

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

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, АСТРОФИЗИКА
И ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД**

Сборник материалов
студенческой научной конференции

Брест, 7 июня 2022 года

Брест
БрГУ имени А. С. Пушкина
2022

УДК 004+37+372+517+519+530+535+537+538+539

ББК 22.2+22.6+74.58

Т 33

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**

Т 33 **Теоретическая** физика, астрофизика и физика конденсированных сред : сб. материалов студен. науч. конф., Брест, 7 июня 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. В. Демидчика. – Брест : БрГУ, 2022. – 31 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 004+37+372+517+519+530+535+537+538+539

ББК 22.2+22.6+74.58

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

УДК 539.171.016

А. В. АРХУТИК

ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ БОРНОВСКИХ ПРИБЛИЖЕНИЙ МОТТОВСКОГО СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ

Для $Z = 1-30$ проведено вычисление относительной погрешности трех борновских приближений для углов рассеяния от 5° до 180° и энергии от 5 кэВ до 10 МэВ. Относительная погрешность достигает по модулю 5 % для первого борновского приближения при $Z = 5$, для второго – при $Z = 18$. До энергии 25 кэВ точность нерелятивистского приближения выше точности первого и второго борновских приближений.

Для $Z = 1-90$ вычислены усредненные по углам и скоростям значения погрешности $\langle ER \rangle$. $\langle ER \rangle$ достигает 5 % для $Z = 11$, $Z = 26$ и $Z = 42$ для первого, второго и третьего борновских приближений соответственно.

Для некоторых элементов построены графики зависимости усредненной по углам погрешности ER от скорости. Погрешность первого борновского приближения растет с ростом скорости, погрешность второго борновского приближения слабо зависит от скорости, а погрешность третьего борновского приближения с ростом скорости уменьшается.

Показано, что при использовании коэффициентов из работы Lijian et al. для $Z \leq 3$ погрешность третьего борновского приближения ниже погрешности LQZ.

Проанализирована точность борновских приближений для расчета поправки Мотта. Погрешность растет с ростом Z . С ростом скорости относительная погрешность снижается. Относительная погрешность второго борновского приближения в вычислении поправки Мотта выше, чем при вычислении НМС. Точность поправки Мотта в третьем борновском приближении остается высокой при высокой энергии. Для $Z = 90$ относительная погрешность поправки Мотта менее 6 % при $\beta \geq 0,959$.

Для железа, серебра и свинца вычислено сечение первичного смещения атома. Для железа погрешность менее 5 % при энергии выше 1,93 МэВ и выше 0,380 МэВ для второго и третьего борновских приближений соответственно. Для серебра – при энергиях выше 3,72 и 1,41 МэВ. Проанализированы причины того, что в некоторых случаях погрешность третьего борновского приближения выше, чем второго.

Получено асимптотическое выражение для сечения смещения атома при высоких энергиях. Даже при превышении пороговой энергии в 100 раз погрешность упрощенной формулы превышает 4 %.

УДК 538.9

И. В. БОЛТРУШКО

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
«ФИЗИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ»**

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Физика электрических приборов» адресуется студентам II ступени получения высшего образования специальности 1-31 80 05 «Физика». Необходимость в его проектировании возникла при открытии в учреждении образования «БрГУ имени А. С. Пушкина» модуля 2.1 «Физические принципы и объекты физики конденсированного состояния».

ЭУМК разработан с использованием системы TEX и микропакета LATEX. Разработка велась в программе Textmaker с указанным выше микропакетом LATEX, а также необходимыми для работы текстовыми редакторами. Для разработки тестовых заданий использовался редактор тестов Айрен.

TEX – издательская система, предназначенная для набора научно-технических текстов высокого полиграфического качества, именно поэтому эта система и была выбрана.

Проектирование ЭУМК происходило в несколько этапов:

- Поиск необходимой учебной литературы.
- Систематизация и актуализация полученной информации.
- Подготовка информации с помощью текстовых редакторов.
- Разработка ЭУМК в программе Textmaker.
- Разработка тестовых заданий с помощью редактора Айрен.

ЭУМК спроектирован согласно утвержденной структуре и соответствующему содержанию учебного материала, разделенному на шесть глав:

- Глава 1. Общие сведения о твердых телах.
- Глава 2. Описание движения электронов в твердых телах.
- Глава 3. Статистика.
- Глава 4. Электропроводность полупроводников.
- Глава 5. Полупроводниковая техника.
- Глава 6. Элементы физики конденсированного состояния.

Цель данного ЭУМК – систематизировать знания о строении твердого тела, основных процессах, происходящих в нем, а также ознакомить студентов с современными знаниями и достижениями в физике конденсированного состояния.

УДК 537.312:538.245

А. В. БУРА, Т. А. БЕРЕЗОВСКАЯ

ВЛИЯНИЕ КАТИОННОГО ЗАМЕЩЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ-ШПИНЕЛЕЙ

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. Одним из методов, лежащих в основе синтеза новых материалов со структурой шпинели с заданными физическими свойствами, является частичное замещение катионов железа изовалентными катионами редкоземельных элементов. Целью работы является выявление условий формирования фазового состава и механизмов реализации магнитных взаимодействий в образцах катион-замещенных никель-цинковых ферритов-шпинелей на основании результатов рентгеновской дифрактометрии и сквид-магнетометрии.

Образцы синтезированы традиционным методом твердофазных реакций. 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 $Fe^{3+}(R^{3+})-O^{2-}$ и валентных углов $Fe^{3+}-O^{2-}-R^{3+}$, что ослабляет обменное магнитное взаимодействие. Замещение приводит к конкуренции магнитных взаимодействий и возникновению сверхобменных взаимодействий.

Петли магнитного гистерезиса демонстрируют в основном ферромагнитное поведение, характерное соединениям со структурой шпинели. Вместе с тем наблюдается снижение по отношению к чистой шпинели величины удельной намагниченности из-за присутствия малого количества фазы ортоферрита. Последняя представлена антиферромагнитным порядком G-типа, что приводит к снижению величины удельной намагниченности. Конкуренция между различными магнитными фазами приводит к систематическому изменению магнитных параметров. Намагниченность насыщения и остаточная намагниченность убывают по абсолютной величине, а коэрцитивная сила возрастает с увеличением радиуса R-катиона.

УДК 537.312:538.245

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

ВЛИЯНИЕ КАТИОННОГО ЗАМЕЩЕНИЯ НА РАМАНОВСКИЕ СПЕКТРЫ ФЕРРИТА ВИСМУТА

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. Несмотря на то что BiFeO_3 широко изучали с помощью рамановской спектроскопии, в литературе имеются расхождения в результатах.

Целью работы является выявление условий формирования фазового состава и динамики кристаллической решетки в образцах катионзамещенного феррита висмута на основании результатов рентгеновской дифрактометрии и рамановской спектроскопии.

Методами рамановской спектроскопии экспериментально исследованы объемные и тонкопленочные образцы катионзамещенного феррита висмута. Данные режимы комбинационного рассеяния были подогнаны с использованием функций Лоренца и Гаусса и разложены на отдельные пики. Выполнено соотнесение результатов разложения и абсолютных величин резонансов с колебаниями ионов кристаллической решетки и данными теоретико-группового анализа. Исследованы закономерности смещения положений характеристических мод в зависимости от типа R-катиона. Замещение ионов редкоземельных металлов в A-положениях вызывает химическое давление, которое влияет на валентный угол $\text{Fe} - \text{O} - \text{Fe}$ 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 при синтезе новых материалов с заданными физическими свойствами.

УДК 539.171

И. А. ВОЛОШИК

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНА И НЕЙТРОНА В СВОБОДНОМ И СВЯЗАННОМ СОСТОЯНИЯХ

Взаимодействие нейтрона и протона возможно как в свободном (рассеяние), так и в связанном (дейтрон) состоянии. Несмотря на существенное различие между свойствами указанных двух систем, можно отметить довольно глубокие аналогии между величинами, их описывающими, а также методами их описания.

Первый уровень сравнительного анализа представляет собой сравнение элементарной теории дейтрона и теории рассеяния медленных нейтронов на протонах. В обеих теориях учитывается только нулевой орбитальный момент относительного движения протона и нейтрона. При этом синглетное состояние соответствует суммарному спину пары нуклонов, равному нулю, а триплетное – суммарному спину, равному единице. Различие между ядерными силами в указанных состояниях в теории рассеяния описывается различными длинами рассеяния и эффективными радиусами, а в элементарной теории дейтрона – энергией связи дейтрона со спином 1, а также виртуальным уровнем энергии дейтрона в синглетном состоянии, которое не является связанным; кроме того, параметры, описывающие потенциал взаимодействия (глубина и линейные размеры), также различаются в указанных состояниях.

На следующем уровне сравнительного анализа рассматриваются теории дейтрона и теории рассеяния, в которых дополнительно учитываются состояния с отличным от нуля орбитальным моментом. При этом в литературе под синглетным и триплетным состояниями уже могут пониматься состояния с полным моментом, равным соответственно нулю или единице, что не тождественно таким же спиновым состояниям. И если в случае рассеяния нуклонов допустимые сочетания спина, изоспина и орбитального момента определяются обобщенным принципом Паули, то в случае дейтрона, помимо этого, еще и другими экспериментально наблюдаемыми характеристиками, в результате чего для дейтрона допустимой является только примесь состояния с орбитальным моментом, равным двум, к состоянию с нулевым орбитальным моментом.

Дальнейшие усложнения и обобщения теорий связаны с неупругими процессами (с рождением мезонов и нуклон-антинуклонных пар) при рассеянии и с учетом виртуальных мезонов и нуклон-антинуклонных пар в диаграммной технике, описывающей взаимодействие в дейтроне.

УДК 539.171

И. А. ВОЛОШИК

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНА И ПРОТОНА ПРИ НИЗКИХ И ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Изучение взаимодействия нейтрона с протоном осуществляется путем исследования характеристик дейтрона и путем рассеяния нейтронов различных энергий на протонах. Во втором случае есть возможность сравнить особенности взаимодействия нейтрона и протона при низких и высоких энергиях. Перечислим некоторые из них.

1. Если при низких энергиях (до нескольких МэВ) учитывается только нулевой орбитальный момент относительного движения, то при высоких энергиях учитываются и другие значения орбитального момента относительного движения, хотя при энергиях $E < 100$ МэВ преобладает взаимодействие с нулевым орбитальным моментом. 2. При тепловых энергиях сечение рассеяния стремится к конечному пределу, а с ростом энергии оно убывает пропорционально энергии. 3. Если при низких энергиях исследование зависимости произведения квадрата волнового вектора относительного движения нуклонов на сечение рассеяния неактуально, поскольку эта величина стремится к нулю (вследствие стремления к нулю волнового вектора при одновременном стремлении сечения к постоянной величине), то для $E > 10$ МэВ исследования показывают, что указанная величина минимальна при $E \approx 100$ МэВ, и это позволяет сделать выводы о наличии сил отталкивания между нуклонами при малых расстояниях. 4. Если при низких энергиях дифференциальное сечение рассеяния (вследствие пункта 1) постоянно, то при $E \sim 10^2\text{--}10^3$ МэВ оно характеризуется минимумом при углах $\theta_m = 60\text{--}110^\circ$, причем с ростом энергии а) величина минимального дифференциального сечения уменьшается, б) соответствующее значение θ_m сначала уменьшается, а затем возрастает, в) при малых углах рассеяния дифференциальное сечение с ростом энергии сначала уменьшается, а затем возрастает. 5. Если при низких энергиях хорошо известной является задача о перевороте спинов нейтрона и протона при рассеянии (причем рассеяние изотропно, но сечение может зависеть от E), то при $E \sim 10^2\text{--}10^3$ МэВ наблюдается зависимость поляризации от углов, причем кривая, описывающая эту зависимость, характеризуется максимумом p_{max} при углах $60\text{--}80^\circ$ и минимумом p_{min} при углах $100\text{--}150^\circ$ (с ростом E значения углов и p_{min} уменьшаются, а значение p_{max} сначала растет, затем уменьшается).

УДК 539.171

И. А. ВОЛОШИК

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ТЕОРИЙ ДЕЙТРОНА

Дейтрон – простейшая связанная система двух нуклонов, изучаемая теоретически и экспериментально на протяжении нескольких последних десятилетий. Несмотря на то что основные характеристики ядерных сил считаются хорошо известными, детализация соответствующих сведений продолжается, о чем свидетельствуют публикации по теме дейтрона, появляющиеся в престижных научных изданиях в настоящее время.

Известные на сегодняшний день теории дейтрона можно разделить на элементарную (исторически наиболее раннюю) и учитывающую нецентральную составляющую ядерных сил. Элементарная теория объясняет лишь известное из эксперимента значение энергии связи дейтрона и малый радиус действия ядерных сил; при этом она может качественно объяснить малость величины квадрупольного момента дейтрона (но не может объяснить его отличие от нуля) и приближенное равенство магнитного момента дейтрона векторной сумме магнитных моментов нейтрона и протона (но не может объяснить отклонение от точного равенства). Более совершенная теория, объясняя все перечисленные выше величины, является математически более сложной, так как учитывает вклад состояния, в котором орбитальный момент относительного движения нуклонов равен двум.

В элементарной теории требуется решать уравнение Шредингера для сферически симметричного потенциала. В простейшем варианте этой теории потенциал выбирается прямоугольным в ограниченной области пространства. Точные решения уравнения Шредингера для внутренней и внешней областей сшиваются на границе ямы. Точные решения известны также, например, для экспоненциального потенциала и потенциала Хюльтена. Они выражаются через специальные функции (Бесселя и Неймана в первом случае и гипергеометрическую – во втором), т. е. более сложные математически, но не требующие сшиваний, так как потенциал определен одной формулой во всем пространстве.

В более совершенной теории, учитывающей центральные и тензорные силы, а также силы, зависящие от спинов, уравнение Шредингера уже не является отдельным уравнением, а сводится к системе дифференциальных уравнений второго порядка, не имеющих точного решения. Примерами волновых функций в одном из вариантов такой теории являются функции со структурой типа Рариты и Швингера.

УДК 539.171

И. А. ВОЛОШИК

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ЯДЕРНЫХ СИЛ

В исходном приближении ядерным силам (ЯС) можно приписать следующие свойства. 1. ЯС не зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов. 2. ЯС центральные. 3. ЯС не обменные. 4. ЯС только притягивающие. 5. Взаимодействие за счет ЯС не приводит к рождению новых частиц. Проследим за последовательным отказом от этих пунктов.

1.1. По известному значению энергии связи дейтрона с использованием какого-нибудь модельного потенциала (например, прямоугольного) ищется волновая функция дейтрона во внутренней и внешней областях, после чего делается предположение о том, что в случае рассеяния медленного нейтрона на протоне волновая функция системы мало отличается от волновой функции. 1.2. Это позволяет оценить сечение рассеяния. 1.3. *Оказывается, что значение сечения на порядок меньше экспериментального, поэтому ЯС должны зависеть от спинов.*

2.1. Введение псевдопотенциала Ферми (с синглетными и триплетными длинами рассеяния) решает указанную в п. 1.3 проблему, в рамках теории эффективного радиуса объясняется зависимость сечения рассеяния от энергии. 2.2. В предположении центрального характера ЯС получается, что квадрупольный момент дейтрона должен быть в точности равен нулю, а магнитный момент дейтрона – векторной сумме магнитных моментов протона и нейтрона. 2.3. *Опыт показывает, что это не вполне так.*

3.1. Учет нецентральной части ЯС решает указанную в п. 2.3 проблему через введение примеси d-волны в основном состоянии дейтрона. 3.2. С ростом энергии до десятков МэВ при справедливости остальных предположений в системе центра инерции нейтроны рассеивались бы на малые углы, а протоны отдачи двигались бы в противоположном направлении (в лабораторной системе – почти под прямым углом к исходному пучку нейтронов). 3.3. *Это противоречит опыту.*

4.1. Учет обменных ЯС (пример – потенциал Сербера) решает указанную в п. 3.3 проблему. 4.2. При справедливости остальных предположений далее с ростом энергии фазы рассеяния не должны менять знак. 4.3. *Это противоречит опыту при энергии порядка 200 МэВ.*

5.1. Учет кора в потенциале решает указанную в п. 4.3 проблему. 5.2. При справедливости последнего предположения фазы рассеяния должны быть вещественными, структура сечения рассеяния не должна меняться. 5.3. *Но при энергии порядка 500 МэВ начинают рождаться пионы.*

УДК 530.10

А. В. ЗАРЕЦКИЙ

СВОЙСТВА СПЛАВА Bi-Sb, ЛЕГИРОВАННОГО ЭЛЕМЕНТАМИ II, III, IV И VI ГРУППЫ

Сплав $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ является перспективным материалом для разработки низкотемпературных ($T < 160 \text{ K}$) термоэлектрических устройств. Легирование сплава элементами II, III, IV и VI групп позволяет целенаправленно модифицировать его электрофизические свойства. Известно, что индий, галлий и германий в сплаве $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ являются акцепторами, сера – донором.

Легирование сплава $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ уменьшает размеры зерен, что связано с увеличением количества центров зарождения твердой фазы при кристаллизации сплава. При сверхбыстрой закалке из жидкой фазы в сплаве $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ образуется четко выраженная текстура. Формирование данной текстуры обусловлено ориентацией ковалентных связей в висмуте и сурьме относительно плоскостей. Наблюдается снижение удельного электросопротивления быстрозатвердевших фольг сплавов $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$, $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,8}$ ат.% Al и $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,8}$ ат.% Zn с ростом температуры. Для фольг сплава $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,25}$ ат.% Sn зависимость $\rho(T)$ имеет максимум при $T = 200 \text{ K}$. Возрастание проводимости с повышением температуры связано с увеличением концентрации носителей заряда. Значительная величина удельного электросопротивления фольг сплава $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,8}$ ат.% Al в области низких температур связана с малыми размерами зерен, что обуславливает значительное рассеяние носителей заряда на границах зерен. Коэффициент Холла и дифференциальная термоЭДС быстрозатвердевших фольг сплава $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,8}$ ат.% Al отрицательны во всем исследуемом интервале температур, однако наличие минимумов на зависимостях $\alpha(T)$ и $R(T)$ означает, что алюминий в сплаве $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ также является акцептором. Зависимости $\rho(T)$, $R(T)$ и $\alpha(T)$ для быстрозатвердевших фольг сплава $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,8}$ ат.% Zn очень близки к аналогичным зависимостям для фольг нелегированного сплава $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$. Данное явление означает электрическую нейтральность цинка в сплаве $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$.

Таким образом, быстрозатвердевшие фольги сплавов $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$, $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,25}$ ат.% Sn, $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,8}$ ат.% Al и $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15-0,8}$ ат.% Zn имеют микрокристаллическую структуру и четко выраженную текстуру. Олово и алюминий являются акцепторами, цинк – электрически нейтральным элементом в сплаве $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$, коэффициент отдачи олова $\eta = -0,2$.

УДК 372.016:53

А. В. ЗАРЕЦКИЙ

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ КАК СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ УЧАЩИХСЯ

Решение задач выступает как цель и как метод обучения. Физической задачей в учебной практике называют небольшую проблему, которая в общем случае решается с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе законов, методов и правил физики. Физические задачи позволяют выдвинуть проблемы и создать проблемную ситуацию; сообщить новые сведения; формировать практические умения и навыки; проверить глубину и прочность знаний; закрепить, обобщить и повторить материал; развить творческие способности учащихся и пр.

Решение задач предоставляет возможность удобно и эффективно проверить и систематизировать знания, умения и навыки школьников, позволяет в наиболее рациональной форме проводить повторение ранее изученного материала, расширить и углубить знания, осуществить связь физики с другими учебными предметами.

Для углубления и упрочнения уже имеющихся понятий, выработки умений и навыков планируются и проводятся уроки решения задач. Особенно много уроков при изучении статики, кинематики, динамики, молекулярно-кинетической теории, термодинамики, электричества и магнетизма, колебательных и волновых явлений, оптики. Учителями производится постепенное нарастание трудностей и привитие учащимся способностей математического расчета.

В педагогической практике сложились три преобладающие организационные формы решения задач: 1) запись и анализ учителем базовой или более сложной задачи на доске, тем самым призыв учащихся к совместной работе; 2) самостоятельный анализ и обсуждение задачи под руководством учителя; 3) учитель выдает задания, а учащиеся самостоятельно их выполняют, при этом педагог учитывает успехи каждого, консультирует учащихся.

Для проверки уровня усвоения материала, наработанности навыков в применении знаний проводятся контрольные работы, являющиеся специфическим, индикаторным видом самостоятельных работ учащихся.

Решением задач занимаются и во внеурочной работе с одаренными и интересующимися физикой учениками. Одни из видов внеурочной работы по физике – подготовка, проведение и участие в олимпиадах по физике, решение задач высокой сложности на факультативных занятиях.

УДК 530.10

О. А. КОТОВИЧ**СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ФОЛЬГИ Bi-Sb, ЛЕГИРОВАННОЙ ГЕРМАНИЕМ И СЕРОЙ**

Сплавы висмут – сурьма, содержащие 4–20 ат.% Sb, являются узкозонными полупроводниками в области низких температур и используются в качестве термоэлектрических материалов. Олово и теллур ведут себя в данных сплавах как акцептор и донор соответственно. Влияние других легирующих элементов, например Ge и S, принадлежащих IV и VI группам, на структуру и электрические свойства сплавов Bi-Sb изучить сложнее в связи с малой равновесной растворимости Ge и S.

Коэффициент Холла R и дифференциальная термоЭДС α были измерены в интервале 77–300 К. Фольги сплава Bi-15 ат.% Sb имеют мелкозернистую структуру. Средний размер зерен составляет $d = (4,8 \pm 0,6)$ мкм. Легирование сплава Bi-15 ат.% Sb германием практически не изменяет средний размер зерна, а легирование серой приводит к его уменьшению почти в два раза. Фольги сплавов Bi-15 ат.% Sb-Ge и Bi-15 ат.% Sb-S характеризуются четко выраженной текстурой. Образование текстур в полуметаллах и их сплавах обусловлено их кристаллической структурой и ориентацией ковалентных связей, имеющих определяющее влияние на рост кристаллитов. Наблюдается монотонное увеличение удельного электросопротивления, абсолютного значения дифференциальной термоЭДС с повышением температуры и постоянство величины коэффициента Холла фольги сплава Bi-15 ат.% Sb-0,8 ат.% S в интервале 77–300 К. Кроме того, коэффициент Холла и дифференциальная термоЭДС в указанном интервале температур отрицательны. Наблюдаемые факты указывают на то, что кинетические свойства данного сплава определяются электронами. Это возможно при условии, что сера является донором в сплаве Bi-15 ат.% Sb. Величина коэффициента отдачи для серы в сплаве Bi-15 ат.% Sb равна $\eta = 0,04$. Положительный знак R и α фольг сплава Bi-15 ат.% Sb-0,8 ат.% Ge в низкотемпературной области обусловлен дырками. Последнее возможно, если Ge в сплаве Bi-15 ат.% Sb является акцептором. Коэффициент отдачи для германия в сплаве Bi-15 ат.% Sb равен $\eta = -0,05$ в низкотемпературной области. Также $R < 0$ и $\alpha < 0$ в области комнатных температур.

Исходя из вышеизложенных результатов, можно сделать вывод, что такое поведение кинетических свойств вызвано появлением в зоне проводимости из-за теплового возбуждения электронов, подвижность которых значительно выше подвижности дырок.

УДК 372.016:53

О. А. КОТОВИЧ

**ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ
ЗАДАЧ ПРИ УГЛУБЛЕННОМ ИЗУЧЕНИИ УЧАЩИМИСЯ
ФИЗИКИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

С повышением роли информации в жизни система общего среднего образования претерпела глубокие изменения. На текущем этапе развития общества хорошее образование заключается не только в том, чтобы выпускник хорошо усвоил систему понятий и умозаключений, но и чтобы он овладел методологией научного поиска, стал способным к творческой деятельности и ответственности за свою работу. Исследуя качество знаний и умений учащихся средних школ, приходим к выводу, что большинство учащихся усваивает программу по физике лишь на репродуктивном уровне. Результаты исследования указывают на проблему слабого понимания сущности изучаемых понятий и вместе с этим на неумение применить общие правила и принципы в конкретных ситуациях.

Основные недостатки современного образования – недостаток времени и перегруженность содержания школьного курса физики. По всей видимости, расширение информационного пространства ведет к поверхностному изучению материала, что приводит к низкому качеству знаний. Это происходит потому, что в большинстве современных учебников физики до сих пор преобладает информационно-объяснительный подход. Таким образом, в дополнение к нему необходимо использовать информационно насыщенный подход к изучению физики, чтобы увеличить реализацию потенциала физики как учебного предмета.

Для решения данной проблемы необходимо применение приемов учебной деятельности, усиливающих познавательную активность и способствующих развитию школьников при высоком уровне усвоения школьного курса физики. Одним из таких приемов является систематическое использование на различных этапах обучения качественных учебных задач. Ведь решение таких задач требует анализа физической сущности явления, построения гипотез и их обоснования, а следовательно, способствует развитию логического и образного мышления. Овладение методами решения качественных задач позволит учащимся творчески применять их при решении самых разнообразных задач и самостоятельно расширить сферу собственных знаний. Именно этот фактор способствует развитию интеллектуальной инициативы и творческой активности учащихся.

УДК 004.432, 519.726

А. В. КОХОВЕЦ

АЛГОРИТМЫ ШЕННОНА – ФАНО И ХАФФМАНА

Некоторые алгоритмы используют избыточность сообщения, заключенную в неоднородном распределении частот символов его алфавита, т. е. часто встречающийся символ кодируется кодом меньшей длины, а редко встречающийся – кодом большей длины. Самый известный такой код – азбука Морзе. Недостатком кода является то, что необходимо передавать разделительные символы, обозначающие окончания кодовых комбинаций отдельных символов. Такого недостатка лишены префиксные коды. Примерами таких кодов являются коды Шеннона – Фано и Хаффмана.

Алгоритмы Шеннона – Фано и Хаффмана изучаются в курсе физической электроники студентами специальности «Физика и информатика». Одна из лабораторных работ состоит в кодировании и декодировании с помощью кодов Шеннона – Фано и Хаффмана. Для упрощения работы преподавателя реализована программа для шифрования и дешифрования текста. Ниже приведены примеры работы программы:

```

Выберите метод:
1. Кодирование Хаффмана 2. Кодирование Шеннона – Фано 3. Декодирование 0. Выход
2
Введите строку для кодирования:
hello
-----
ShannonoFano
Абсолютная частотность: {'h': 1, 'e': 1, 'l': 2, 'o': 1}
Шифр: {'h': '01', 'e': '10', 'l': '00', 'o': '11'}
Результат: 011000011
-----

Введите строку для декодирования:
10101011010010100100001110100000101101100100111101010010101100011001010100010000001100001100001001010010110001
-----
Результат декодирования: висенте-алейсандре-и-мерло
-----

```

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритм Шеннона – Фано [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Шеннона_–_Фано. – Дата доступа: 05.06.2022.

2. Алгоритм Хаффмана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/@AndriiHeonia/алгоритм-хаффмана-42c51813daba>. – Дата доступа: 05.06.2022.

УДК 539.171.016

А. В. КУДРАВЕЦ**УКОРОЧЕННЫЙ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД LQZ
ДЛЯ ОГАНЕСОНА С 18 И 15 КОЭФФИЦИЕНТАМИ**

Хотя усредненная по углам относительная ошибка ER метода $LQZ_{S(4)}$ для оганесона менее 1 %, но погрешности в расчете дифференциального сечения рассеяния могут быть больше. Для $\beta = 0,9$ относительная погрешность превосходит 1 % при углах рассеяния более 120° . В данной работе рассчитаны коэффициенты укороченного модифицированного метода с 18 и 15 коэффициентами. Коэффициенты приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – $Z = -118$. $L = 6$

j/k	1	2	3	4	5	6
1	-0.253421	-0.754696	-0.583482	-0.208678	-0.582848	-0.519441
2	-0.005910	-0.134233	-0.288824	0.586094	2.397098	2.039883
3	0.0141399	0.0585577	-0.107846	-1.0040075	-1.999131	-1.334366

Таблица 2 – $Z = -118$. $L = 5$

j/k	1	2	3	4	5
1	-0.252882	-0.752913	-0.620339	-0.273956	-0.290664
2	-0.0080256	-0.141235	-0.144085	0.842447	1.249670
3	0.0155235	0.0631375	-0.202525	-1.171698	-1.248554

Средняя по скоростям ошибка $\langle ER \rangle$ приводится в таблице 3.

Таблица 3 – Усредненная по скоростям относительная ошибка для $Z = 118$

	LQZ	LQZ _S	LQZ _{S(5)}	LQZ _{S(4)}
$\langle ER \rangle, \%$	$2.18 \cdot 10^{-2}$	$2.22 \cdot 10^{-2}$	$2.82 \cdot 10^{-2}$	$3.04 \cdot 10^{-1}$

Для 18 и 15 коэффициентов погрешность близка к ошибке, даваемой обычным методом, и резко возрастает для 12 коэффициентов.

Относительная погрешность $LQZ_{S(4)}$ для рассеяния назад превышает 100 %. Для $LQZ_{S(5)}$ и $LQZ_{S(6)}$ относительная погрешность превышает по модулю 1 % при углах рассеяния больше 165° и для рассеяния назад достигает значения 4,7 % и 2,7 % соответственно. Для углов менее 165° и скоростей (0,1–0,999) c можно использовать $LQZ_{S(5)}$ для расчета моттовского дифференциального сечения рассеяния с погрешностью менее 1 %.

УДК 539.18

И. С. КУХТА

РАСЧЕТ ПОСТОЯННЫХ ДЛЯ РАЗНЫХ ВАРИАНТОВ ФОРМУЛЫ БЕТЕ – ВАЙЦЕККЕРА

В данной работе с помощью метода наименьших квадратов вычислены постоянные для вариантов формулы Бете – Вайцеккера, приведенных под номерами (6)–(8) в [1]. Приведем здесь эти формулы с той ж нумерацией:

$$E_{bBW} = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{sym} \frac{(A-2Z)^2}{A} + a_p \delta \cdot A^{-1/2}, \quad (6)$$

$$E_{bBW} = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{sym} \frac{(A-2Z)^2}{A} + a_p \delta \cdot A^{-3/4}, \quad (7)$$

$$E_{bBW} = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{sym} \frac{(A-2Z)^2}{A} + a_p \delta \cdot A^{-3/4}. \quad (8)$$

Вычисления проводились на основе 100 и 250 изотопов. Значения поправок приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Значения коэффициентов в формуле Вайцеккера на основе 100 изотопов

Формула	a_V , МэВ	a_S , МэВ	a_C , МэВ	a_{sym} , МэВ	a_p , МэВ
6	15,55397	17,50815	0,698666	22,6159	10,52614
7	15,54407	17,16294	0,697478	22,80673	28,18459
8	15,55043	17,50064	0,698183	22,6032	27,24857

Таблица 2 – Значения коэффициентов в формуле Вайцеккера на основе 250 изотопов

Формула	a_V , МэВ	a_S , МэВ	a_C , МэВ	a_{sym} , МэВ	a_p , МэВ
6	15,85970	18,33804	0,722744	23,59624	10,58154
7	15,82051	17,89219	0,719738	23,73161	26,36254
8	15,86885	18,36325	0,723338	23,62213	26,28551

В таблице 3 приведены средние значения относительной погрешности энергии связи для 250 изотопов. 79 изотопов для вычисления постоянных использовалось в [1].

Видно, что использование большего числа изотопов для расчета постоянных приводит к более высокой точности предсказаний формулы Бете – Вайцеккера. Причем для формул (7) и (8) средняя погрешность для 250 изотопов, вычисленная при использовании постоянных, полученных на основе 100 изотопов, оказалась ниже.

Таблица 3 – Среднее значение относительной погрешности $\langle \delta E_b \rangle$, % для 250 изотопов

Число изотопов при вычислении поправок	79	100	250
Формула (6)	0,458	0,272	0,271
Формула (7)	0,458	0,276	0,279
Формула (8)	0,463	0,273	0,274

Проверим точность предсказаний для 79 изотопов, рассмотренных в [1]. Погрешность приведена в таблице 4. Здесь также приведены результаты для формулы (5) [1].

Таблица 4 – Среднее значение относительной погрешности $\langle \delta E_b \rangle$, % для 79 изотопов

Число изотопов при вычислении поправок	79	100	250
Формула (5)	0,362	0,378	0,370
Формула (6)	0,357	0,362	0,350
Формула (7)	0,357	0,380	0,371
Формула (8)	0,350	0,363	0,351

В большинстве случаев большую точность для 79 изотопов обеспечивают значения постоянных, вычисленных на основе этих же изотопов. Однако в случае формулы (6) выше оказалась точность при использовании значения постоянных, вычисленных на основе 250 изотопов. Также наибольшую точность эти значения дают и для 250 изотопов. Таким образом, при используемом критерии оптимальности наилучшие результаты обеспечивает использование формулы (6) со значениями поправок, найденных для 250 изотопов. Отметим, что в [1] самые точные результаты также получились для формулы (6), для другого метода нахождения значений поправок.

Представляет интерес исследование точности предсказаний формул со значениями постоянных, вычисляемых другими способами из [1], а также расчет значений постоянных для большего числа изотопов.

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 539.171

А. В. ЛАВРЕНТИКОВ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ПРОТОНОВ ПРИ НИЗКИХ И ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Изучение взаимодействия протона с протоном осуществляется в основном через эксперименты по рассеянию протонов на протонах при различных энергиях. При этом есть возможность сравнить особенности взаимодействия в различных диапазонах энергии. Перечислим некоторые из них.

1. При энергиях $E < 1$ МэВ ядерное взаимодействие полностью экранируется кулоновским отталкиванием, поэтому учитывается только кулоновское взаимодействие и взаимодействие магнитных моментов как поправка. При E от нескольких МэВ появляется поправка к фазам рассеяния, обусловленная ядерным взаимодействием.

2. При более высоких энергиях, но с соблюдением условия, что орбитальный момент относительного движения протонов все еще равен нулю, ядерное взаимодействие между ними проявляется только в синглетном состоянии (вследствие малости радиуса действия ядерных сил и принципа Паули для триплетного состояния). С дальнейшим повышением E ядерное взаимодействие проявляется и в триплетном состоянии (с суммарным спином, равным единице).

3. При $E < 500$ МэВ рассеяния упругое, при $E > 500$ МэВ – неупругое (начинают рождаться пионы, а затем и более тяжелые частицы).

4. Пусть угол рассеяния равен 90° . Если при низких энергиях произведение квадрата волнового вектора относительного движения протонов на сечение рассеяния растет от нуля, то для $E > 20$ МэВ оно начинает убывать и достигает минимума при $E \approx 70$ МэВ, после чего вновь возрастает, и это позволяет сделать вывод о наличии ядерных сил отталкивания между нуклонами при малых расстояниях, т. е. если кулоновские силы между протонами всегда отталкивающие, то ядерные могут быть как отталкивающими, так и притягивающими.

5. При $E \sim 40\text{--}100$ МэВ дифференциальное сечение характеризуется минимумом при углах $\theta_m \sim 15\text{--}20^\circ$, причем с ростом энергии величина минимального дифференциального сечения уменьшается.

6. При $E \sim 10^2\text{--}10^3$ МэВ кривая, описывающая зависимость поляризации от углов, характеризуется максимумом p_{max} при углах $30\text{--}50^\circ$, с ростом E значение p_{max} растет.

УДК 535+539

С. В. МАЗУРКЕВИЧ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЭФФЕКТА БАРЫШЕВСКОГО – ЛЮБОШИЦА НА НУКЛОНАХ

Эффект Барышевского – Любошица, относящийся к оптической активности вещества, представляет вращение плоскости линейной поляризации фотона при прохождении через вещество с поляризованными по спину частицами и обусловлен различием между амплитудами комптоновского рассеяния вперед фотона на фермионе (лептоне или адроне) в случае сонаправленных и противоположно направленных спинов фотона и фермиона.

Эффект был теоретически предсказан в 1965 г. для электронов, экспериментально обнаружен около 50 лет назад. Эффект, относящийся к поляризованным по спину электронам, можно условно назвать классическим. Спиновая поляризация электронов может быть обусловлена как внешним магнитным полем (достаточно интенсивным), так и ферромагнитными свойствами вещества.

На протяжении последних десятилетий учеными ряда стран мира ведутся теоретические исследования проблемы спонтанной спиновой поляризации нуклонов (протонов и нейтронов), которая должна быть обусловлена спиновой зависимостью ядерных. Этот феномен можно назвать ядерным ферромагнетизмом. Соответственно, для среды с поляризованными по спину нуклонами предсказывается ядерный аналог эффекта Барышевского – Любошица (пока еще не обнаруженный экспериментально).

Общая структура выражения для угла поворота плоскости поляризации фотона на единицу пройденного пути имеет одинаковый вид как для электронов, так и для нуклонов, поскольку содержит слагаемое, зависящее от аномального магнитного момента частиц среды, а также слагаемое, зависящее от интеграла, содержащего разность сечений комптоновского рассеяния вперед в случае параллельных и антипараллельных спинов фотона и частиц среды. При этом конкретный вид указанных слагаемых

различается в случае электронов и нуклонов. Для нуклонов оба слагаемых с математической точки зрения оказываются более сложными по сравнению с аналогичными слагаемыми для электронов. Выражение для слагаемого, зависящего от аномального магнитного момента нуклона, выводится в рамках квантовой электродинамики адронов.

УДК 539.18

А. В. МАЛЫХА

ЗАДАЧИ ПО ОПТИКЕ НА ОСНОВЕ РЕАЛЬНЫХ ПРИМЕРОВ ИЗ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Для повышения заинтересованности студентов в изучении общей физики можно предлагать задачи, составленные на основе реальных физических экспериментов. При этом в Интернете не получится найти готового решения таких задач, и студенту все же придется приложить некоторые усилия для решения задачи. Ниже приведено несколько примеров.

1. *Длина когерентности оранжевой линии излучения криптоновой лампы, используемой до 1983 г. для эталона метра, 0,80 м. Оцените ширину линии.*

$$\text{Длина когерентности: } l_{\text{ког}} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}.$$

За эталон метра до 1983 г. принимали величину, равную $1650763,73 \lambda_{\text{Kr}}^{86}$. Тогда длина волны равна $6,0578 \cdot 10^{-7}$ м. Отсюда ширина линии:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{l_{\text{ког}}} = 4,6 \cdot 10^{-13} \text{ (м)}.$$

2. *По измерениям С. И. Вавилова, для длин световых волн около 525 нм порог зрительного ощущения составляет около 200 фотонов в секунду. Оцените лучистый поток, попадающий при этом на поверхность глаза.*

Лучистый поток, падающий на поверхность глаза:

$$F = \frac{N\varepsilon_{\gamma}}{\Delta t} = \frac{Nhc}{\lambda\Delta t} = 7,57 \cdot 10^{-17} \text{ (}\hat{\text{A}}\text{)}.$$

3. *В измерениях Ивенсона были получены значения частоты и длины волны лазера, соответственно $\nu = (88,376181627 \pm 50 \cdot 10^{-9})$ ТГц, $\lambda = (3,392231376 \pm 1,2 \cdot 10^{-8})$ мкм. Определите по этим данным скорость света.*

Для нахождения результата косвенного измерения перемножаем средние значения величин: $\langle c \rangle = \langle \lambda \rangle \langle \nu \rangle = 299792456,2(\text{м/с})$.

Погрешность косвенного измерения:

$$\Delta c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial \lambda} \Delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \nu} \Delta \nu\right)^2} = \sqrt{(\nu \Delta \lambda)^2 + (\lambda \Delta \nu)^2} = 1,1(\text{м/с}).$$

УДК 539.171.016

К. А. МУШИНСКАЯ

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДВАЖДЫ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА LQZ

В работе вычислены коэффициенты дважды модифицированного метода LQZ для 13 элементов. Для $Z = 13, 29, 50, 82$ и 92 вычислено значение НМС для углов и энергий, при которых в [1] получены результаты с погрешностью. Метод LQZ дает более точное значение в двух случаях, а LQZ_{m2} – в пяти.

Для семи элементов построены графики для относительной ошибки ER как функции относительной скорости. Вычислены средние по скоростям относительные ошибки $\langle ER \rangle$ для этих элементов. Чем меньше Z , тем более высока точность обоих методов. Точность LQZ_{m2} выше, чем обычного.

Проведено сравнение точности второго и третьего борновских приближений и LQZ и LQZ_{m2} для расчета НМС для $Z = 1-6$. Самой высокой точностью для рассмотренного набора скоростей обладает LQZ_{m2}.

Также выполнено сравнение точности вычислений НМС методом LQZ $Z = 1-10, 13, 29, 50$ и 82 при использовании коэффициентов из работ Lijian et al. и Boschini et al. Показано, что до $Z = 7$ включительно предпочтительно для вычислений использовать коэффициенты, приведенные в работе Boschini et al.

Вычислена поправка Мотта для ряда скоростей для рассмотренных выше элементов. С ростом Z погрешность растет. В большинстве случаев погрешность LQZ_{m2} ниже погрешности LQZ.

Для свинца и урана вычислено сечение первичного смещения атома для ряда энергий. Точность метода LQZ_{m2} выше, чем обычного метода.

В пределе высоких энергий выражения для сечения первичного смещения атома сводятся к упрощенной формуле Маккинли – Фешбаха. По-видимому, расхождение с результатами работы [2] при высоких энергиях связано с ошибками в последней.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Doggett, J. A. Elastic Scattering of Electrons and Positrons by Point Nuclei / J. A. Doggett, L. V. Spencer // *Physical Review*. – 1956. – Vol. 103, № 6. – P. 1597–1601.

2. Oen, O. S. Cross sections for atomic displacements in solids by fast electrons / O. S. Oen // *Oak Ridge National Laboratory Report*. – ORNL-4897, 1973.

УДК 537.312:538.245

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

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ОБРАЗЦОВ
КАТИОНЗАМЕЩЕННОГО ФЕРРИТА ВИСМУТА**

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 $\text{R}_{1,0,20-x}\text{R}_{2,x}\text{Bi}_{0,80}\text{FeO}_3$ ($\text{R} = \text{La} - \text{Lu}$).

Одинаковые степени окисления Bi^{3+} и R^{3+} при катионном замещении не вызывают колебаний валентности, что обеспечивает выполнение условия электронейтральности получаемых составов. Меньшие ионные радиусы R^{3+} по отношению к ионному радиусу Bi^{3+} способствуют увеличению искажения кристаллической решетки, что приводит к изменению структурно чувствительных диэлектрических свойств образцов. Целью работы является выявление условий формирования фазового состава и диэлектрического отклика в образцах катионзамещенного феррита висмута на основании результатов дифрактометрии и диэлектрической спектроскопии.

Экспериментально исследованы широкодиапазонные ($1-10^{10}$ Гц) диэлектрические спектры образцов. Выполнено моделирование диэлектрических функций и компонент комплексного электрического модуля образцов с учетом возможных видов и механизмов диэлектрической поляризации. 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 структурных и диэлектрических свойств магнитодиэлектриков, так и при синтезе новых материалов с заданными физическими свойствами. Относительная простота и наглядность результатов моделирования служат основанием для их использования в образовательном процессе в лабораторных практикумах при изучении соответствующих разделов курса физики, при выполнении курсовых и дипломных работ, а также при проведении научных исследований.

УДК 539.17, 37.012.7

А. Н. ОНИЦУК

**ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ,
СВЯЗАННЫЕ С РЕАЛЬНЫМИ ПРИМЕРАМИ ИЗ НАУКИ
И ТЕХНИКИ**

Для стимулирования интереса к изучению физики атомного ядра и элементарных частиц полезно решать задачи, основанные на реальных исторически значимых экспериментах, на работе широко известных установок. Приведем примеры таких задач.

1. *Pu²³⁸ используется в радиоизотопных источниках энергии. Найдите, какую мощность генерирует 1 г плутония в результате α -распадов.*

Энергия, выделяющаяся при альфа-распаде ядра Pu²³⁸:

$$Q = (M(\text{Pu}^{238}) - M(\text{U}^{234}) - M(\text{He}^4)) \cdot 931,494 = 5,5936(\text{МэВ}).$$

Число альфа-распадов в 1 г плутония-238 за 1 секунду:

$$N_{\text{дaт}} = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m}{M} N_A = 6,34 \cdot 10^{11}.$$

Тогда мощность, генерируемая одним граммом плутония-238, $P = N_{\text{расп}} Q = 0,568(\text{Вт})$.

2. *Найдите необходимое магнитное поле для удержания протонов на орбите в ЛНС при расчетной энергии протонов 7,0 ТэВ. Длина ускорительного кольца 26,7 км. Указание: протоны при таких энергиях можно считать ультрарелятивистскими.*

Радиус траектории частицы с зарядом e в магнитном поле с индукцией B : $R = \frac{p}{eB}$.

Импульс релятивистской частицы равен

$$p = \frac{\sqrt{E^2 - m^2 c^4}}{c} = \frac{\sqrt{T(T + 2mc^2)}}{c},$$

где T – кинетическая энергия частицы. Так как кинетическая энергия протона 7,0 ТэВ, а энергия покоя 938,3 МэВ, то можно считать, что $p = \frac{T}{c}$.

Отсюда $B = \frac{p}{eR} = \frac{2\pi T}{ceL} = 5,5(\text{Тл})$.

УДК 538.10

А. С. САВЧУК

ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пористый материал – твердое тело, содержащее в своем объеме свободное пространство в виде полостей, каналов или пор. Пористостью (Π) называется отношение объема $V_{\text{п}}$ пустот в материале к его полному объему V . Пористость определяют по одной из формул: $\Pi = V_{\text{п}} / V$ или $\Pi = (m_{\text{н}} - m) / (r_{\text{ж}} V)$, где $m_{\text{н}}$ – масса насыщенного жидкостью материала, $r_{\text{ж}}$ – плотность жидкости. Есть три вида пор: открытые ($\Pi_{\text{о}}$), тупиковые ($\Pi_{\text{т}}$) и закрытые ($\Pi_{\text{з}}$). Общая пористость тела: $\Pi = \Pi_{\text{о}} + \Pi_{\text{з}} + \Pi_{\text{т}}$. Просветом называется доля площади сечения пористого материала, приходящаяся на пустоты. Часто полагают, что пористость и просвет пористого материала численно равны. Основным методом определения величины просвета является исследование шлифов или микрофотографий поверхности материалов. Этот метод часто используют и для определения пористости материалов с анизотропной структурой. Форма пор сложна и зависит от формы и размеров частиц, давления прессования, режимов спекания. Наиболее простую форму пор имеют пористые материалы из сферических частиц одного размера. Однако даже в случае плотнейшего расположения эта форма достаточно сложна. Например, для сфер поперечные сечения порового канала – криволинейные треугольники с переменной площадью

по длине канала. Минимальная длина поровых линий в порах всегда равна или больше толщины пористого тела в направлении фильтрации среды. Это увеличение длины пор по сравнению с толщиной пористого тела характеризует коэффициент извилистости пор: $a_{изв.} = l_n / l$. Распределение пор по размерам обычно подчинено одному из следующих законов – нормальному распределению или логарифмически нормальному распределению. Распределение пор по размерам используют для определения таких распространенных характеристик, как максимальный и средний размеры пор. Наиболее распространенные методы определения размеров пор – вдавливание ртути, вытеснение жидкости из пор, исследование микрофотографий. Удельная поверхность пор – это площадь внутренних поверхностей пор в единице объема $S_{уд.}^V$, м²/м³ или в единице массы $S_{уд.}^m$, м²/г, пористого материала. Величины $S_{уд.}^V$ и $S_{уд.}^m$ связаны соотношением $S_{уд.}^V = S_{уд.}^m \cdot \rho_k (1 - P) 10^6$, где ρ_k – плотность компактного материала. Удельную поверхность пор определяют несколькими методами, из которых наибольшее распространение получили исследование шлифов (микрофотографий) пористого материала, адсорбция газов, фильтрация газов, ртутная порометрия.

УДК 517.925

А. А. ЧЕХОВИЧ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ

Ускорители элементарных частиц, возможно, являются наиболее важными инструментами фундаментальных исследований физики высоких энергий. Открытия различных кварков, составляющих протоны и нейтроны, были сделаны на коллайдерах частиц. Ускорители перемещают заряженные частицы, такие как протоны или электроны, с высокими скоростями, близкими к скорости света. Затем они ударяются либо о цель, либо о другие частицы, циркулирующие в противоположном направлении. Изучая эти столкновения, физики могут исследовать бесконечно малый мир. Большой адронный коллайдер является самым мощным ускорителем в мире. Он увеличивает количество частиц, таких как протоны, из которых состоит вся известная нам материя. Ускоренные до скорости, близкой к скорости света, они сталкиваются с другими протонами. Эти столкновения производят массивные частицы, такие как бозон Хиггса или верхний кварк. Измеряя их свойства, ученые расширяют наше понимание материи

и происхождения Вселенной [1]. Помимо исследований в области фундаментальной физики, ускорители элементарных частиц также широко используются в диагностической и терапевтической медицине и в промышленных производственных процессах, таких как радиография, анализ материалов, радиационная обработка и производство радиоизотопов [2]. В работе рассмотрен принцип работы Большого адронного коллайдера, различные виды соударений частиц в ускорителе, а также важнейшие научные открытия и исследования в этой области. Написана программа, моделирующая протон-протонные соударения. При этом использовались данные с официального сайта Европейской организации по ядерным исследованиям, язык программирования Python, а также библиотека pygame, предназначенная для разработки мультимедийных приложений с графическим интерфейсом. Программа носит оригинальный характер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Accelerators [Electronic resource] // CERN Accelerating science. – 2021. – Mode of access: <https://home.cern/science/accelerators>. – Date of access: 10.06.2022.
2. Syed, N. A. Properties and sources of radiation / N. A. Syed // Physics and Engineering of Radiation Detection. – 2015. – № 1. – P. 1–64.

УДК 517.925

А. А. ШУЛЮК

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРУГОГО И НЕУПРУГОГО СОУДАРЕНИЯ ТЕЛ

Роль компьютерных технологий в исследовании физических явлений трудно переоценить. Быстродействие и большие графические возможности современных ПК позволяют проводить количественный анализ сложных физических явлений и наглядно представлять результаты этого анализа. Используя знания об объекте, которые представляют нам общие законы физики, в численном моделировании можно установить интегральное поведение объекта, наглядно представить основные закономерности в его поведении. Важным моментом в математическом моделировании является корректная формулировка задачи. Использование единиц измерения физической системы знакомит учащихся с элементами теории подобия и позволяет исследовать целый класс подобных физических объектов, устанавливать существующие связи в поведении объектов с их характеристиками.

Компьютерная модель может быть очень сложной в отличие от физических и математических моделей, так как расчет процесса может вестись непрерывно и сколько угодно долго с необходимой точностью. Также мы можем в любое время вмешаться и изменить течение процесса в нужном нам направлении. Но в то же время, хотя и течение может быть представлено визуально, компьютерная модель не обладает объяснительной силой. Поэтому все эти три метода моделирования является дополнительными по отношению друг к другу.

В данной работе исследуются модели, написанные на языке Python в среде разработки PyCharm. PyCharm делает разработку максимально продуктивной благодаря функциям автодополнения и анализа кода, мгновенной подсветке ошибок и быстрым исправлениям. Автоматические рефакторинги помогают эффективно редактировать код, а удобная навигация позволяет мгновенно перемещаться по проекту. В работе была использована библиотека Pygame, которая отвечает за графику и анимацию в работе. Также в работе использовались закон сохранения энергии, закон сохранения импульса, формула Резерфорда для построения более точной модели. Модели сделаны так, что расчет производится в текущем времени с выводом на экран.

УДК 537.312:538.245

Т. А. ЯТЧУК, Е. С. ШАМА, И. П. ПРИХАЧ

КАЛОРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В МАГНЕТИТЕ И КАТИОНЗАМЕЩЕННОМ ФЕРРИТЕ ВИСМУТА

В последние годы значительно вырос интерес к поиску и исследованию материалов, в которых наблюдаются калорические эффекты (КЭ) различной природы. Это связано с возможностью их использования в альтернативных традиционным, энергоэффективных и экологически безопасных системах охлаждения, использующих в качестве элементной базы твердотельные соединения. Основанный на одновременном наблюдении хотя бы двух из известных КЭ подход к исследованию термодинамических свойств материалов получил название мультикалорический, а сами материалы условно называют мультикалориками.

Целью работы является выявление условий формирования фазового состава, магнитных взаимодействий и магнитокалорического эффекта в образцах магнетита и катионзамещенного феррита висмута на основании результатов рентгеновской дифрактометрии и магнитометрических исследований.

Экспериментально исследованы диэлектрические и магнитные свойства образцов. Результаты исследований подтверждают высокую чувствительность магнитных характеристик и особенностей магнитокалорического эффекта к малым изменениям состава и структуры. Выполнено моделирование температурных зависимостей намагниченностей, и в рамках феноменологической модели рассчитаны температурные зависимости изменения магнитной энтропии, относительной мощности охлаждения и магнитной теплоемкости.

Изменяющаяся в сложных оксидах железа в зависимости от структуры и состава величина валентного угла Fe – O – Fe определяет условия магнитного обменного взаимодействия, осуществляемого за счет орбитального перекрытия между ионами Fe^{3+} и O^{2-} . При изменении величины данного угла происходит рост величины намагниченности за счет фазового перехода от антиферромагнитного (АФМ) к слабоферромагнитному состоянию. Важным фактором является проявляющийся при низких температурах парамагнитный вклад магнитного момента редкоземельных катионов в намагничивание. Полученные данные могут быть использованы при изучении магнитокалорического эффекта и особенностей фазовых магнитных переходов в подобных материалах.

СОДЕРЖАНИЕ

Архутик А. В. Границы применимости борновских приближений моттовского сечения рассеяния	3
Болтрушко И. В. Проектирование и разработка электронного учебно-методического комплекса «Физика электрических приборов»	4
Бура А. В., Березовская Т. А. Влияние катионного замещения на магнитные свойства ферритов-шпинелей.....	5
Валентюк Г. В., Грабар Д. В., Свидунович Я. А., Березовская Т. А. Влияние катионного замещения на рамановские спектры феррита висмута	6
Волошик И. А. О взаимодействии протона и нейтрона в свободном и связанном состояниях	7
Волошик И. А. Об особенностях взаимодействия нейтрона и протона при низких и высоких энергиях	8
Волошик И. А. Обзор некоторых теорий дейтрона.....	9
Волошик И. А. Основные этапы развития теории ядерных сил	10
Зарецкий А. В. Свойства сплава Bi-Sb, легированного элементами II, III, IV и VI группы.....	11
Зарецкий А. В. Физические задачи как средство обучения и воспитания учащихся.....	12
Котович О. А. Свойства и структура фольги Bi-Sb, легированной германием и серой.....	13
Котович О. А. Теория и методика использования качественных задач при углубленном изучении учащимися физики в средней школе.....	14
Коховец А. В. Алгоритмы Шеннона – Фано и Хаффмана	15
Кудравец А. В. Укороченный модифицированный метод LQZ для оганесона с 18 и 15 коэффициентами.....	16
Кухта И. С. Расчет постоянных для разных вариантов формулы Бете – Вайцзеккера.....	17
Лаврентиков А. В. Об особенностях взаимодействия двух протонов при низких и высоких энергиях	19
Мазуркевич С. В. Об особенностях эффекта Барышевского – Любошица на нуклонах	20
Малыха А. В. Задачи по оптике на основе реальных примеров из науки и техники	21
Мушинская К. А. Расчет коэффициентов дважды модифицированного метода LQZ.....	22
Никитин Е. А., Олизарович А. С., Березовская Т. А. Диэлектрическая спектроскопия образцов катионзамещенного феррита висмута	23

Онищук А. Н. Задачи по физике ядра и элементарных частиц, связанные с реальными примерами из науки и техники.....	24
Савчук А. С. Физические и физико-химические свойства пористых материалов	25
Чехович А. А. Компьютерное моделирование процессов, происходящих в Большом адронном коллайдере.....	26
Шулюк А. А. Компьютерное моделирование процессов упругого и неупругого соударения тел	27
Ятчук Т. А., Шама Е. С., Прихач И. П. Калорические эффекты в магнетите и катионзамещенном феррите висмута	28

Научное издание

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, АСТРОФИЗИКА
И ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Сборник материалов конференции

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

Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,86.

Тираж 20 экз. Заказ № 218.

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.

224016, Брест, Мицкевича, 28.