

Учреждение образования
«Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина»

НИРС-2022
ФИЗИКА: НАУЧНЫЙ И МЕТОДИЧЕСКИЙ
АСПЕКТЫ

Сборник материалов
студенческой научной конференции

Брест, 26–27 апреля 2022 года

Брест
БрГУ имени А. С. Пушкина
2022

УДК 378+530+535+537+539
ББК 22.2+22.6+74.58
Н 68

Под общей редакцией
кандидата физико-математических наук, доцента **А. В. Демидчика**

Рецензенты:
кандидат физико-математических наук, доцент **Н. Н. Сендер**
кандидат физико-математических наук, доцент **Д. В. Грицук**

Н 68 **НИРС-2022.** Физика: научный и методический аспекты :
сб. материалов студен. науч. конф., Брест, 26–27 апр. 2022 г. / Брест.
гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. В. Демидчика. –
Брест : БрГУ, 2022. – 21 с.

В сборник включены материалы, отражающие результаты научных и научно-методических исследований студентов физико-математического факультета по актуальным вопросам общей, теоретической и математической физики, физики твердого тела, астрофизики и астрономии.

Материалы могут быть использованы научными работниками, аспирантами, преподавателями учебных заведений, магистрантами и студентами.

УДК 378+530+535+537+539
ББК 22.2+22.6+74.58

© УО «Брестский государственный
университет имени А. С. Пушкина», 2022

УДК 537.312:538.245

А. В. БУРА

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КАТИОНЗАМЕЩЕННОГО $\text{Ni}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$

Сложные оксиды железа со структурой шпинели с общей формулой AB_2O_4 (А – ион двухвалентного металла, В – катион Fe^{3+}) – перспективные материалы современной электроники и спинтроники. Свойства ферритов существенно зависят от условий синтеза и состава образцов. В ряде работ были описаны структура и свойства никель-цинковых ферритов, полученных различными способами. Одним из методов, лежащих в основе синтеза образцов с заданными физическими свойствами, является частичное замещение катионов железа изовалентными катионами редкоземельных элементов. Цель работы заключается в исследовании зависимости магнитных свойств шпинелей $\text{Ni}_{0.80}\text{Zn}_{0.20}\text{Fe}_{1.95}\text{R}_{0.05}\text{O}_4$ от типа катиона редкоземельного элемента.

Объектами исследования выступают объемные керамические поликристаллические соединения катионзамещенной никель-цинковой шпинели $\text{Ni}_{0.80}\text{Zn}_{0.20}\text{Fe}_{1.95}\text{R}_{0.05}\text{O}_4$. Образцы синтезированы традиционным методом твердофазных реакций. Катионное замещение приводит к формированию дополнительной фазы в виде ортоферритов RFeO_3 , систематическому изменению параметров кристаллической решетки и уменьшению абсолютной величины удельной намагниченности из-за существенного различия величин ионных радиусов катиона железа и катионов редкоземельных элементов.

Замена магнитного катиона Fe^{3+} R-ионами уменьшает результирующий магнитный момент, что приводит к уменьшению значений намагниченности насыщения по отношению к недопированному никель-цинковому ферриту. Радиусы R-катионов в октаэдрической координации больше ионного радиуса катиона железа в том же анионном окружении. Это вызывает значительное увеличение объема элементарной ячейки и приводит к увеличению длин связи $\text{Fe}^{3+}(\text{R}^{3+})\text{--O}^{2-}$ и валентных углов $\text{Fe}^{3+}\text{--O}^{2-}\text{--R}^{3+}$, что ослабляет обменное магнитное взаимодействие. Замещение приводит к конкуренции магнитных взаимодействий и возникновению сверхобменных взаимодействий вследствие нарушения периодичности обменно-связанных цепей. Такая конкуренция между антиферромагнитными и ферромагнитными обменными взаимодействиями часто приводит к искажению обменными связями и состоянию спинового стекла с восстановленными магнитными параметрами.

УДК 537.312:538.245

**Г. В. ВАЛЕНТЮК, Д. В. ГРАБАР, Я. А. СВИДУМОВИЧ,
Т. А. БЕРЕЗОВСКАЯ**

ОПТИЧЕСКАЯ И РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КАТИОНЗАМЕЩЕННОГО BiFeO_3

Твердые растворы на основе феррита висмута BiFeO_3 являются перспективными материалами для создания новых элементов памяти, сенсоров, магнитоэлектрических переключателей и других устройств электроники и спинтроники. Одним из методов модификации физических свойств BiFeO_3 является замещение части катионов висмута изовалентными катионами группы лантаноидов – редкоземельных элементов. Вызванные замещениями структурные превращения влекут за собой изменения диэлектрических и оптических характеристик, связанных с динамикой кристаллических решеток образцов. Целью работы является исследование структуры и динамики кристаллической решетки объемных и тонкопленочных образцов феррита висмута на основании анализа данных оптической и рамановской спектроскопии.

Рамановская спектроскопия – один из наиболее известных инструментов, используемых для изучения структурных особенностей. Несмотря на то что BiFeO_3 широко изучали с помощью рамановской спектроскопии, в литературе имеются расхождения в результатах. Согласно теории групп ромбоэдрический BiFeO_3 с пространственной группой $R3c$ характеризуется тринадцатью активными модами. Данные режимы комбинационного рассеяния были подогнаны с использованием функции Лоренца и разложены на отдельные пики. Выполнен анализ результатов разложения, и проведено соотнесение абсолютных величин резонансов с колебаниями ионов кристаллической решетки. Исследована взаимосвязь между изменением положения пиков и интенсивностями мод колебаний в оптических и рамановских спектрах образцов в зависимости от типа R-катиона. Замещение ионов редкоземельных металлов в A-положениях вызывает химическое давление, которое влияет на валентный угол Fe – O – Fe и приводит к систематическому изменению динамики решетки и оптических свойств.

Полученные результаты могут быть использованы как при изучении структуры и динамики кристаллической решетки и моделировании оптических явлений, наблюдаемых в материалах со структурой перовскита, так и при экспериментальных исследованиях и синтезе новых материалов с заданными физическими свойствами.

УДК 539.171

И. А. ВОЛОШИК

О ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНА И НЕЙТРОНА

Исследование взаимодействия протона и нейтрона (как экспериментальное, так и теоретическое) продолжается уже не одно десятилетие и имеет важное значение а) для физики атомного ядра, поскольку дает обширную информацию о ядерных силах, и б) для астрофизики, поскольку нейтронно-протонная среда является важной составной частью многих сверхплотных объектов.

К числу основных факторов, влияющих на наблюдаемые характеристики взаимодействия, можно отнести следующие: а) начальная энергия системы «нейтрон – протон»; б) орбитальный момент относительного движения нейтрона и протона; в) спиновое состояние системы «нейтрон – протон»; г) наличие внешнего магнитного поля; д) наличие поблизости других нуклонов и их концентрация. К результатам взаимодействия (и наблюдаемым характеристикам) можно отнести: а) рассеяние или образование связанного состояния; б) наличие гамма-кванта (в случае радиационного захвата нейтрона протоном с образованием дейтрона); в) поляризацию и другие характеристики гамма-кванта; г) переворот спинов протона и нейтрона при рассеянии; д) рождение лептонов и новых адронов при неупругом рассеянии. Среди величин, используемых для теоретического описания взаимодействия нейтрона и протона, можно отметить: а) энергию связи дейтрона; б) сечение радиационного захвата нейтрона протоном; в) сечения рассеяния (упругого и неупругого, без рождения и с рождением новых частиц); в) матричные элементы, амплитуды и фазы рассеяния (с теми же замечаниями, что и в предыдущем пункте). Кроме того, перед началом теоретического исследования взаимодействия следует отметить наиболее важные факторы, учитываемые в модели взаимодействия. Наиболее заметную роль во взаимодействии нейтрона и протона играют ядерные силы и их зависимость от спинового состояния нейтрона и протона. К другим факторам относятся обменные токи, электромагнитное взаимодействие (поскольку у обоих нуклонов отличен от нуля магнитный момент, электрический заряд протона может взаимодействовать с магнитным полем нейтрона, а магнитный момент нейтрона – с электрическим полем протона), слабое взаимодействие (нуклоны в нем участвуют). Важность учета внешних электромагнитных полей зависит от их интенсивности.

УДК 530.10

А. В. ЗАРЕЦКИЙ

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Bi-Sb,
ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКИ**

Висмут и сурьма образуют между собой непрерывный ряд твердых растворов, при этом линии солидус и ликвидус расположены недалеко относительно друг друга, что оказывает существенное влияние на формирование структуры при кристаллизации.

Легирование висмута сурьмой вызывает измельчение зеренной структуры. Например, средние размеры зерен фольг сплавов, содержащих 8 и 12 ат. % Sb, полученных односторонним охлаждением, равны 12 мкм и 8 мкм соответственно.

Большинство работ по изучению термоэлектрических свойств $Bi_{1-x}Sb_x$ проведены на монокристаллических образцах с большим шагом по концентрации. Было установлено, что зависимости электропроводности $\sigma(x)$ и теплопроводности $\lambda(x)$ представляют собой кривые с минимумом в полупроводниковой области, а зависимости коэффициента Холла $R_H(x)$ и коэффициента Зеебека $S(x)$ – кривые с максимумом при наибольших значениях E_g . На зависимости $\sigma(x)$ для монокристаллов $Bi_{1-x}Sb_x$ было обнаружено аномальное уменьшение σ вблизи $x \sim 0,03$. Характер зависимости подвижности носителей заряда от состава $\mu(x)$, по данным разных авторов, различен. Например, с ростом концентрации Sb до $x = 0,3$ величина μ уменьшается для монокристаллов, а по данным других экспериментов это наблюдается и для поликристаллов. В то же время для монокристаллов и поликристаллов обнаружен рост подвижности в интервалах концентраций $x = 0-0,08$, $x = 0-0,10$ и $x = 0,08-0,10$.

В работах, посвященных изучению термоэлектрических свойств поликристаллов $Bi_{1-x}Sb_x$, в основном исследовались прессованные образцы, причем изучались либо твердые растворы $Bi_{1-x}Sb_x$ с большим шагом по концентрации Sb, либо сплавы в узком интервале составов, либо отдельные составы. Было установлено, что характер концентрационных и температурных зависимостей термоэлектрических свойств поликристаллов и монокристаллов $Bi_{1-x}Sb_x$ в основном аналогичен, хотя на свойства поликристаллов существенное влияние оказывает размер зерна d : при уменьшении d величины σ и λ уменьшаются, а значения S – увеличиваются.

УДК 378:001.891

М. Е. ЗАРУБА

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ

Использование современных информационных технологий в образовании играет основополагающую роль в современном обществе. Новые стандарты образования требуют овладения современными цифровыми технологиями как обучающимися, так и педагогами, особенно учителями физики и информатики.

Комплексная работа преподавателя физики, направленная на реализацию требований стандартов к личностным и предметным результатам обучения с использованием цифровых технологий, заключается в контроле знаний на всех видах занятий, реализации виртуальных практикумов для лабораторных и практических занятий, использовании метода проектов, принципов сетевого взаимодействия.

К современным информационным технологиям в образовании относятся следующие технологии:

- создание электронной среды образовательного учреждения и создание интегрированного электронного образовательного пространства учебных заведений;
- доступность учебных материалов и т. п. через образовательные пространства;
- внедрение компьютерного моделирования в образовательный процесс, в частности применение 3D-моделирования реальных физических процессов и явлений.

Для закрепления знаний и навыков в обучении физике следует применять виртуальные тренажеры, обучающие и тестовые программы. Применение компьютерных средств и информационных технологий в учебном процессе дает обучающемуся возможность:

- высвободить учебное время;
- получать доступ к различной справочной информации.

При этом повышается интерес к физике, усиливается мотивация обучения, формируется информационная культура. Технологии компьютерного обучения обеспечивают адаптацию процесса обучения к индивидуальным характеристикам учеников, способствуют разработке объективных методов контроля знаний. Преимущество технологии цифрового обучения заключается в многообразии источников информации, гибкости; технологичности, экономичности.

УДК 530.10

О. А. КОТОВИЧ

МЕТОДЫ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКИ ИЗ РАСПЛАВА

Ведущей идеей методов сверхбыстрой закалки из расплава (далее – СБЗР) висмут – сурьма является достижение более высокой скорости охлаждения расплава. Отвод тепла может осуществляться любой комбинацией трех путей: излучения, конвекции и теплопроводности. При температурах, соответствующих расплавленным металлам, охлаждение излучением малоэффективно, а конвекция в жидкостях и газах, в свою очередь, требует определенного времени на установление, поэтому в методах СБЗР охлаждение расплава обычно происходит преимущественно благодаря процессу теплопроводности.

Главный принцип реализации СБЗР состоит в необходимости формирования тонкого слоя жидкости, находящегося в плотном тепловом контакте с теплоприемником. Он рассматривается в качестве признака, по которому проводят классификацию методов СБЗР. Их делят на три группы: 1) методы распыления, в которых продукт образуется последовательным затвердеванием капель; 2) методы разлива, при которых расплав доставляется непрерывно, без дробления; 3) процессы типа сварки.

В методе получения длинных тонких волокон используется одностороннее охлаждение литьем в желоб края быстровращающегося диска; при получении лент – литьем на вогнутую поверхность металлической чаши; при получении узких лент толщиной 30–100 мкм – литьем расплава из тонкой щели на внутреннюю или внешнюю поверхность быстровращающегося барабана, изготовленного из теплопроводящего материала, преимущественно из металла с большей температурой плавления, центробежной закалкой и спиннингованием соответственно.

Промышленность использует эти методы при производстве, а именно спиннингование (производство металлических стекол). Метод спиннингования наиболее производителен, так как позволяет автоматизировать процесс получения фольг. Для получения быстрозатвердевших фольг, нитей и лент применяется также метод экстракции. Двустороннее охлаждение при литье можно производить методамиковки или прокатки расплава.

Таким образом, выделены основные направления и способы сверхбыстрой закалки из расплава, а также проведено краткое обобщение методов сверхбыстрого охлаждения.

УДК 539.171.016

А. В. КУДРАВЕЦ**ВАРИАНТЫ УКРОЧЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА LQZ ДЛЯ ГЕЛИЯ**

Для рассеяния позитронов на уране укороченный модифицированный метод LQZ с использованием 9 коэффициентов приводит к резкому снижению точности по сравнению с 12 коэффициентами. В данной работе вычислены коэффициенты для вариантов укороченного модифицированного метода LQZ для рассеяния позитронов на ядре гелия. Значения коэффициентов приведены в таблицах 1–3.

Таблица 1 – $Z = -2$. $L = 5$

j/k	1	2	3	4	5
1	-0.021236	-0.032421	-0.000001	-0.000019	0.000314
2	-0.207950	-0.645043	-0.499736	0.000016	-0.000761
3	-0.000165	0.000370	-0.000294	-0.000003	0.000190

Таблица 2 – $Z = -2$. $L = 4$

j/k	1	2	3	4
1	-0.021237	-0.032409	0.000041	-0.000154
2	-0.207948	-0.645073	-0.499838	0.000342
3	-0.000166	-0.000363	-0.000269	-0.000085

Таблица 3 – $Z = -2$. $L = 3$

j/k	1	2	3
1	-0.021239	-0.032428	0.000084
2	-0.207943	-0.645030	-0.499934
3	0.000167	-0.000374	-0.000245

Средняя по скоростям ошибка $\langle ER \rangle$ приводится в таблице 4.

Таблица 4 – Усредненная по скоростям относительная ошибка для гелия

	LQZ	LQZ _S	LQZ _{S(5)}	LQZ _{S(4)}	LQZ _{S(3)}
$\langle ER \rangle$, %	$3,02 \cdot 10^{-4}$	$6,87 \cdot 10^{-4}$	$6,92 \cdot 10^{-4}$	$7,07 \cdot 10^{-4}$	$7,46 \cdot 10^{-4}$

Для гелия точность остается очень высокой для девяти коэффициентов.

УДК 539.171.016

А. В. КУДРАВЕЦ**УКОРОЧЕННЫЙ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД LQZ
ДЛЯ ОГАНЕСОНА**

Представляет интерес проверка погрешности укороченного модифицированного метода с 12 коэффициентами для рассеяния позитронов на оганесоне. В таблице приводятся значения вычисленных коэффициентов:

Таблица – $Z = -118$

j/k	1	2	3	4
1	-0.252178	-0.764277	-0.659142	-0.149460
2	-0.0110519	-0.0923757	0.0227431	0.307193
3	0.0185471	0.0143222	-0.369204	-0.636921

На рисунке изображена зависимость относительной погрешности от скорости. Относительная погрешность достигает значения 0,72 % при $\beta = 0,9$. Средняя по скоростям ошибка $\langle ER \rangle$ для метода LQZ с коэффициентами [1] 0,021 %, для $LQZ_{S(4)}$ – 0,3 %.

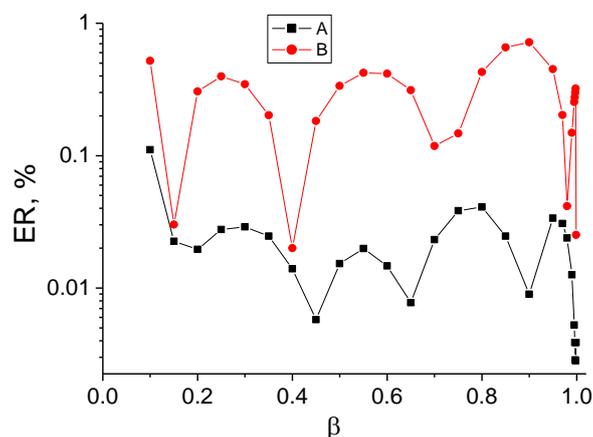


Рисунок – Относительная ошибка ER как функция относительной скорости: A – LQZ, B – $LQZ_{S(4)}$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. An Expression for the Mott Cross Section of Electrons and Positrons on Nuclei with Z up to 118 / M. J. Boschini [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. – 2013. – Vol. 90. – P. 39–66.

УДК 539.171.016

Н. И. КУЛИКОВИЧ**ПОПРАВКА МОТТА ДЛЯ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Для расчета потерь энергии ионов с большим зарядовым числом Z в формуле Бете – Блоха необходим учет поправки Мотта. В [1; 2] получены аналитические формулы для расчета поправки Мотта с использованием методов LQZ и LQZ_{m2} .

В таблице приведены относительные погрешности поправки Мотта δ , вычисленной с использованием методов LQZ и LQZ_{m2} для $Z = 113$ и 118 . Поправки сравнивались с результатом численных расчетов.

Таблица – Относительные погрешности поправки Мотта (жирным шрифтом выделены относительные отклонения, превышающие 20 %)

Z/ β	0,25	0,35	0,4	0,5	0,6
113	$\delta_{LQZ} = 207,9$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 45,79$	$\delta_{LQZ} = 40,52$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 1,05$	$\delta_{LQZ} = 8,53$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 0,114$	$\delta_{LQZ} = 13,27$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 5,68$	$\delta_{LQZ} = 12,77$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 9,82$
118	$\delta_{LQZ} = 270,1$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 90,35$	$\delta_{LQZ} = 67,53$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 4,35$	$\delta_{LQZ} = 23,64$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 2,97$	$\delta_{LQZ} = 13,62$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 1,37$	$\delta_{LQZ} = 20,65$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 9,02$
Z/ β	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
113	$\delta_{LQZ} = 8,26$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 9,69$	$\delta_{LQZ} = 6,05$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 6,49$	$\delta_{LQZ} = 6,38$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 2,98$	$\delta_{LQZ} = 6,54$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 2,23$	$\delta_{LQZ} = 6,05$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 2,58$
118	$\delta_{LQZ} = 18,46$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 11,52$	$\delta_{LQZ} = 15,47$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 8,79$	$\delta_{LQZ} = 14,58$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 4,46$	$\delta_{LQZ} = 13,76$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 3,48$	$\delta_{LQZ} = 13,40$ $\delta_{LQZ_{m2}} = 3,77$

Для всех рассмотренных скоростей для $Z = 118$ метод LQZ_{m2} дает более точное значение поправки Мотта. Для $Z = 113$ поправка Мотта по LQZ для скоростей 0,7 и 0,8 с. немного точнее, чем при использовании дважды модифицированного метода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голенко, И. Д. Расчет коэффициентов модифицированного и дважды модифицированного метода LQZ для элементов с $Z = 70, 81, 83$ и 88 / И. Д. Голенко, П. Б. Кац // Математические и физические методы исследований: научный и методический аспекты : сб. материалов Респ. науч.-практ. конф., Брест, 22–23 апр. 2021 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. Н. Н. Сендера. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 60–63.

2. Some approaches to the calculation of the normalized Mott cross section, displacement cross section, and the Mott correction to the Bethe formula / P. V. Kats [et al.] // Radiat. Phys. Chem. – 2022. – Vol. 192. – P. 109919–109926.

УДК 539.18

И. С. КУХТА

РАСЧЕТ ПОСТОЯННЫХ В ФОРМУЛЕ БЕТЕ – ВАЙЦЗЕККЕРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

В [1] с помощью метода наименьших квадратов вычислялись поправки в формуле Бете – Вайцзеккера на основе 79 изотопов и проверялась точность полученных значений, постоянных для тех же изотопов.

При применении полученных поправок к большему количеству изотопов средняя относительная погрешность возрастает.

В данной работе вычислены значения поправок для других наборов изотопов. В таблице 1 приведены поправки, вычисленные для 100 изотопов шести элементов и для 250 изотопов, включающих упомянутые 100 изотопов.

Таблица 1 – Значения коэффициентов в формуле Вайцзеккера

Число изотопов	a_v , МэВ	a_s , МэВ	a_c , МэВ	a_{sym} , МэВ	a_p , МэВ
100	15,54757	17,17008	0,697963	22,819535	10,866963
250	15,81135	17,86729	0,718790	23,705462	10,63211

Средняя относительная погрешность, вычисленная для 100 изотопов с помощью значений поправок из [1] и из таблицы 1 для 100 изотопов, равна соответственно 0,546 % и 0,159 %.

В таблице 2 приведены средние относительные погрешности для 250 изотопов при использовании поправок, вычисленных с помощью 79, 100 и 250 изотопов, а также средние квадратичные отклонения:

Таблица 2 – Среднее значение относительной погрешности

Число изотопов при вычислении поправок	79	100	250
$\langle \delta E_b \rangle$, %	0,452	0,273	0,276
$rmsd$, МэВ	4,15	2,94	2,69

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кац, П. Б. Формула Бете – Вайцзеккера. Обзор и подбор коэффициентов / П. Б. Кац, С. М. Удовенко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізіка. Матэматыка. – 2021. – № 2. – С 26–45.

УДК 378:001.891

С. А. ЛАЗАРЕВ

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ В ВУЗЕ

В настоящий момент в мировой системе образования происходит процесс смены парадигмы: преподаватель больше не является центром системы, ее центром становится студент. Этот процесс предъявляет больше требований к обучению, построенному на тесном взаимодействии обучающегося и преподавателя. Внедрение современных информационных технологий в образовательный процесс позволяет достичь совершенно нового уровня дифференциации обучающих программ, мотивации обучающегося и контроля знаний, в том числе и при обучении физике. Применение новых информационных технологий на физико-математических факультетах вузов позволяет достичь иного уровня восприятия информации за счет подключения к процессу обучения всех органов чувств, индивидуализировать учебный план для каждого студента, скорректировать занятие на основе биометрических показателей или даже выражения лица, обеспечить надлежащий промежуточный контроль и контроль остаточных знаний каждого обучающегося, сделав это быстро и качественно.

Текущий уровень технологического прогресса, вступление в шестой технологический уклад, характеризующийся развитием информационных технологий, когнитивных наук и их конвергенцией, предполагает внедрение искусственного интеллекта в различные аспекты жизни человека. Искусственный интеллект позволяет облегчить жизнь современному студенту физико-математической специальности. Например, для расчета уравнения от инициатора не требуется даже описать его, достаточно сфотографировать печатный или рукописный текст, и он будет приведен к математическому описанию уравнения, затем получено оптимальное решение с описанием и комментариями решения.

В современном физико-математическом образовании необходимо применять новые технологии для вовлечения различных каналов восприятия – визуального, аудио, осязания – для того, чтобы сделать впечатления обучающихся более богатыми. Иными словами, использовать дополненную реальность в обучении. Применение искусственного интеллекта позволяет подобрать наиболее эффективные программы обучения, построенные с учетом индивидуальных особенностей человека с возможностью их корректировки в процессе образования.

УДК 535.32, 37.012.7

А. В. МАЛЫХА

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПО ТЕМЕ ДИСПЕРСИИ

В одном из учебных пособий рассматривается следующая задача: выразить групповую скорость в виде функции от показателя преломления и длины волны и найти групповую скорость в воде для $\lambda = 656,3$ нм, если известно, что при 20°C показатель преломления для этой длины волны равен 1,3311, а для $\lambda = 643,8$ нм он равен 1,3314.

Автор исходит из формул:

$$\omega = \frac{2\pi c}{n\lambda}, k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (1)$$

Отсюда выводится следующая формула:

$$v_g = \frac{c}{n} \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right). \quad (2)$$

Подставляя численные данные, автор находит результат:

$$v_g = \frac{3 \cdot 10^8}{1,3311} \left(1 + \frac{656,3}{1,3311} \frac{0,0003}{12,5} \right) = 2,28 \cdot 10^8 \left(\frac{M}{c} \right). \quad (3)$$

Так как с ростом длины волны показатель преломления уменьшается, надо в формуле (2) в скобке ставить минус.

Формулы (1) относятся к длине волны в среде. Длины волн в условии относятся к вакууму (вернее, к воздуху). Для длины волны в вакууме:

$$v_{\bar{a}} = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d\left(\frac{2\pi\tilde{n}}{\lambda}\right)}{d\left(\frac{2\pi n}{\lambda}\right)} = \frac{cd\left(\frac{1}{\lambda}\right)}{d\left(\frac{n}{\lambda}\right)} = \frac{-c \frac{1}{\lambda^2}}{\frac{dn}{d\lambda} \frac{1}{\lambda} - n} = \frac{c}{n\left(1 - \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda}\right)}. \quad (4)$$

Результат расчетов сильно зависит от того, какая цифра опущена при округлении показателя преломления. Мы нашли с помощью метода наименьших квадратов значения показателей преломления с точностью пять

знаков после запятой по трем спектральным линиям и уточнили длины волн рассматриваемых линий для вакуума. Предлагается условие задачи:

Выразить групповую скорость в виде функции от показателя преломления и длины волны и найти фазовую и групповую скорость в воде для $\lambda = 656,464$ нм, если известно, что показатель преломления для этой длины волны равен 1,33115, а для $\lambda = 644,0245$ нм он равен 1,33137. (Ответ: $2,2521 \cdot 10^8$ м/с, $2,2327 \cdot 10^8$ м/с.)

УДК 537.312:538.245

Е. А. НИКИТИН, А. С. ОЛИЗАРОВИЧ, Т. А. БЕРЕЗОВСКАЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ КОМПОНЕНТ ИМПЕДАНСА КАТИОНЗАМЕЩЕННОГО BiFeO_3

Мультиферроики, синтезированные на основе феррита висмута BiFeO_3 , на протяжении длительного времени являются объектами научных исследований благодаря наличию в них сосуществующих электрической и магнитной упорядоченных структур, что позволяет создавать на их основе многофункциональные элементы электронных схем. Представляет интерес исследование взаимного влияния различных катионов редкоземельных элементов на диэлектрические свойства как образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{FeO}_3$, так и более сложного состава $\text{R}_{1,20-x}\text{R}'_{2,x}\text{Bi}_{0,80}\text{FeO}_3$ ($\text{R} = \text{La} - \text{Lu}$). Цель работы заключается в исследовании зависимости диэлектрических свойств образцов катионзамещенного феррита висмута на основании результатов моделирования спектров компонент импеданса.

Комплексная модульная спектроскопия является важным инструментом для определения, анализа и интерпретации динамических аспектов электрических транспортных свойств в диэлектрических материалах. Исследование импеданса в широком диапазоне частот позволяет идентифицировать процессы переноса заряда в зернах и границах зерен поликристаллической керамики. Исследованы широкодиапазонные ($1 \cdot 10^{10}$ Гц) диэлектрические спектры образцов. Экспериментальные спектры компонент комплексной диэлектрической проницаемости образцов описаны в рамках модели Дебая с распределениями времен релаксации Коула – Коула и Коула – Дэвидсона. Выполнено моделирование диэлектрических функций и компонент комплексного электрического модуля образцов с учетом механизмов поляризации, связанных с миграцией слабосвязанных (квазисвободных) носителей зарядов и их накоплением на границах зерен и перескоками электронов между разновалентными катионами железа (Fe^{2+} и Fe^{3+}), занимающими эквивалентные кристаллографические положения.

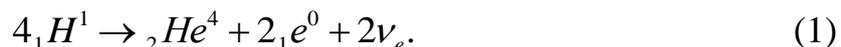
Изучено поведение параметров модели в зависимости от типа R-катиона. На основании моделирования импеданс-спектров построены эквивалентные схемы, описывающие электрические свойства образцов. Полученные результаты могут быть использованы как при исследованиях диэлектрических свойств ортоферритов редкоземельных элементов, так и при синтезе новых материалов с заданными физическими свойствами.

УДК 539.17, 37.012.7

А. Н. ОНИЩУК

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Известно, что энергия внутри Солнца выделяется за счет превращения четырех протонов в ядро гелия:



При изучении курса физики ядра полезно вычислить энергию, выделяющуюся в таком превращении. При расчете надо учесть, что масса ядра гелия в сумме с массой двух позитронов совпадает с массой нейтрального атома (пренебрегаем энергией связи электронов). Справа же надо ставить массу протона, а не нейтрального атома. Причем, чтобы получить результат с точностью до четырех значащих цифр, надо учитывать относительную массу протона с точностью минимум шесть знаков после запятой.

$$Q = 931,494(4 \cdot 1,007276 - 4,002603) = 24,69 \text{ (МэВ)} \quad (2)$$

В результате аннигиляции позитронов с электронами выделяется дополнительная энергия 2,044 МэВ. Суммарная энергия равна 26,73 МэВ.

Также при изучении курса физики ядра студенты знакомятся с проблемой солнечных нейтрино. Интересно рассмотреть задачу на вычисление плотности потока солнечных нейтрино на уровне земной орбиты. Для составления задачи мы посчитали плотность потока солнечных нейтрино из данных эксперимента [1, table 2]: $j_\nu = 6,661 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Солнечная постоянная Π может быть принята равной 1361,5 Дж/м². Число циклов (1), происходящих внутри Солнца за 1 секунду, равно

$$\frac{j_\nu 4\pi a^2}{2} = N_c. \quad (3)$$

Энергия, выделяющаяся в виде электромагнитного излучения за один цикл:

$$\check{I} \cdot 4\pi\check{\alpha}^2 / N_c = 2\check{I} / j_\nu = 4,088 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = 25,51 \text{ МэВ}. \quad (4)$$

Отсюда получается, что средняя энергия, уносимая нейтрино в одном цикле слияния протонов в ядро гелия, составляет 1,22 МэВ.

Студентам предлагается задача: *Оцените плотность потока солнечных нейтрино на уровне Земли. Солнечная постоянная равна 1361,5 Вт/м². Средняя энергия, уносимая нейтрино в одном цикле слияния протонов в ядро гелия, составляет 1,22 МэВ.*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Comprehensive measurement of *pp*-chain solar neutrinos / М. Agostini [et al.] // Nature. – 2018. – Vol. 562. – P. 505–518.

УДК 530.145.61, 37.012.7

А. И. ПЫЗИК

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БАРЬЕР

В курсе квантовой физики рассматриваются задачи на прохождение частицы через потенциальный барьер. Рассмотрим задачу 2.103 из задачника по квантовой физике И. Е. Иродова (М., 1991).

Частица массы m падает на прямоугольный потенциальный барьер, причем ее энергия $E < U_0$. Найти: а) коэффициент прозрачности D барьера; б) упростить полученное выражение для D в случае $D \ll 1$; в) вероятность прохождения электрона и протона $E = 5,0$ эВ сквозь этот барьер, если $U_0 = 10,0$ эВ и $l = 0,10$ нм.

В решении выводится формула для коэффициента прозрачности:

$$D = \left(1 + \frac{U_0^2 \sinh\left[\frac{\sqrt{2m(U_0 - E)l}}{\hbar}\right]}{4E(U_0 - E)} \right)^{-1}. \quad (1)$$

При $D \ll 1$ формула (1) преобразуется к виду:

$$D \approx 16 \frac{E}{U_0} \left(1 - \frac{E}{U_0}\right) e^{-2 \frac{\sqrt{2m(U_0-E)}l}{\hbar}}. \quad (2)$$

Ответы для электрона и протона приводятся соответственно $D_e \approx 0,27$ и D_p порядка 10^{-47} . Наш расчет по формуле (2) дал другие значения – для электрона и протона соответственно $D_e = 0,405$, $D_p = 9,19 \cdot 10^{-43}$.

Заметим, что для электрона коэффициент пропускания не слишком сильно отличается от 1, поэтому следует применять формулу (1). Расчет дает результат $D_e = 0,333$. Результаты, полученные с помощью формул (1) и (2), не сходятся даже в первой значащей цифре. В курсе общей физики не выводится формула (1), поэтому желательно подобрать такие данные, чтобы расхождение по формулам (1) и (2) было мало. Так как, исходя из условия задачи, ответ надо находить с точностью до двух значащих цифр, желательно подобрать такие условия, чтобы с точностью до двух значащих цифр ответы по (1) и (2) для электрона совпадали. Например, при ширине барьера 2,5 Ангстрема получаются результаты для электрона по (1) и (2) соответственно 1,29 % и 1,30 %, т. е. результаты совпадают с точностью до двух значащих цифр – 1,3 %. Для протона получается результат $1,0 \cdot 10^{-106}$.

УДК 537.312:538.245

Т. А. ЯТЧУК, Е. С. ШАМА, И. П. ПРИХАЧ

МУЛЬТИКАЛОРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ

Калорические эффекты в твердых телах проявляются в изменении их температуры в ответ на изменения внутренних или внешних параметров, таких как объем, деформация, намагниченность или поляризация. Наибольший интерес представляют твердотельные магнитокалорическое и электрокалорическое охлаждения ввиду потенциальной возможности их практического использования в охлаждающих устройствах и компонентах защитных устройств с магнитоэлектрической связью. Особым классом веществ, в которых возможно одновременное существование нескольких калорических эффектов, являются мультиферроики. Сосуществование в мультиферроиках различных типов магнитного и зарядового упорядочений и, как следствие, возможность реализации одновременно различных калорических эффектов служат основанием для отнесения подобных мате-

риалов к классу мультикалориков. Целью работы является исследование калорических эффектов в мультиферроиках.

Экспериментально исследованы диэлектрические и магнитные свойства магнетита (Fe_3O_4) и образцов, синтезированных на основе феррита висмута (BiFeO_3), допированного катионами редкоземельных элементов. Результаты анализа полученных данных указывают на наличие выраженной корреляции между значениями магнитных характеристик и кристаллохимическими параметрами образцов. Кривые являются типичными по форме для всех составов, но имеют определенные отличия в зависимости от вида замещающих катионов. Выполнено моделирование температурных зависимостей намагниченностей, и в рамках феноменологической модели рассчитаны температурные зависимости изменения магнитной энтропии, относительной мощности охлаждения и магнитной теплоемкости.

На основании температурной зависимости действительной компоненты комплексной диэлектрической проницаемости рассчитаны температурные зависимости величины адиабатического изменения температуры. Результаты расчетов свидетельствуют о сосуществовании в образцах магнито- и электрокалорического эффектов, что дает основания отнести исследованные образцы к классу мультикалориков. Полученные данные указывают на возможность практического использования калорических эффектов при температурах, больших комнатной.

УДК 517.954

Т. А. ЯЦУК

**ФРЕДГОЛЬМОВОСТЬ ЗАДАЧИ РИМАНА – ГИЛЬБЕРТА
ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ
ПО ДУГЛИСУ - НИРЕНБЕРГУ СИСТЕМ В \mathbf{R}^n ($n \geq 3$)**

Пусть $\Omega \subset \mathbf{R}^n$ ($n \geq 3$) – ограниченная односвязная область, гомеоморфная шару, границей которой $\partial\Omega$ является гладкая $(n-1)$ -мерная поверхность Ляпунова. Задача Римана – Гильберта заключается в отыскании пары функций $u \in C^1(\Omega) \cap C^{0,\alpha}(\overline{\Omega})$ и $v \in C^2(\Omega) \cap C^{0,\alpha}(\overline{\Omega})$, удовлетворяющей в Ω эллиптической по Дуглису – Ниренбергу системе

$$\begin{cases} a_0 u + \sum_{j=1}^n b_j v_{x_j} = 0, \\ \sum_{k=1}^n c_k u_{x_k} + \sum_{k,j=1}^n d_{kj} v_{x_k x_j} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

и граничному условию

$$g_1(y)u(y) + g_2(y)v(y) = f(y), \quad y \in \partial\Omega, \quad (2)$$

где $g_1, g_2, f : \partial\Omega \rightarrow \mathbf{R}$ – заданные непрерывные по Гёльдеру функции, $a_0, b_j, c_j, d_{kj} (k, j = 1, 2, \dots, n)$ – заданные действительные числа.

Теорема 1. Краевая задача (1), (2) регуляризуема тогда и только тогда, когда в каждой точке $y \in \partial\Omega$ и при каждом ненулевом векторе τ , касательном к поверхности $\partial\Omega$, выполняется неравенство

$$-g_1(y)b(\lambda_1\nu + \tau) + a_0g_2(y) \neq 0, \quad (3)$$

где $b(\xi) = \sum_{j=1}^n b_j \xi_j$, λ_1 – корень уравнения $\det A(\lambda\nu + \tau) = 0$, лежащий в верхней λ -полуплоскости, ν – единичный вектор внутренней нормали к $\partial\Omega$ в точке y , $A(\xi)$ – характеристическая матрица системы (1).

Теорема 2. Если $a_0 = 1$, $c(\xi) \equiv 0$, $d(\xi) = \sum_{j=1}^n d_{jj} \xi_j^2$ – положительно определенная квадратичная форма, то задача (1), (2) гомотопна задаче

$$\begin{cases} u + \sum_{j=1}^n b_j v_{x_j} = 0, \\ \Delta v = 0, \end{cases} \quad (x \in \Omega), \quad v|_{\partial\Omega} = f(y). \quad (4)$$

в классе задач, удовлетворяющих условию (3). Индекс регуляризуемой краевой задачи (1), (2) равен нулю.

СОДЕРЖАНИЕ

Бура А. В. Магнитные свойства катионзамещенного $Ni_{0.8}Zn_{0.2}Fe_2O_4$	3
Валентюк Г. В., Грабар Д. В., Свидумович Я. А., Березовская Т. А. Оптическая и рамановская спектроскопия катионзамещенного $BiFeO_3$	4
Волошик И. А. О теоретических исследованиях взаимодействия протона и нейтрона	5
Зарецкий А. В. Термоэлектрические свойства сплава $Bi-Sb$, полученного методом быстрой закалки.....	6
Заруба М. Е. Информационные технологии обучения физике в общеобразовательной школе.....	7
Котович О. А. Методы сверхбыстрой закалки из расплава	8
Кудравец А. В. Варианты укороченного модифицированного метода LQZ для гелия	9
Кудравец А. В. Укороченный модифицированный метод LQZ для оганесона	10
Куликович Н. И. Поправка Мотта для сверхтяжелых элементов.....	11
Кухта И. С. Расчет постоянных в формуле Бете – Вайцеккера с помощью метода наименьших квадратов.....	12
Лазарев С. А. Обзор современных информационных технологий в обучении физике в вузе	13
Малыха А. В. Об одной задаче по теме дисперсии.....	14
Никитин Е. А., Олизарович А. С., Березовская Т. А. Моделирование спектров компонент импеданса катионзамещенного $BiFeO_3$	15
Онищук А. Н. Некоторые задачи по теме термоядерного синтеза.....	16
Пызык А. И. Решение задач на прохождение частиц через потенциальный барьер.....	17
Ятчук Т. А., Шама Е. С., Прихач И. П. Мультикалорические эффекты в мультиферроиках	18
Яцук Т. А. Фредгольмовость задачи Римана – Гильберта для одного класса эллиптических по Дуглису-Ниренбергу систем в R^n ($n \geq 3$).....	19

Научное издание

НИРС-2022
ФИЗИКА: НАУЧНЫЙ И МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

Сборник материалов конференции

Подписано в печать 14.07.2022. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,20.

Тираж 20 экз. Заказ № 217.

Издатель и полиграфическое исполнение
учреждение образования

«Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/55 от 14.10.2013.

Ул. Мицкевича, 28, 224016, Брест.

