный сигнал может быть представлен соотношением

$$Z_m(t) = I_m \times \cos(2\pi f_c t) + Q_m \times \sin(2\pi f_c t), \quad (1)$$

где t изменяем в диапазоне $\{(m-1)\Delta t \dots m\Delta t\}$; m — порядковый номер дискрета времени; Δt — шаг квантования входного сигнала по времени; p — шаг квантования входного сигнала по амплитуде; α_m и β_m — модуляционные коэффициенты ($I_m = \alpha_m \times p$, $Q_m = \beta_m \times p$) [2].

КАМ-модуляция получается путем одновременного кодирования амплитуды и фазы несущего колебания. Для данной модуляции характерно то, что при модулировании синфазной и квадратурной составляющих несущего колебания используется одно и то же значение шага изменения амплитуды, поэтому окончания векторов модулированного колебания образуют прямоугольную сетку на фазовой плоскости действительной — $\text{Re}\{Z\}$ и мнимой — $\text{Im}\{Z\}$ составляющих вектора модулированного сигнала. Число узлов этой сетки определяется типом используемого алгоритма КАМ. Схему расположения узлов на фазовой плоскости модулированного КАМ-колебания принято называть созвездием (constellation).

Для указания типа алгоритма КАМ принята следующая схема обозначения:

КАМ- \langle число \rangle .

Достоинствами алгоритма квадратурной амплитудной модуляции являются: относительно простая реализация, достаточно эффективное кодирование xDSL-сигналов, обеспечение высоких показателей спектральной эффективности, возможность построения на основе этой технологии высокоскоростных ADSL и VDSL-систем передачи данных по двухпроводной линии с частотным разделением принимаемого и передаваемого информационных потоков.

К недостаткам алгоритма можно отнести относительно невысокий уровень полезного сигнала в спектре модулированного колебания. Этот недостаток является общим для алгоритмов гармонической амплитудной модуляции и выражается в том, что максимальную амплитуду в спектре модулированного колебания имеет гармоника с частотой несущего колебания. Поэтому данный алгоритм в чистом виде достаточно редко используется на практике [3].

Так как сейчас внедряются цифровые участки, то оборудование ИКМ, отвечающее за преобразование аналоговой информации в цифровую, имеет большое влияние на качество передачи КАМ-сигналов. Речевой кодек представляет собой устройство в телефонной сети, состоящее из кодера/декодера, которое обладает определенной нелинейностью, обеспечивающей повышение эффективности квантователя для речевых сигналов. Эта нелинейность снижает производительность модемов. Такое снижение производительности прямо пропорционально увеличению скорости передачи данных [4].

В статье акцентируется внимание на влиянии логарифмического квантователя на качество передачи КАМ-сигналов.

Принципиальная модель исследуемой системы представлена на рисунке 1.

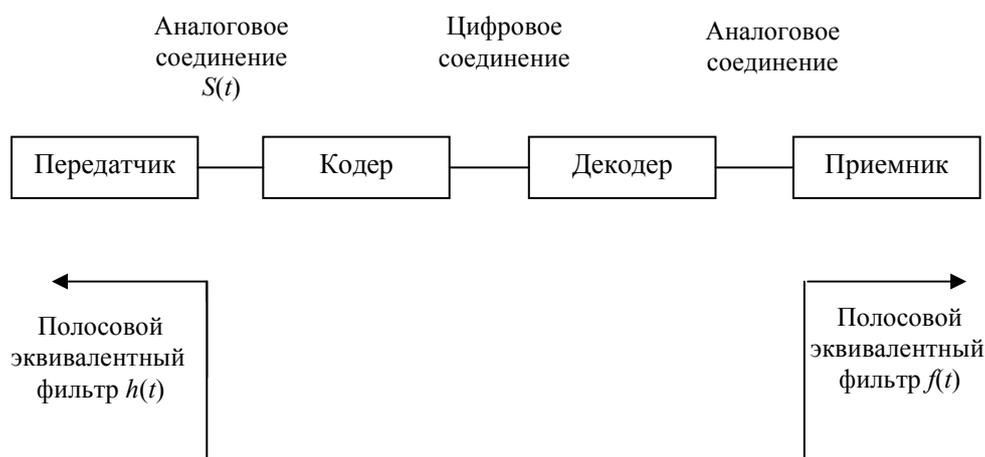


Рисунок 1. Модель исследуемой системы

В ходе проведения анализа влияния речевого кодера на КАМ-сигнал были сделаны следующие выводы:

1. Кодер включает в себя логарифмический или нелинейный компандер, следовательно, ошибка каждого отсчета — равномерно распределенная случайная величина, пропорциональная величине отсчета.
2. Передаваемый сигнал порождается двумя видами шумов — мультипликативным и аддитивным, причем первый оказывает больше влияния на значение вероятности ошибки.
3. С ростом амплитуды отсчета растет и величина шума.
4. Шум имеет форму эллипса, однако ось эллипса не совпадает с радиальной осью точки созвездия.
5. Размер созвездия оказывает меньшее влияние на шум квантования, чем его форма.

Чтобы оценить влияние аддитивных и мультипликативных шумов на точки созвездия КАМ-сигналов, была создана имитационная модель влияния ИКМ-кодера на цифровой сигнал, передаваемый по телефонным каналам, потому что теоретическая оценка влияния шумов очень трудоемка и не дает наглядной картины сигнальных созвездий КАМ-сигналов. Программа имеет два модуля: первый используется для построения точек созвездия и составления графиков распределения шумов вокруг точек созвездия, второй — для расчета помехозащищенности сигнала и построения графика зависимости коэффициента ошибок от помехозащищенности по аддитивному и мультипликативному шумам.

Модель реализована в виде программы на языке высокого уровня C++ в среде Borland C++Builder 6. Она имеет ряд преимуществ, потому что выдает результаты для всех типов КАМ-сигналов. Достаточно ввести переменные исследуемого типа сигнала, и в зависимости от них будут выдаваться соответствующие результаты.

Первый модуль выводит количество ошибок, коэффициент ошибок и величину СКО шумов. Этот модуль доказывает, что передаваемый сигнал порождается двумя видами шумов — мультипликативным и аддитивным и с ростом амплитуды отсчета растет и величина шума.

На рисунке 2 приведено окно созданной программы первого модуля, в которой запрашиваются исходные данные для расчета количества ошибок, коэффициента ошибок и величин СКО шумов. Вводится число итераций, максимальное напряжение точки созвездия по одномерной оси и помехозащищенность по аддитивному и мультипликативному шуму соответственно.

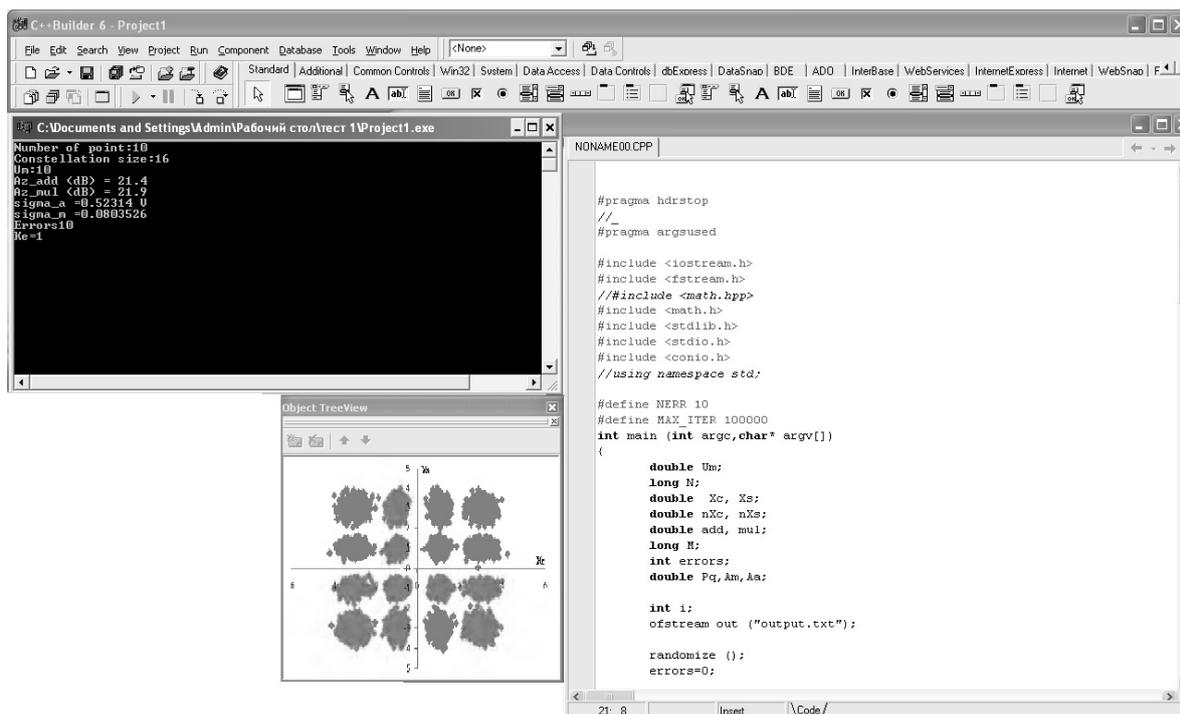


Рисунок 2. Окно ввода-вывода расчетов первого модуля

Дальше строится сигнальное созвездие в зависимости от числа КАМ. Программа выдает наглядную картину распределения шума на векторограмме, где учитываются соотношения между мультипликативным и аддитивным шумами и вероятность ошибки. По полученным векторограммам видно, что шум имеет форму эллипса, причем ось эллипса не совпадает с радиальной осью точки созвездия.

Для примера в статье приведены результаты расчета программы для трех созвездий: КАМ-16, КАМ-64, КАМ-268. Вид сигнального созвездия зависит от соотношения между сигналом и шумом.

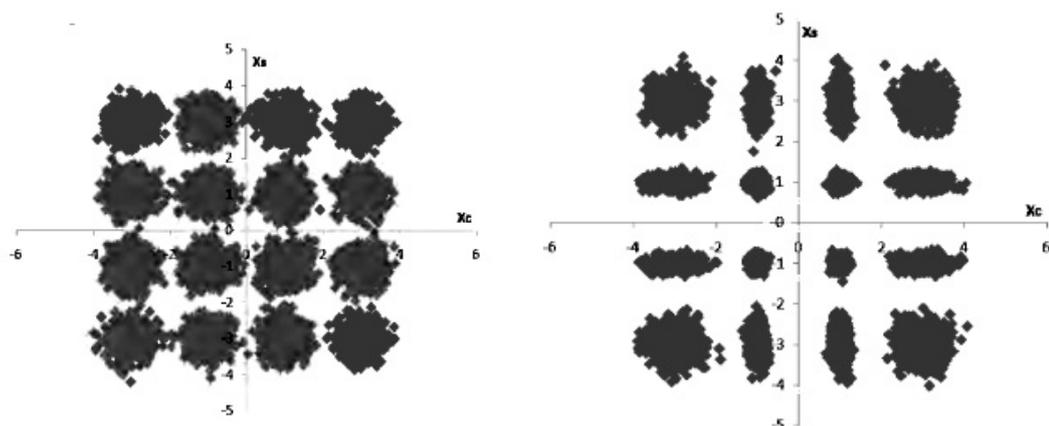
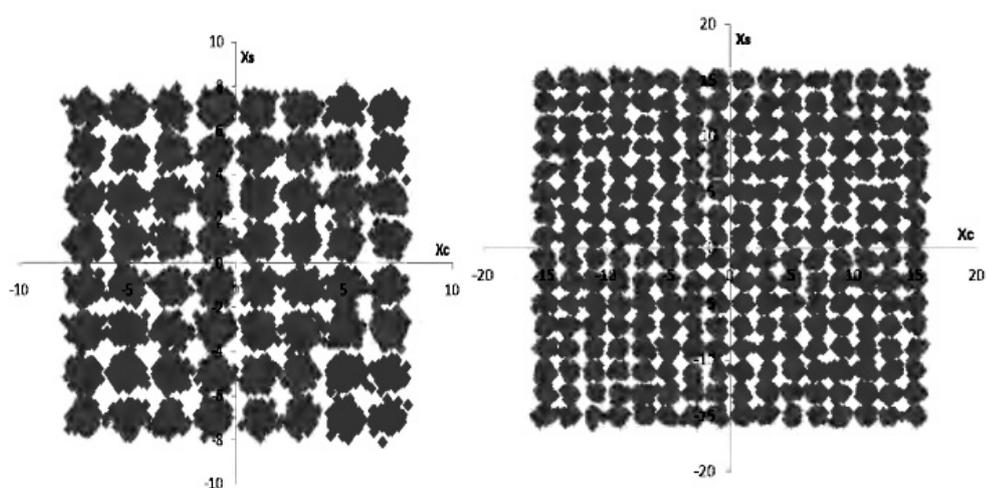
Для КАМ-16 сигнальные созвездия на входе решающего устройства при соотношении между сигналом и шумом, равном 17,5 дБ и 20 дБ, для вероятности ошибки 10^{-3} выглядят так (рис. 3).

Проанализировав полученные изображения, можно сделать вывод, что с ростом соотношения между сигналом и шумами точки созвездия теряют свою эллиптическую форму.

По результатам для КАМ-64 и КАМ-268: сигнальные созвездия на входе решающего устройства при соотношениях между сигналом и шумами, равных 23 дБ и 30 дБ соответственно, для вероятности ошибки 10^{-3} имеют вид (рис. 4).

Отличие их — в количестве точек созвездия.

Второй модуль программы предназначен для расчета помехозащищенности сигнала и построения графика зависимости коэффициента ошибок от помехозащищенности по аддитивному и мультипликативному шумам.

Рисунок 3. Сигнальные созвездия КАМ-16 при $A_{3u} = 17,5$ дБ; $A_{3u} = 20$ дБРисунок 4. Сигнальные созвездия КАМ-64 при $A_{3u} = 23$ дБ и КАМ-268 при $A_{3u} = 30$ дБ

На рисунке 5 представлено расчетное окно второго модуля. Запрашиваются такие исходные данные сигнала, как вид КАМ, максимальное напряжение точки созвездия по одномерной оси и область, на которой нужно исследовать помехозащищенность, т.е. максимальное и минимальное значения, а также нужно выбрать вид исследования по аддитивному либо по мультипликативному шуму.

Характеристики ошибок (рис. 6) получены с помощью программы Curves.

Кривые 1 и 2 соответствуют созвездию КАМ-16, кривая 1 описывает зависимость коэффициента ошибок

от помехозащищенности по аддитивному шуму, кривая 2 — от помехозащищенности по мультипликативному шуму.

Кривые 3 и 4 соответствуют созвездию КАМ-64 и также описывают зависимость коэффициента ошибок от помехозащищенности по аддитивному и мультипликативному шумам.

Кривые 5 и 6 соответствуют созвездию КАМ-256.

Поскольку при передаче КАМ-сигнала по телефонному каналу в системе присутствует как аддитивная, так и мультипликативная составляющие шума, реальная кривая будет лежать между кривыми, построенными для случаев чисто аддитивного и чисто мультипликативного шумов.

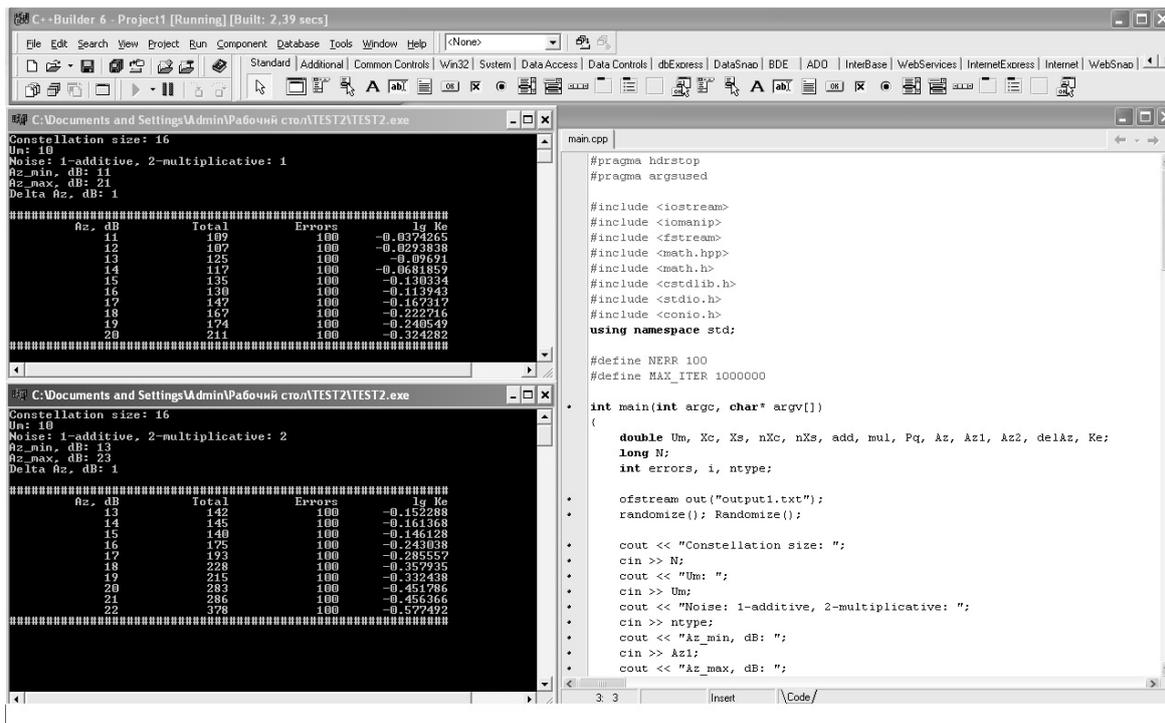


Рисунок 5. Окно ввода-вывода второго модуля для КАМ-16

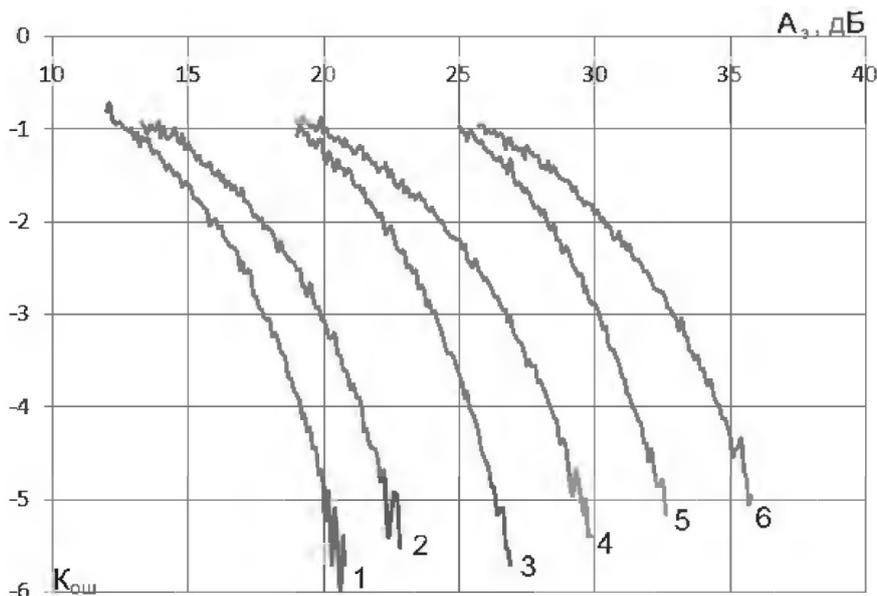


Рисунок 6. Характеристики ошибок

В ходе проведения компьютерного исследования влияния речевых кодеков на качество передачи цифровых сигналов с помощью компьютерного моделирования были сформулированы выводы.

1. Разработана программа, которая дает оценку степени влияния речевых кодеков на качество передачи КАМ-сигналов путем компьютерного моделирования.

2. Из полученных результатов имитационной модели первого модуля видно, что с ростом соотношения между сигналом и шумом точки созвездия теряют свою эллиптическую форму, что подтверждает теоретические выкладки.

3. Второй модуль программы показывает, что с ростом номера КАМ-сигнала растет его помехозащищенность, мультипликативный шум оказывает более существенное влияние на значение вероятности ошибки и, соответственно, требует большей помехозащищенности.

4. Данную программу можно рекомендовать для специалистов в области разработки телекоммуникационной аппаратуры и в учебном процессе при подготовке бакалавров радиотехники, электроники и телекоммуникаций. Как видно из приведенных графиков, мультипликативный шум оказывает более существенное влияние на значение вероятности ошибки и соответственно требует большей помехозащищенности (на 2–3 дБ) для обеспечения требуемой вероятности ошибки.

References

- 1 *Bellami Dj.* Digital telephony. — М.: Eko-Trendz, 2004. — 640 p.
- 2 *Kuricyn S.A.* Base of construction telecommunication system of transmission. — SPb.: Information centre of choice, 2004.
- 3 *Rabiner L.R., Shafer R.V.* Digital processing of speech signal. — М.: Radio and connection, 1981. — 463 p.
- 4 *Kruhmalev V.V., Gordienko V.N., Mochenov A.D.* Digital system of transmission // Hot line. — Telecom, 2007. — 350 p.

Ж.К.Ищанова, Г.П.Амочаева

Цифрлық дабылдардың таратылу сапасына дыбыс кодектерінің әсер етуін зерттеу

Мақалада дыбыстық кодектерді 4 КАМ сигналдарына әсер етуі қарастырылды. Бағалау жасанды модельдің көмегімен жүргізілді. Модель Bilder Borland C++ бағдарламасының негізінде құрастырылды. Алынған нәтижелерді сараптай отырып, бөгетке қарсы тұру қабілеттілік КАМ номеріне тәуелді екені анықталды. Берілген бағдарлама телекоммуникациялық қондырғыларды құрастыру кезінде және оқу үдерісінің барысында қолданылуы мүмкін.

Zh.K.Ishchanova, G.P.Amochaeva

Research of voice codecs influence on the quality of digital signal transmission

In this article is reviewed the influence of voice codices to CAM signals. Estimation is done by using the imitation mode. The model is built by Borland C++Builder 6. Taken results show that drawback protection depends on the CAM number. This programmer can be used in development of new telecommunication devices and education process.

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

УДК 165(075), 530.1

К.М.Арынгазин, И.Ф.Васильева

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (e-mail: a-rina-75@mail.ru)

Методологические проблемы построения теоретической физики

В статье рассмотрены методологические проблемы построения курса теоретической физики. Показано, что теоретическая физика построена на основе трех философских логик (пространство, движение, материя) и вытекающих из них трех фундаментальных идей. На основе этих идей построены три главных раздела теоретической физики: классическая механика; электродинамика, оптика, специальная и общая теория относительности, а также квантовая механика. Для квантовой термодинамики и квантовой статистики введено понятие спектрального пространства и его геометрии. Обосновано применение педагогического подхода при рассмотрении теоретической физики, который обеспечит, в конечном счете, становление единой физической теории.

Ключевые слова: теоретическая физика, методологические проблемы, логика, пространство, движение, материя, квантовая механика, электродинамика, спектральное пространство.

Образование — это тот ключевой момент, фактор, без которого познать мир невозможно. В этом процессе особая роль принадлежит вузу.

В конце четвертого курса студенты физического факультета завершают изучение теоретической физики, и каждый из них имеет свое понимание и знание этого сложного предмета. Они получают сумму знаний по различным разделам теоретической физики, и слагаемые этой суммы столь разнообразны, что зачастую не поддаются сложению. У студента складывается «кусочное» представление о теоретической физике, о физической картине мира и нет целостной работающей конструкции.

С другой стороны, сегодняшние многочисленные и крайне сложные физические теории и проблемы их понимания требуют ясного освоения того, что сближает и объединяет разные разделы физики, сохраняясь в каждом разделе, независимо от его названия.

Изучив методологию построения теоретической физики, студент должен приобретать не сумму, а систему базовых научных знаний и понимать то, как нужно освоить законы, чтобы создать в будущем работающую эффективную методику познания и применять ее в практической деятельности.

Студенты, внимательно ознакомившись с методологией, логикой и идеями построения теоретической физики, поймут красоту внутренней структуры всей физики.

На наш взгляд, одним из достоинств методологического знания является то, что в нем можно стандартно и наглядно изобразить все известные законы физической природы, более того, увидеть проблемы физики, особенно теоретической, в будущем.

В принципе, законов природы может быть столько, сколько известно физических величин. Однако из всех известных величин мы выделяем в качестве базовых пространство, время и массу, показывая тем самым, что они, пронизывая насквозь всю систему, изменяются, в то же время оставаясь неизменяемыми. Это и есть фундаментальный закон природы, на который опирается физическая наука.

Здесь необходимо отметить, что пространство и время как способ измерения незаменимы в физической теории, но для объяснения разнообразных законов природы они недостаточны. Необходимо в эту систему включить материю, поскольку эта двойка в определенных условиях может переходить

в единую координатную систему, образовать простое единое пространство — пространство Минковского [1]. А для получения разнообразия необходимо, как минимум, две величины. Такой дополнительной в физике величиной является материя, которая эквивалентна энергии. Энергия и ее изменения и сохранения (как один из фундаментальных законов природы) составляют основы разнообразия материального мира. Следовательно, мы должны рассмотреть ее в единстве с пространством и временем, как триаду построения и познания мира.

Цель, которую мы преследуем, заключается в том, чтобы целостно изложить научные основы построения теоретической физики, объяснить суть теории и метода этого построения. Мы хотим убедить читателя в том, что существует возможность не только адекватно объяснить физический мир, но целенаправленно его раскрывать как целостность, понимать и уметь использовать открываемые физической возможности практического применения в своей профессиональной деятельности.

Изложенные в статье логики, идеи и принципы являются тем стержнем, который, как было отмечено выше, «сшивает» разделы теоретической физики в целостную систему. Такой метод изложения может значительно облегчить изучение крайне сложных разделов теоретической физики. Более того, знание и понимание этих логик, идей и принципов дают возможность в дальнейшем заниматься наукой.

Отсутствие в традиционных учебниках таких подходов, которые бы связывали все разделы теоретической физики в целостную систему, является существенным фактором, мешающим также синтезировать физику и математику, философию и педагогику, затрудняющим целостное восприятие картины мира.

Освоение данного метода познания теоретической физики поможет студенту значительно легче понимать, что происходит в реальном физическом мире. Данный подход полезен и для преподавателей, особенно для тех, кто читает лекции по всем разделам теоретической физики, а не только ее отдельные разделы.

Теоретическая физика является мощным, очень сложным разделом всей физики. Она также составляет основу многих наук, в частности, астрономии, химии, биологии, космологии, кибернетики и других. Сложность ее состоит в том, что она представляет собой синтез, единство физики и математики, особенно таких разделов математики, как геометрия, алгебра, математический анализ, теория рядов, теория групп, топология, тензорные исчисления, дифференциальные и интегральные уравнения и др. А также она применяет законы философии и педагогики, поскольку в процессе изучения теоретической физики происходит формирование мировоззрения личности студента и предлагается методика изучения предмета. Знание методологических основ построения и изложения теоретической физики имеет фундаментальное значение в понимании физики, самой теоретической физики, ее предмета, объекта исследования, процессов, явлений и, в конце концов, в познании физической картины мира, образа мира. «Человек всегда стремится сначала построить для себя простую картину мира. Затем придать ей смысл, тем самым субъективизировать ее, т.е. построить образ мира, сформировать в себе воображение, а воображение человека важнее, чем знание», — писал Эйнштейн [2].

В связи с этим мы хотим в этой статье вкратце рассмотреть методологические проблемы построения теоретической физики, т.е. раскрыть логическую организацию, идеи построения, методы, средства, принципы и формы, способы научного познания, преобразования математического и физического миров и других, которые имеют непосредственное отношение к ней.

На наш взгляд, теоретическая физика построена на основе трех философских логик и вытекающих из них трех фундаментальных идей.

Первая логика — *пространство*. Это логика больше математическая, нежели философская. Вторая логика — *движение*. Она является больше физической логикой. Третья логика — *материя*, логика материальности мира. На наш взгляд, первая логика — метафизическая, вторая — диалектическая, третья — материалистическая. Однако каждая из них, рисуя картину мира, образ мира, используя определенный метод познания, придает определенной смысл этим методам. Первый метод берет свое начало из идеи Евклида. Этот метод называется аксиоматическим. Но нет оснований отказываться от аксиомы: «Мир бесконечен в пространстве». Однако с крушением идеи (метафизики) Канта завершилась и метафизическая логика, на этом фундаменте началась новая, диалектическая логика.

Крушение метафизической логики обусловлено тем, что там «не действует время», т.е. в этом методе время «заморожено», отсутствует движение, в то время как весь мир находится в вечном движении и развитии. Это свойство пространства является не фактом реального мира, а идеей, рожденной в умах философов и математиков. «Если хотите, это — защитная реакция ума на изменения в

окружающем мире. Именно изменчивость мира является причиной, которая с логической необходимостью обусловила создание великого множества математических объектов, остающихся неизменными во все времена. Эти объекты выполняют функцию «эталонов», «точек опоры», «необходимых для объяснения изменений, происходящих в реальном мире», — пишут О.Л.Кузнецов, Б.Е.Большаков [3; 99]. Такой мир — созданный математиками, искусственный мир, в его геометрическом представлении [4].

Все тела природы протяженны — это неоспоримый факт. Но есть и другие реальные «вещи» — так называемая «длительность», «временной отрезок». Мы встречаемся не только с телами, но и с такой «вещью», которая называется мысль. Но ведь мысль не является телом. Значит, в мире, в котором мы живем, кроме тел есть еще нечто, к чему предикат «протяженность» неприменим. Но к этому нечто применим другой предикат — «длительность». Вот здесь и начинается «трещина» метафизического взгляда на мир: ведь «атомы», носители протяженности, по определению выведены из-под власти времени, пишут О.Л.Кузнецов, Б.Е.Большаков [3; 101]. А отсутствие времени останавливает процесс движения, развития природы. Значит, мы вынуждены к этой пространственности «добавлять время». Следовательно, мы должны переходить от идеи пространства как замкнутого мира к миру как процессу, движению, изменяющему мир. А движение — это взаимодействие пространства, времени и материи, это процесс, отвечающий на вопрос, где, когда и что движется. Здесь появляется новая, особая мысль, идея о материи, о материальности мира. Мысль рождается, развивается, умирает и вновь рождается в новом качестве во времени и в движении материи. С мыслями рождается, появляется как «дополнение к мысли» материя, которая сохраняется и изменяется, превращаясь из одной формы в другую, завоеывая все большее и большее пространство и время. Таким образом, рождаются новые картины, образы мира, мир пространств, мир движения, мир развития, реальный развивающийся физический мир (материальный мир).

Роль мысли еще и в том, что, например, линию, квадрат, куб, окружность и т.д. невозможно «физически изготовить», все они — «чистые произведения мысли», «произведения времени», с участием массы. Изменение положения материальной точки есть траектория, они рисуют квадрат, эллипс и т.д. в своем движении, в зависимости от времени. Однако все предыдущие идеи, логики не решают полностью проблему реального мира. Значит, нужна новая логика, так называемая логика материальности мира, без нее и пространство и время — ничто.

Таким образом, мы дошли до самого главного в двух логиках, где начинаются границы применимости теории физики к реальному миру. Переход к другим логикам и идеям — это переход от природы как пространства и времени к природе пространственно-временной материи, их различным формам, где главным действующим лицом все-таки выступают пространство и время в определенном качестве, как форма и способ взаимного существования с материей.

Переход состоит в том, что мы отказываемся видеть мир как набор тел или предметов и только их движений, но начинаем видеть мир в полном наборе свойств, и свойств также инерции и тяготения, взаимодействия зарядов, т.е. переходим к вопросу, что движется, что пользуется услугами этих двух логик. То есть переходим к решению проблемы пространственного распределения и временного изменения самой материи, массы, т.е. от создания искусственного математического мира через мир изменения, движения мира к реальной, обнаруженной в опытах, экспериментах и выражениях физической картине мира, образу мира.

Признак материальности мира в метафизическом представлении — это телесность, в диалектическом, временном — изменчивость, взаимопревращаемость материи. Так как мировой физический процесс протекает в пространстве и времени, то его единство с материей должно быть очевидным, обязательным, необходимым [1].

Материя — это сосредоточенность энергии в пространственно-временном изменении. Они эквивалентны (Эйнштейн). Если пространство и время являются формами и способами существования материи и ее характеристикой, то материя является формой и способом проявления свойств пространства и времени и их характеристикой. Они составляют единую систему мирового процесса. Где материя — там пространство и время, где пространство и время — там материя. Где нет материи, там нет пространства и времени и, наоборот, где нет пространства и времени, там нет материи.

Материя обладает удивительным свойством — быть в форме вещества и в форме поля, т.е. обладает и вещественностью, и полевой формой. И это единое свойство проявляет себя по-разному в реальном мире. Если материя обладает больше «массивностью в форме макромира» и «медленностью» — в движении, то она ведет себя больше как вещество, чем как в поле волновой процесс.

Если материя обладает более «микроскопичностью» особой формы и «быстротой» в движении, то она ведет себя как волна, чем тело, вещество. В первом случае мы обнаруживаем нерелятивичность, а во втором — релятивичность процесса.

Если материя обнаруживается в виде элементарных частиц, в форме микромира, то ее нужно рассматривать как особый физический объект, обладающий и вещественными, и волновыми свойствами, т.е. как частица и как волна. Это единство и противоположность образуют новые качества материи (корпускулярно-волновые) — квантованные.

И даже «земля является открытой волновой динамической системой, и есть основания полагать, что эта система является «идеальной машиной», подчиняющейся универсальным законам природы» [3; 16].

Перечисленные разнообразия пространств, движений и форм материи позволяют построить разнообразные физические картины мира, образы мира.

Из анализа этих логик и разнообразных свойств пространств (\vec{r}), времени (t) и материи (m) родились три фундаментальные идеи, и на основе этих идей построены три главных раздела теоретической физики: 1) классическая механика; 2) электродинамика, оптика, специальная и общая теория относительности и 3) квантовая механика. Однако надо отметить, что теоретическая физика состоит не только из этих трех разделов. Их много. Но они все пользуются этими логиками, идеями и законами, принципами перечисленных разделов. Другие разделы теоретической физики получили развитие также в результате применения не только этих, но и различных новых логик, идей, принципов, подходов, положений и др.

Первая фундаментальная идея гласит, что пространство (\vec{r}), время (t) и масса (m) абсолютны. Они не зависят от скорости тел, если материя обладает больше свойством вещества, макроскопичностью и движется медленно. Эта идея была предложена Ньютоном. И на основании этой идеи он заложил основу классической механики. Дальнейшее развитие она получила в механиках Лагранжа и Гамильтона, которые завершили классическую механику.

Механика Ньютона рассматривает свободное движение тел в евклидовом пространстве, где отсутствует вариация и \vec{r} , и t , а лагранжева механика — ограниченное движение в конфигурационном пространстве, где пространство варьирует, т.е. $\delta\vec{r} = 0$, а время не варьирует, т.е. $\delta t \neq 0$. Что касается гамильтоновой механики, то она вообще рассматривает механическое движение тел в фазовом пространстве, где варьируют и $\delta\vec{r} = 0$, и $\delta t = 0$, и является вершиной классической механики. В этих механиках, соответственно, применяются законы геометрии Евклида, конфигурационного и фазового пространства.

А.Эйнштейн писал, что Ньютон обнаружил, что «наблюдаемые геометрические величины и их проявления во времени в физическом смысле не характеризуют полностью движения. Следовательно, кроме масс и изменяющихся расстояний, между ними существует нечто такое, что определяет происходящие события: это «нечто» он воспринял как отношение к «абсолютному пространству». Ньютон понимал, что его законы могут иметь смысл только в том случае, если пространство обладает физической реальностью в той мере, как материальные точки и расстояния между ними» [5; 86].

Вторая фундаментальная идея — пространство (\vec{r}), время (t) и масса (m) относительны, т.е. они зависят от скорости тел; скорость света — величина постоянная, и она не зависит ни от скорости наблюдателя, ни от скорости источника. Этот принцип расширил принцип относительности Галилея. Здесь заложена идея о том, что материя (электромагнитные волны) обладает больше полевыми свойствами и представляет цуг волн. Эта идея была предложена Эйнштейном и получила название «теория относительности».

«Последовательная полевая теория требует непрерывности всех элементов теории, и не только во времени, но также и в пространстве, причем во всех его точках. Следовательно, материальной точкой как фундаментальному понятию нет места в полевой теории», — писал А.Эйнштейн [6; 83].

Таким образом, возникла теория электромагнитных явлений и процессов, т.е. были заложены основы электродинамики, оптики и теории относительности, и в результате физика развивалась в двух направлениях: 1) нерелятивистская, когда преобладает вещественное, макроскопическое свойство материи и скорость тел $v \ll c$ — скорости света и 2) релятивистская, когда $v \approx c$.

Если движения происходят в четырехмерном плоском пространстве Минковского, то такую теорию называют специальной теорией относительности, а если движения происходят в искривленных пространствах Лобачевского и Римана — общей теорией относительности. Искривление пространств

происходит в результате действия силового поля (поля материи). Вот здесь проявляет себя в полной мере единство, взаимообусловленность этой тройки (\vec{r} , t , m).

Третья фундаментальная идея — пространство, (\vec{r}) время (t) и масса (m) квантуются, т.е. электромагнитные волны (фотоны) ведут себя и как частица, квант, а элементарные частицы (электрон, протон, нейтрон, атом, молекулы и т.д.) ведут себя не только как частицы, а также как волна.

Идея квантованности фотона — волны предложена Планком, а волновые свойства электрона — де Бройлем. На основе этих идей построена квантовая механика (нерелятивистская — Шредингером, Гейзенбергом, а релятивистская — Дираком).

С другой стороны, теория относительности также не смогла объяснить квантовые явления, поскольку она не учитывала вещественные свойства микромира, корпускулярные свойства материи. Значит, необходимо было найти законы, уравнения, которые учитывали бы одновременно оба свойства материи, т.е. дуализм элементарных частиц, микромира.

Таким подходом, охватывающим эти свойства микромира, оказался корпускулярно-волновой принцип, смысл которого состоит в замене обычных физических величин классической физики операторами, а волновые свойства материи — волновой функцией, где операторы действуют на волновую функцию, изменяя ее. Также предложен матричный подход Гейзенберга. Однако Дирак доказал, что эти подходы эквивалентны. Здесь оператор как бы характеризует корпускулярные свойства частиц, учитывая волновые, а волновая функция — полевые свойства частиц, учитывая корпускулярные свойства микромира. Их единство составило основу квантовой механики.

В данной механике применяются пространства векторов состояния и Гильберта, а для статистики и квантовой статистики — соответственно фазовые и спектральные пространства.

В результате были открыты удивительные, ранее не известные свойства элементарных частиц и появились новые понятия и принципы. Например, понятие спина моментов и других, которые являются особыми свойствами материи, и новые принципы: Паули, суперпозиции, неопределенностей Гейзенберга, дополнительности и соответствия Бора и др. Интерпретация операторов показала, что они могут быть коммутирующими и некоммутирующими и с особыми свойствами, а волновой функции, — что квантово-механические процессы обладают вероятностным статистическим характером. Законы квантовой механики коренным образом отличаются от классической механики и классической физики.

Проявление этих принципов, в частности, таких как принцип неопределенности Гейзенберга, принцип Паули, повлияло на развитие всей физики и даже на развитие других наук, таких как химия, биология и др. Если бы не было этих принципов, то не было бы атомов, молекул, окружающего нас многообразия и главное — жизни на Земле и самого человека. То есть мы не смогли бы раскрыть тайны и секреты миров.

Кроме этих трех логик и трех фундаментальных идей, в построении современной теоретической физики в последнее время появились новые логики и идеи. В частности, предложено существование внутренних пространств, симметрий, характеризующих новые свойства материи, координатно связанных с внешним пространством, симметрией, но не зависящих от них. Также предложены идеи о суперсимметрии, супергравитации, суперструне, супермембране и т.д. Вместо преобразования Галилея и Лоренца появились новые калибровочные преобразования. Благодаря применению последних произошло объединение слабых и электромагнитных (электрослабых) взаимодействий и великое объединение, т.е. объединение электрослабых и сильных взаимодействий. Это тема следующих исследований. Тем не менее мы хотим обратить внимание еще на следующие проблемы теоретической физики.

В монографии «Геометрические идеи в теоретической физике» [7] не рассматривалась проблема статистической физики и термодинамики как одного из основных разделов теоретической физики. Некоторые вопросы этой проблемы были проанализированы в работе [8]. Но она была рассмотрена в теоретическом плане, а не в методологическом.

Мы хотим восполнить этот пробел, при этом обратиться к квантовой статистике.

Пространства, их геометрию отличает то, что по наблюдаемому признаку они могут определить не только сам объект, но и его форму, размеры и строение и некоторые свойства, подобно тому, как в музыке по звуку можно определить, какой инструмент исполняет эту мелодию. В то время не было известно, какое пространство играет эту роль. Нам удалось преодолеть эту трудность, получив интересные, глубокие результаты, определяющие закономерности развития квантовых термодинамических систем, раскрывая их внутреннюю структуру методом пространственной логики во время изменения составляющих термодинамических объектов, состоящих из бесконечно многих частиц, где не

применимы законы предыдущих разделов теоретической физики. Таким пространством для квантовой термодинамики и квантовой статистики является спектральное пространство с определенной геометрией. Им оказались дифференциальные уравнения с частными производными и связь их асимптотики с группой симметрии. На методологическом языке это геометрия Гильбертова пространства, порожденная подпространствами собственных значений оператора Лапласа–Бельтрами. Это и есть основы спектральной геометрии квантовой статистики термодинамических систем, это геометрия пространственного распределения термодинамических систем. И здесь главная роль принадлежит и пространству, и движению, и массе. Движение характеризуется распределением, масса — состоянием системы.

Заклучение

Рассмотренный подход позволил выдвинуть новое направление в преподавании теоретической физики — метод функциональной, динамической теоретической физики, в котором важная роль принадлежит внутренним движущим силам: логикам, идеям, принципам, выступающим в качестве системообразующего фактора.

Таким образом, физико-математический, философско-педагогический подход, будучи на категориальном уровне неотъемлемой стороной функционирования и развития теоретической физики, представляет многообразие сосуществующих и сменяющих друг друга специфических структур физического объекта разного масштаба, обеспечивающих, в конечном счете, становление единой физической теории.

References

- 1 *Minkovsky G.* Space and Time. In collected articles / Principle of relativity. — М.: Atom. Press., 1973. — P. 81.
- 2 *Einstein A.* Physics and reality. — М.: Science, 1985. — P. 62.
- 3 *Kuznetsov O.L., Bolshakov B.E.* Steady development: Science foundations of projection in the nature–society–person system. — St. Petersburg–Moscow: «Gumanistika» Press., Dubna, 2002. — P. 99.
- 4 *Einstein A.* Collected scientific works. — М., 1966. — Vol. 2.
- 5 *Einstein A.* Collected scientific works. — М., 1964. — Vol. 4. — P. 85–86.
- 6 *Einstein A.* Collected scientific works. — М., 1964. — Vol. 2. — P. 82.
- 7 *Aryngazin K.M.* Geometrical ideas in theoretical physics. — Almaty: Rauan, 1994. — 360 p.
- 8 *Aryngazin K.M.* Geometrical methods in theoretical physics // Vestnik KarGU. — 1999. — P. 40–49.

Қ.М.Арынғазин, И.Ф.Васильева

Теориялық физиканы әдіснамалық құру мәселесі

Мақалада теориялық физиканы әдіснамалық құру мәселесі қарастырылған. Бұнда ол үш философиялық логикаға (кеңістік, қозғалыс және материя) негізделген. Осы үш іргелі ой арқылы қалай теориялық физиканың үш басты бөлімдері құрылатыны көрсетілген: мысалы, классикалық механика, электродинамика, салыстырмалық теория және кванттық физика. Кванттық термодинамика және кванттық статистика үшін «спектралдық кеңістік», «оның геометриясы» деген ұғымдар енгізілген. Теориялық физиканы қарастырғанда ол педагогикалық тұрғыда сипатталып, оның бірыңғай тұтас физикалық теория екендігі қамтамасыз етілген.

K.M.Aryngazin, I.F.Vassilieva

The methodological construction problems of theoretical physics

In this article the methodological construction problems of theoretical physics course are considered. It is shown that theoretical physics construct on the basis of three philosophic logics (space, motions, matter) and three fundamental ideas, which are arise from their. Three main parts of theoretical physics on the basis of these ideas are formulated: classical mechanics, electrodynamics, optics, special and general relativity and also quantum mechanics. The notion of spectral space and its geometry for quantum thermodynamics and quantum statistics is introduced. The application of pedagogical approach on consideration of theoretical mechanics, which provided ultimately formation of indivisible physical theory, is substantiated.

Л.Ф.Ильина, Д.К.Тажибаева

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (e-mail: 1191173@mail.ru)

Использование инновационных технологий при изучении магнитных явлений

В статье показано, что в настоящее время постоянно увеличивается объем и уровень сложности информации, поэтому процесс обучения и интеллектуального развития человека в процессе обучения требует интенсификации разработки и использования новых методов и образовательных технологий. Обосновано, что раздел «Электричество и магнетизм» является одним из наиболее сложных разделов физики, именно в электродинамике вводится полевая форма материи, т.е. электромагнитное поле. В работе проанализирован теоретический материал по магнитным явлениям в вузовском курсе общей физики; использована как традиционная технология полного усвоения, так и новые технологии, включающие презентации, анимации и т.д.

Ключевые слова: электричество, магнетизм, инновационные технологии, электронные ресурсы, интерактивная доска.

Введение

Раздел «Электричество и магнетизм» — один из наиболее сложных разделов физики, где рассматриваются электрическое и магнитное поля и их характеристики, электромагнитная индукция, электромагнитные колебания и волны. Именно в электродинамике вводится другая форма материи — полевая, т.е. электромагнитное поле.

Если рассматривать логическую структуру раздела «Электричество и магнетизм», то в нем надо выделить формирование понятий электрического заряда и электромагнитного поля, изучение взаимодействия поля и вещества, электрических и магнитных свойств веществ; анализ экспериментального исследования и практического применения электромагнитных явлений.

Современный период развития общества характеризуется сильным влиянием на него компьютерных технологий, которые проникают во все сферы человеческой деятельности, обеспечивают расширение информационных потоков в обществе, образуя глобальное информационное пространство. Неотъемлемой и важной частью этих процессов является глобальная компьютеризация всех сфер жизни.

Применение инновационных технологий и электронных ресурсов вносит ряд преимуществ, среди которых: организация процесса познания на базе деятельностного подхода; индивидуализация процесса развития личности. В последнее время во многих учреждениях стали появляться новые универсальные информационные технологии, среди которых незаменимым помощником при проведении лекционных, семинарских, практических и лабораторных занятий по физике является интерактивная доска. Дидактические принципы использования интерактивной доски базируются на системе деятельности, основной целью которой является становление позиции субъекта личности. Интерактивная доска — средство, позволяющее реализовать поставленные задачи на базе деятельностного подхода в процессе развития личности. При работе с интерактивной доской должны быть выработаны такие дидактические принципы, как активность, динамичность, субъектность.

В процессе решения задач и выполнения физпрактикума по теме неизбежно использование и других технологий из группы личностно-ориентированных, таких как технология коллективной мыслительной деятельности, технология познания как исследования и т.д. [1].

Теоретический материал включает в себя магнитное поле и его характеристики (\vec{H} и \vec{B}), силу Ампера, силу Лоренца, контур с током в магнитном поле, магнетики, электромагнитную индукцию с выделением самоиндукции. Анализировать теоретический материал нецелесообразно, так как он вполне классический. Можно только отметить, что необходимо вводить две векторные характеристики магнитного поля — напряженность \vec{H} и вектор магнитной индукции \vec{B} , хотя есть тенденция даже в вузе из курса физики исключать напряженность магнитного поля.

1. Применение новых электронных ресурсов

Рассмотрим некоторые возможности применения новых электронных средств, рассчитанных на работу с интерактивными досками.

Можно ли сказать, что интерактивная доска — новое инновационное средство развития? Да, можно. В принципе возможности интерактивной доски интуитивно понятны. В них совмещены возможности обычной доски и видеопроектора, следовательно, на ее поверхности можно писать обычным образом и проектировать любое изображение, например, интерактивную модель, анимацию, видеофрагмент. Почему же тогда все так громко говорят о необыкновенных возможностях этих устройств? Интерактивность досок заключается в возможности вносить пометки и замечания в демонстрируемый материал, изменять последовательность кадров, сохранять кадры для последующей работы. Фактически интерактивная доска (далее — ИД) — это монитор с возможностью ввода данных в компьютер непосредственно с рабочей поверхности доски с дополнительной возможностью сохранения всех записей, сделанных в течение рабочего процесса.

На обычной доске возможны записи только мелом. На белой поверхности ИД возможны записи фломастерами-маркерами 3–4 цветов. Она может показывать изображения в цвете (видео, анимации и т.п.), можно писать поверх изображения и запоминать данный кадр.

ИД имеет возможность затемнять изображения и делать их видимыми в нужный момент. Это очень важный эффект, который называется «шторка» и входит в программное обеспечение ИД, (вспомните, как удобно на обычной доске написать заранее текст контрольной работы и открыть его только в нужный момент).

При объяснении можно на изображении схемы, чертежа делать любые поясняющие записи или использовать только чистый экран ИД и полностью процесс объяснения проводить с записями формул, графиков. К доске можно вызвать студентов, которые при ответе могут проводить самостоятельные записи формул, решения задач, чертить графики, схемы.

Традиционные технические средства делятся на звуковые (магнитофон, радиоприемник), экранные (кодоскоп, эпидоскоп, диапроектор) и экранно-звуковые (кинопроектор, телевизор, видеоманитонфон). ИД соединяет в себе возможности всех данных технических устройств. Но возможности у нее больше: она соединяет функции компьютера с видеопроектором и тактильно-интерактивные функции пользователя. Именно поэтому ИД является новым интерактивным техническим средством [2].

Во время работы с интерактивными досками возможна дифференцированная деятельность, например, различные способы постановки задач: текстом, графиком, интерактивной моделью и т.п.

С помощью ИД намного проще создание ситуаций, стимулирующих:

- познавательную деятельность;
- самостоятельную формулировку познавательных задач;
- разработку метода решения познавательной задачи.

В таблице представлены способы формирования познавательного интереса с помощью ИД [3].

Т а б л и ц а

Способы формирования познавательного интереса

Способы познавательной деятельности	Реализация при работе с интерактивными досками
Актуальность и новизна содержания	Продуктивно используется в процессе постановки целей и задач, актуализации ранее пройденного материала
Раскрытие значимости значений	Используется для эффективного отбора информационного и контрольного материала
Наглядность	Существенно расширяется иллюстративная база
Занимательность	Способствует занимательности
Эмоциональность	Существенно повышается эмоциональность при специальном построении рабочего процесса
Сравнения и аналогии	Существенно расширяется иллюстративная база для изучения аналогий как одного из методов активного познания
Проведение дискуссий	Используется для существенных записей при проведении дискуссий, возможно, на фоне иллюстраций
Игровые технологии	Возможно применение игровых технологий при специальном построении рабочего процесса с помощью электронных ресурсов
Практические работы исследовательского характера	Возможность проведения работ исследовательского характера с помощью интерактивных моделей и компьютерных средств
Проблемное обучение	Возможно проблемное обучение с помощью электронных ресурсов

Компьютерные модели легко вписываются в любую форму рабочего процесса и позволяют организовать новые, нетрадиционные виды деятельности. Приведём в качестве примеров три вида такой деятельности.

1. Решение задач с последующей компьютерной проверкой

Предлагаются для самостоятельного решения на местах или в качестве домашнего задания индивидуальные задачи, правильность решения которых можно проверить, поставив компьютерные эксперименты. Самостоятельная проверка полученных результатов при помощи компьютерного эксперимента усиливает познавательный интерес, а также делает работу творческой, а зачастую приближает её по характеру к научному исследованию. В результате многие начинают придумывать свои задачи, решать их, а затем проверять правильность своих рассуждений, используя компьютерные модели. Более того, составленные таким образом задачи можно использовать в работе или предложить остальным для самостоятельной проработки в виде домашнего задания.

2. Самостоятельная работа с элементами исследования

Предлагается самостоятельно провести небольшое исследование, используя компьютерную модель, и получить необходимые результаты, тем более, что многие модели позволяют провести такое исследование буквально за считанные минуты. Конечно, на этапах планирования и проведения экспериментов нужно оказывать необходимую помощь.

3. Виртуальные лабораторные работы

Для проведения таких работ необходимо разработать соответствующие раздаточные материалы. Задания в бланках лабораторных работ следует расположить по мере возрастания их сложности. Вначале имеет смысл предложить простые задания ознакомительного характера и экспериментальные задачи, затем расчетные задачи и, наконец, задания творческого и исследовательского характера. При ответе на вопрос или при решении задачи каждый может поставить необходимый компьютерный эксперимент и проверить свои соображения. Расчетные задачи рекомендуется вначале решить традиционным способом на бумаге, а затем поставить компьютерный эксперимент для проверки правильности полученного ответа. Можно использовать готовые программы, полностью моделирующие процесс выполнения лабораторной работы.

Можно отметить, что задания творческого и исследовательского характера существенно повышают заинтересованность в предмете и являются дополнительным мотивирующим фактором. По этой причине виды деятельности последних двух типов приближаются к идеалу, так как знания приобретаются в процессе самостоятельной творческой работы, ибо они необходимы для получения конкретного, видимого на экране компьютера, результата. Преподаватель в этих случаях является лишь помощником в творческом процессе овладения знаниями [4].

Насыщенный материал, удобство и простота в использовании — это характерные признаки мультимедийных приложений и интерактивных наглядных пособий. Живой интерес вызывает компьютерное моделирование на интерактивной доске. Компьютерную модель можно рассматривать как аналог действующей экспериментальной установки, в которой можно изменять условия опыта, вмешиваться в ход эксперимента. Динамические ситуации, развивающиеся на экране, часто показывают новую проблему, которую многим интересно решать самим. В созданной интерактивной среде студенты могут самостоятельно проводить исследования, моделировать различные события, выполнять практические задания.

ИД можно использовать на различных занятиях: лекционных, семинарских, практических, лабораторных.

При использовании ИД и специально разработанных для нее курсов открываются широкие возможности по совершенствованию структурирования занятия. В зависимости от уровня подготовки и материала можно подобрать из курса иллюстрации физических процессов и явлений, задачи, тесты, лабораторные работы. Можно организовать новые, нетрадиционные виды деятельности, например, решение экспериментальных задач с использованием анимационных экспериментов. Можно предложить сформулировать самостоятельно задачу и проверить ее компьютерным экспериментом.

Всё сказанное выше позволяет сделать вывод, что эффективность современного рабочего процесса определяется уровнем интерактивности [3, 4].

2. Программа «Открытая физика»

Приведем примеры из программы «Открытая физика», моделирующей различные эксперименты [5, 6].

Модель «Взаимодействие параллельных токов»

Компьютерная модель (рис. 1) является иллюстрацией эксперимента по магнитному взаимодействию параллельных токов. Этот эксперимент положен в основу определения ампера (А) — единицы силы тока в системе СИ. Можно изменять силы токов, текущих в параллельных проводниках, а также расстояние между ними. На дисплее высвечиваются значения индукции магнитного поля B (синий цвет) и сил Ампера F (красный цвет), действующих на единицу длины каждого из проводников.

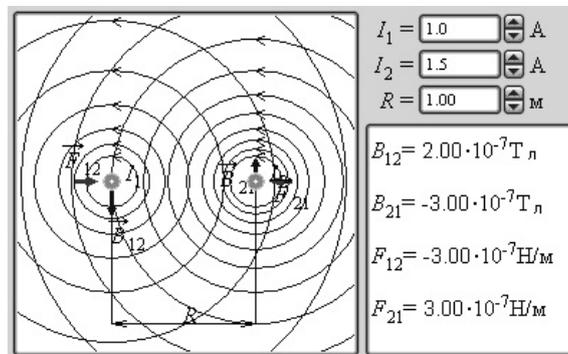


Рисунок 1. Модель «Взаимодействие параллельных токов»

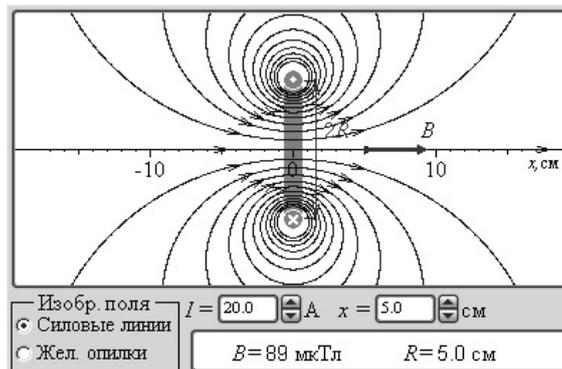
Модель «Магнитное поле кругового витка с током»

Рисунок 2. Модель «Магнитное поле кругового витка с током»

Магнитное поле кругового тока имеет сложную структуру. Сравнительно просто оно рассчитывается с помощью закона Био-Савара только для точек, лежащих на оси витка. Компьютерная модель (рис. 2) иллюстрирует структуру магнитного поля кругового тока и позволяет количественно измерять магнитное поле на оси. Качественная структура может быть показана в демонстрационном эксперименте с железными опилками.

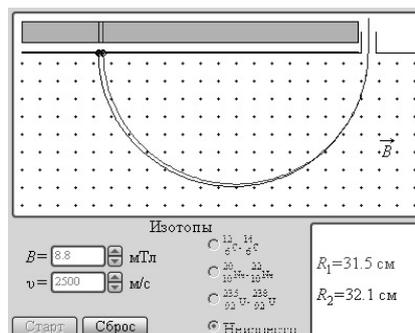
Модель «Масс-спектрометр»

Рисунок 3. Модель «Масс-спектрометр»

Масс-спектрометрами называют устройства, с помощью которых можно измерять массы заряженных частиц, например, ядер различных атомов. Масс-спектрометры используются для разделения изотопов, т.е. ядер атомов с одинаковым зарядом, но разными массовыми числами, например, ${}_{92}^{235}\text{U}$ и ${}_{92}^{238}\text{U}$.

В масс-спектрометрах заряженные частицы движутся в камере, в которой создан высокий вакуум, в однородном магнитном поле. Частицы влетают в камеру, предварительно пролетев через селектор скоростей. Траектории частиц представляют собой дуги окружностей радиусов:

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (1)$$

Компьютерная модель (рис. 3) позволяет изменять индукцию магнитного поля B и скорость частиц v . Опыт по разделению изотопов может быть выполнен для изотопов углерода, неона и урана, а также для изотопов неизвестного вещества.

Модель «Селектор скоростей»

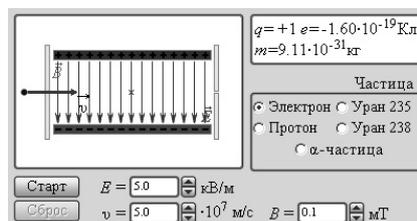


Рисунок 4. Модель «Селектор скоростей»

В целом ряде устройств, например, в масс-спектрометрах, необходимо выполнить предварительную селекцию заряженных частиц по скоростям. Этой цели служат так называемые селекторы скоростей.

В простейшем селекторе скоростей заряженные частицы движутся в скрещенных однородных электрическом и магнитном полях. Электрическое поле создается между пластинами плоского конденсатора, магнитное — в зазоре электромагнита. Начальная скорость \vec{v} заряженных частиц направлена перпендикулярно векторам \vec{E} и \vec{B} .

На заряженную частицу действуют две силы: электрическая сила qE и магнитная сила Лоренца qvB . При определенных условиях эти силы могут точно уравновешивать друг друга. В этом случае заряженная частица будет двигаться равномерно и прямолинейно. Пролетев через конденсатор, частица пройдет через небольшое отверстие в экране.

Условие прямолинейной траектории частицы не зависит от заряда и массы частицы, а только от ее скорости:

$$qE = qvB, \quad v = E/B. \quad (2)$$

В компьютерной модели (рис. 4) можно изменять значения напряженности электрического поля E индукции магнитного поля B и начальную скорость частиц v . Опыт по селекции скоростей можно выполнять для электрона, протона, α -частицы и полностью ионизированных атомов урана-235 и урана-238.

3. Виртуальный фонд естественнонаучных и научно-технических эффектов «Эффективная физика»

Эта программа представляет собой описание различных эффектов из указанного раздела общей физики [6]. Щелчок мыши по названию открывает информационное окно, включающее следующие элементы:

- 1) полное и краткое название физического явления;
- 2) красочную цветную анимацию, иллюстрирующую явление;
- 3) теоретическое описание;
- 4) разное (различные характеристики, параметры, техническое применение);
- 5) рекомендуемая литература.

Приведем примеры.

Магнитоупорядоченное состояние ферромагнетиков (ферромагнетизм)

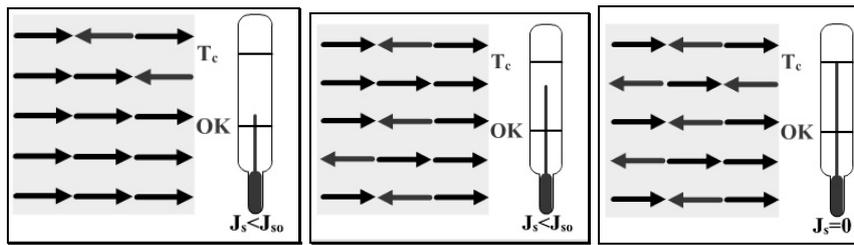


Рисунок 5. Анимация, иллюстрирующая магнитоупорядоченное состояние ферромагнетиков

Описание

Ферромагнетизм — магнитоупорядоченное состояние вещества, в котором большинство атомных магнитных моментов параллельны друг другу, так что вещество обладает самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью.

В более широком смысле ферромагнетизмом называется совокупность физических свойств вещества в указанном выше состоянии.

Вещества, в которых возникает ферромагнитное упорядочение магнитных моментов, называются ферромагнетиками. К их числу относятся кристаллы переходных металлов (железо, кобальт, никель), некоторых редкоземельных элементов и ряда сплавов, ферриты, а также некоторые металлические стекла (рис. 5).

Для ферромагнитных кристаллов характерно наличие внутренних незаполненных электронных слоев. Например, для железа, никеля и кобальта незаполненным является $3d$ -подслой, для гадолиния — подслой $4f$.

Появление в ферромагнетиках атомного магнитного порядка обусловлено обменным взаимодействием, стремящимся установить спины соседних атомов или ионов параллельно друг другу.

Обменное взаимодействие характеризуется так называемым интегралом обмена, который сильно зависит от расстояния между атомами в кристаллической решетке.

При положительном значении интеграла обмена взаимодействие приводит к параллельной ориентации спинов, которая устанавливается при температурах ниже температуры Кюри в отсутствие внешнего магнитного поля. Выше температуры Кюри ферромагнитные свойства ферромагнетика исчезают, вещество становится парамагнетиком.

В отсутствие внешнего магнитного поля ферромагнитный образец разбит в магнитном отношении на домены — области однородной спонтанной намагниченности. В пределах каждого домена ферромагнетик намагничен до насыщения и обладает определенным магнитным моментом. Направления этих моментов для разных доменов различны, так что в отсутствие внешнего поля суммарный момент всего тела равен нулю (см. рис. 6).

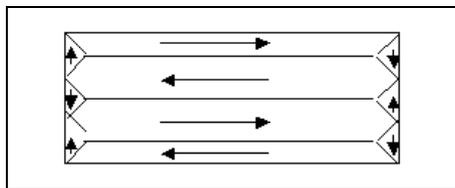


Рисунок 6. Схематическое изображение доменной структуры

Для ферромагнетиков во внешнем магнитном поле характерны: нелинейность кривой намагничивания и магнитный гистерезис при перемагничивании; сильная зависимость магнитной восприимчивости от направления магнитного поля.

При намагничивании ферромагнетиков изменяются их размеры и форма (магнитострикция). В ферромагнитных кристаллах наблюдается магнитная анизотропия, т.е. различие магнитных свойств по разным кристаллографическим направлениям.

Магнитные и другие физические свойства ферромагнетиков обладают ярко выраженной зависимостью от температуры, особенно вблизи температуры Кюри (см. рис. 7).

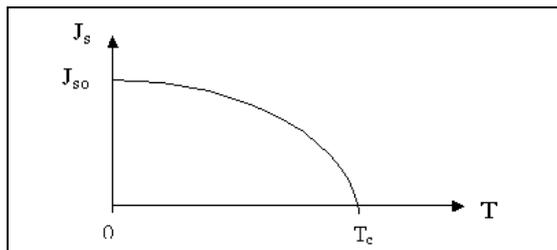


Рисунок 7. График зависимости спонтанной намагниченности от температуры

Намагничивание ферромагнетиков при их вращении в отсутствие магнитного поля (эффект Барнетта)

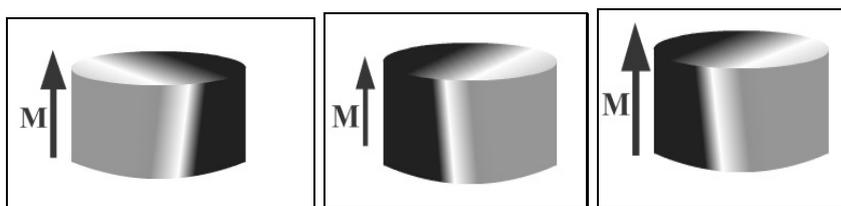


Рисунок 8. Анимация, иллюстрирующая эффект Барнетта

Описание

Эффект Барнетта заключается в намагничивании тел путем их вращения при отсутствии внешнего магнитного поля. Эффект реализуется в ферромагнетиках (рис. 8).

Во вращающемся с постоянной угловой скоростью вокруг неизменной оси z образце (рис. 9) элементарные магнитики его материала представляют собой своеобразные гироскопы, обладающие механическим моментом количества движения и магнитным моментом.

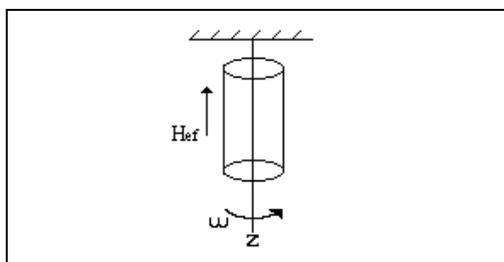


Рисунок 9. Геометрия наблюдения эффекта Барнетта (вращающийся цилиндр сделан из ферромагнетика)

Техническая реализация эффекта

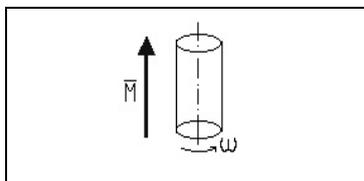


Рисунок 10. Намагничивание вращающегося стержня

Возникающее магнитное поле, порождаемое намагниченностью, измеряется стандартным магнетометром.

Применение эффекта

Физический эффект применяется для исследования природы и строения ферромагнитных веществ. Он позволил установить, что в некоторых ферромагнитных металлах (Fe, Co, Ni, Cd) элемен-

тарными магнетиками являются спиновые магнитные моменты электронов, тогда как в других ферромагнитных телах и парамагнетиках — спиновые и орбитальные магнитные моменты электронов (рис. 10, 11).

Униполярная электромагнитная индукция

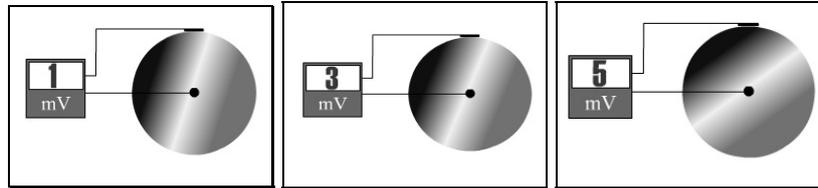


Рисунок 11. Анимация, иллюстрирующая униполярную магнитную индукцию

Описание

Явление униполярной индукции является частным случаем электромагнитной индукции и возникает при вращении проводящих тел, обладающих собственной намагниченностью либо помещенных во внешнее магнитное поле. Традиционная схема опыта, иллюстрирующего униполярную индукцию, приведена на рисунке 12.

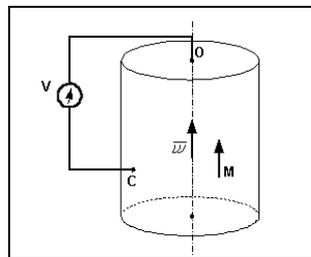


Рисунок 12. Геометрия наблюдения униполярной индукции

Техническая реализация эффекта

Схема технической реализации представлена на рисунке 13.

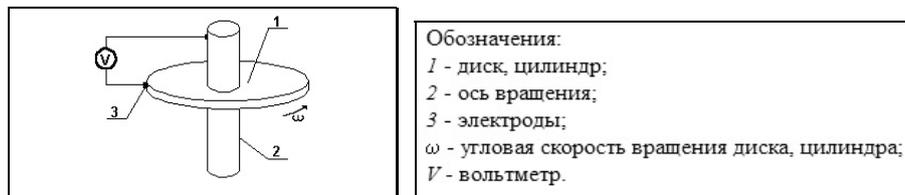


Рисунок 13. Вращение намагниченного ферромагнетика (диска, цилиндра)

Намагниченный диск вращается. Чем больше частота вращения, тем большее напряжение показывает вольтметр.

Применение эффекта

Униполярная индукция, являясь частным случаем электромагнитной индукции, проявляется в любых произвольно движущихся намагниченных телах (твердых, жидких, газообразных); это обеспечивает ее широкое использование в электротехнических системах, например, МГД-генераторах, счетчиках электроэнергии и т.п.

4. Виртуальная лабораторная работа

Многие эксперименты, сыгравшие значительную роль в развитии физики и поэтому важные для формирования у учащихся адекватных представлений о Мире, невозможно поставить в учебной физической лаборатории. Причины могут быть различные:

- длительность эксперимента;
- параметры установки (высокие давления, низкие температуры и пр.);
- стоимость и габариты оборудования.

Подобраны следующие виртуальные лабораторные работы — «Изучение намагниченности парамагнетиков» и «Изучение фазового перехода в ферромагнетиках». Первая подробно представлена в дипломной работе А.Х.Нурсултановой [7; 47–50]. Рассмотрим работу «Изучение фазового перехода в ферромагнетиках» [8].

Цель работы — изучение фазового перехода второго рода ферромагнетик-парамагнетик, определение зависимости спонтанной намагниченности от температуры и проверка закона Кюри-Вейсса.

В природе существуют различные скачкообразные изменения состояния вещества, называемые фазовыми превращениями. К числу таких превращений относятся плавление и отвердевание, испарение и конденсация, переход металлов в сверхпроводящее состояние и обратный переход и так далее.

Одним из фазовых переходов является превращение из ферромагнитного в парамагнитное состояние у некоторых веществ, таких как металлы группы железа, некоторые лантаноиды и другие.

Переход ферромагнетик-парамагнетик широко исследуется в настоящее время не только из-за его важности в материаловедении, но и ввиду того, что для его изучения можно применить весьма простую модель (модель Изинга), а следовательно, этот переход можно наиболее детально изучить математически, что важно для создания пока еще отсутствующей общей теории фазовых переходов.

Теория включает в себя классификацию магнетиков, модель Изинга (предполагает, что атомы располагаются неподвижно, не совершая колебаний, в узлах идеальной кристаллической решетки, и не учитывается тепловое расширение тел), энтропию (полное число микросостояний, соответствующих макросостоянию с данной намагниченностью), приближение Брэгга-Вильямса (не учитывается корреляция в расположении моментов), энергию.

В этой работе рассматривается переход ферромагнетик-парамагнетик в двумерной кристаллической решетке, исследуется зависимость спонтанной намагниченности от температуры, проверяется закон Кюри-Вейсса.

Фрагмент из работы представлен на рисунке 14.

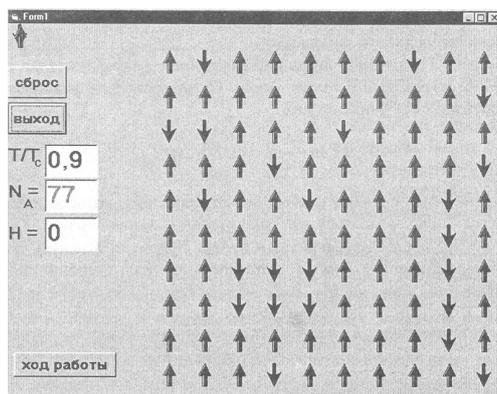


Рисунок 14. Фрагмент из виртуальной лабораторной работы «Изучение фазового перехода в ферромагнетиках»

Ферромагнетик моделируется фрагментом простой квадратной решетки из 100 узлов, на которой размещаются магнитные моменты «вверх» и «вниз», изображаемые соответственно направленными стрелками. Задаются температура магнетика в приведенных единицах $x = T/T_c$ и напряженность внешнего магнитного поля.

Необходимо выполнить два упражнения. В первом из них определяется зависимость намагниченности от температуры при отсутствии внешнего магнитного поля; во втором исследуется намагничивание магнетика внешним полем при температуре выше точки Кюри и проверяется закон Кюри-Вейсса.

Заключение

В процессе работы нами был освоен и проанализирован теоретический материал по магнитным явлениям в вузовском курсе, включая нетрадиционные разделы; рассмотрены существующие инновационные технологии и электронные образовательные ресурсы применительно к теме. Использовалась как традиционная технология полного усвоения, так и инновационные технологии: интерактив-

ные технологии, включающие презентации, анимации, видеоролики, виртуальные лабораторные работы, технологии вузовского обучения и технологии смешанной уровневой дифференциации.

При анализе литературы применительно к выбранной теме была, в частности, тщательно изучена и проанализирована дипломная работа А.Х.Нурсултановой [7]. Предлагаемый материал был доложен на XXXIII университетской конференции, обсужден на научно-методическом семинаре кафедры общей и теоретической физики, а его презентация вошла как составная часть в презентацию лекций по разделу «Электричество и магнетизм» в курсе «Физика-1».

References

- 1 *Krivosheev A.O.* Working and using of computer teaching programs // Informational technologies magazine. — M., 1996. — № 2 — P. 14—17.
- 2 *Hozyainov G.I.* Jubilee collected articles of scientists devoted to Academy eightieth anniversary. — M.: «RGAFK» publ. — 1998 — Vol. 5. — 567 p.
- 3 *Chernilevskii D.V.* Didactic technologies higher institutes of learning: Educational book for universities. — M.: UNITY-DANA, 2002. — 437 p.
- 4 *Shveikin V.F., Krasnyukova V.Y.* Using of interactive technologies in pedagogical processes. — M.: Science, 2006. — 128 p.
- 5 Physics e-book. <http://ultra.lan>.
- 6 Virtual fund of natural and technical scientific effects «Effective physics». <http://effects.ru>.
- 7 *Ilyina L.F., Nursultanova A.H.* Teaching technique of electromagnetism principles in secondary school with using of interactive technologies: Diploma work. — Karaganda, Karaganda State University named after E.A.Buketov, 2009.
- 8 *Tolstik A.M.* Virtual laboratory of general physics. — Tomsk: TGU publ., 2004.

Л.Ф.Ильина, Д.К.Тәжібаева

Магниттік эффектерді зерттегенде инновациондық технологияларды қолдану

Қазіргі кезде ақпараттың көлемі мен қиындық деңгейі арта береді, сондықтан оны ұғу процесі мен адамның интеллектуалдық даму процесі жана жолдар мен технологияларды жасау мен интенсификациялауды мәжбүр етеді. Дж. Максвелл ашқан макроскопиялық электродинамика теорияны түсіну үшін, материяның табиғатын кеңейту қажет. Сондықтан электродинамикада материяның басқа түрі енгізіледі — өрістік материя, демек, электромагниттік өріс. Инновациялық технологиялар мен электрондық ресурстар тез дамитын жағдайда тек дәстүрлі технологияларды қолдануға болмайды. Бұл жағдаймен сәйкес «Электрлік күші мен магнетизм» бөлімін өткенде, инновациялық технологиялар мен электрондық білім беру ресурстар қолдануда әдістерге тексеру жүргізілді. Бұл технологиялар мен ресурстар материалды оқу деңгейін физикалық процестер мен заңдарын визуализациялау арқылы арттыруға септігін тигізеді.

L.F.Ilyina, D.K.Tazhibayeva

The using of innovation technologies during magnetic phenomena study

The range and level of information complexity continually increase at present time, and so its learning process and process of person intellectual development demand intensification and using of new methods and technologies. Before understanding the heart of macroscopic electrodynamics theory, the creator of which was J.Maxwell, it is necessary to widen and extend matter concept. Just one kind of matter — substance has in view in the classical variant. Another form of matter — field substance, i.e. electrodynamics field, is introduced exactly in electrodynamics. It is impossible to limit by only traditional technologies in conditions of fast developing innovation technologies and electronic resources. In conformity with it the approbation of methods on basis of innovation technologies and electronic educational resources using was carried out. This methods allow to raise learn activity, quality of material mastering by the visualization of physics processes and physics regularities.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Aliev A.B.** — Senior lecturer, Candidate of phys.-math. sciences, associate professor, Kazakh National University after al-Farabi, Physical faculty, Almaty.
- Amochaeva G.P.** — Elder teacher, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Archipov V.V.** — Senior lecturer, Candidate of phys.-math. sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Aryngazin K.M.** — Professor, Doctor of Pedagogical sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Baktybekov K.S.** — Professor, Doctor of phys.-math. sciences, Euroasian National University named after L.N.Gumilev, Physical faculty Astana.
- Balgabekov K.** — Senior lecturer, Candidate of tech. sciences, associate professor, Karaganda State Technical University.
- Guchenko S.A.** — Younger scientific employee, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Ibraev N.H.** — Professor, Doctor of phys.-math. sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Ilyina L.F.** — Professor, Candidate of phys.-math. sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Ishchanova Zh.K.** — Student, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Jurov V.M.** — Senior scientific employee, Candidate of phys.-math. sciences, associate professor, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Kamricova A.A.** — Student, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Kudussov A.S.** — Senior lecturer, Candidate of phys.-math. sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Murashova Z.F.** — Senior lecturer, Candidate of phys.-math. sciences, Karaganda State Technical University.
- Mursachmet M.K.** — Senior lecturer, Candidate of phys.-math. sciences, Euroasian National University named after L.N.Gumilev, Physical faculty, Astana.
- Tazhibayeva D.K.** — Magistrate, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Vassilieva I.F.** — Senior lecturer, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Vertjagina E.N.** — Senior lecturer, Candidate of phys.-math. sciences, Euroasian National University named after L.N.Gumilev, Physical faculty, Astana.
- Zakiev D.M.** — Student, Karaganda State University named after E.A.Buketov, Physical faculty.
- Zhumadilov E.K.** — Senior lecturer, Candidate of chemical sciences, associate professor, Karaganda State Technical University.