

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

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ
БУДУЩИХ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ**

Материалы
регионального научно-практического семинара

Брест, 17–18 ноября 2022 года

Брест
БрГУ имени А. С. Пушкина
2022

УДК 004+53+62+371+372+378+517+519+530+535+536+537+539+620+621
ББК 22.2+22.6+74.58
А43

*Рекомендовано редакционно-издательским советом учреждения образования
«Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина»*

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**

А43 **Актуальные** вопросы подготовки будущих учителей физики и астрономии : материалы регион. науч.-практ. семинара, Брест, 17–18 нояб. 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. В. Демидчика. – Брест : БрГУ, 2022. – 107 с.
ISBN 978-985-22-0537-5.

В сборник включены материалы, отражающие результаты научных и научно-методических исследований по актуальным вопросам преподавания 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+53+62+371+372+378+517+519+530+535+536+537+539+620+621
ББК 22.2+22.6+74.58

ISBN 978-985-22-0537-5

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

УДК 378:001.891

В. С. АНТОНЮК, О. А. КОТЛОВСКИЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА В СИСТЕМЕ ОЦЕНИВАНИЯ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ УЧАЩИХСЯ ПО ФИЗИКЕ

Качество физического образования – комплексная характеристика учебной деятельности и подготовки учащихся, в том числе степень достижения ими планируемых результатов. Необходим комплексный подход к системе оценивания учебных достижений учащихся по физике в учреждениях общего среднего образования. Одной из важнейших задач в процессе обучения физике является совершенствование контроля за результатами обучения и управления его качеством. Система оценки учебных достижений учащихся по физике должна выполнять следующие функции: поддержка и стимулирование учащихся; обеспечение обратной связи «ученик – учитель»; вовлечение учащихся в самостоятельную оценочную и самооценочную деятельность. Система оценки образует основу диагностических и контролирующих процессов. Контроль – выявление и оценка результатов учебной деятельности учащихся. Правильно организованный контроль учебной деятельности учащихся позволяет учителям физики не только оценивать получаемые знания, умения, навыки, но и вовремя оказывать необходимую помощь учащимся и добиваться поставленных целей обучения, развития и воспитания в процессе преподавания физики. Проведенный анализ организации образовательного процесса по физике в средних школах г. Бреста показал, что учителя физики используют в основном только традиционные формы контроля. Такие современные формы контроля, как опрос по цепочке, программируемый опрос, идеальный опрос, релейная контрольная работа, тройка, инновационный диктант, урок открытых задач, реставратор, кластер, лист опорных сигналов, деловая (ролевая) игра, кейс-задача, собеседование, кроме зачета и выборочного контроля, практически не используются. А именно внедрение в учебный процесс по физике современных методов контроля и оценивания позволит лучше получать информацию об эффективности процесса преподавания физики, отслеживать индивидуальный прогресс учащихся в достижении планируемых результатов освоения учебных программ по физике, обеспечивать обратную связь «учитель – ученик», создавать благоприятные условия для развития познавательного интереса к физике.

УДК 371.3:53

Л. А. ВЕЛИЧКО, Н. Н. ВОРСИН, Т. Л. КУШНЕР

Брест, БрГТУ

МЕТОДИКА ОБЪЯСНЕНИЯ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВАНИИ ВТОРОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ

Закон сохранения энергии утверждает, что энергия как свойство материи может переходить из одного вида в другой, но он при этом ограничивает преобразование энергии из одной формы в другую и использование энергии. Теоретический курс физики включает лекции, тема которых посвящена переходу тепловой энергии в электрическую и обратно. Это так называемые явления термоэлектричества [1, с. 481].

Традиционно на лекциях объясняют различие электронных проводников концентрацией свободных электронов и работой выхода электрона в вакуум. Затем рассматривают замкнутую электрическую цепь (рисунок 1) из двух разнородных металлов Me(A), Me(B), приведенных в два контакта.

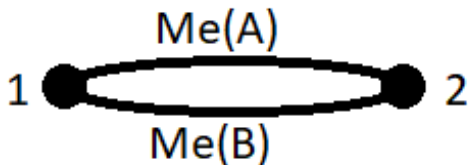


Рисунок 1 – Схема термопары:
1, 2 – спаи термопары

В месте контакта (спае) расстояние между поверхностями металлов порядка $2 \cdot 10^{-10}$ м. Электрон, покидающий металл (A) с концентрацией $n_0(A) > n_0(B)$, переходит непосредственно в металл (B), при этом металл (A) заряжается положительно, а металл (B) – отрицательно.

Возникает контактная разность потенциалов. Если спаи находятся в тепловом равновесии, то сумма разностей потенциалов равна нулю. Если бы это было не так, то была бы возможность создать тепловую машину без холодильника, что противоречит второму закону термодинамики.

Тепловое равновесие спаев можно нарушить, поместив их в среды с разными температурами (рисунок 2).

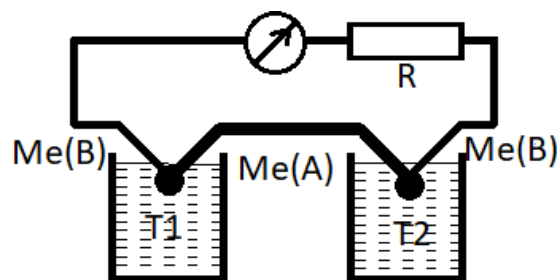


Рисунок 2 – Термопара с «нарушенным» тепловым равновесием

Металл (В) разрезан, и к концам его подсоединен потенциометр, показания которого отличны от нуля, т. е. сумма разностей потенциалов на спаях в этом случае

$$u = \frac{\varepsilon_t}{e} = \frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(A)}{n_0(B)}\right)T_1 + \frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(B)}{n_0(A)}\right)T_2 = \frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(A)}{n_0(B)}\right)(T_1 - T_2) \neq 0. \quad (1)$$

Для большинства металлов множитель $\frac{k}{e} \ln\left(\frac{n_0(B)}{n_0(A)}\right)$ не зависит от температуры, его можно принять за константу и обозначить α . Уравнение (1) запишется в виде

$$u = \frac{\varepsilon_t}{e} = \alpha \cdot \Delta T = \alpha \cdot (T_1 - T_2). \quad (2)$$

Если учесть сопротивление цепи r_u , то напряжение $u = \varepsilon_t - I \cdot r_u$. По внешнему сопротивлению R , включенному в цепь, проходит термоток I , и на сопротивлении R выделяется полезная электрическая мощность. Можно предложить уточняющий рисунок 3 [2, с. 312]. И все-таки остается открытым вопрос о работе термоэлемента, когда термопара является вариантом термоэлемента.

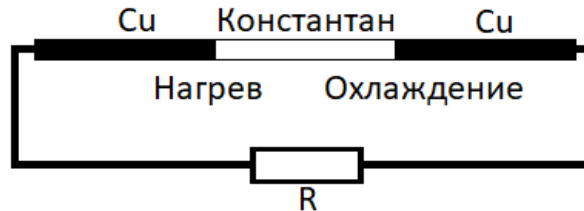


Рисунок 3 – Схема термоэлемента

Для уяснения работы термоэлемента предложим схему на рисунке 4, т. е. работу термоэлемента смоделируем работой тепловой машины. Представим термоэлемент состоящим из двух термостолбиков (1), включенных последовательно с помощью соединительных элементов (2). Материалы столбиков – металлы Me_1 и Me_2 . Соединительные элементы расположены непосредственно на спаях, имеющих температуры $T_Г$ и $T_Х$, чтобы исключить тепловые потери на этих элементах. К соединительным элементам на холодном спае подключена полезная нагрузка R . Если к горячему спаю подвести поток тепла $Q_Г$, от холодного спая отвести поток теплы $Q_Х$, то между спаями термоэлемента создается разность температур $\Delta T = T_Г - T_Х$ и возникает термоэдс ε_t . В замкнутой цепи потечет термоток I . Полезная

мощность $W_{ТЭ}$, вырабатываемая термоэлементом, исходя из закона сохранения энергии, есть разность между подведенным и отведенным в единицу времени количествами тепла.

Термоэлемент можно характеризовать коэффициентом полезного действия как отношение вырабатываемой электрической мощности к тепловому потоку, подводимому к горячему спаю.

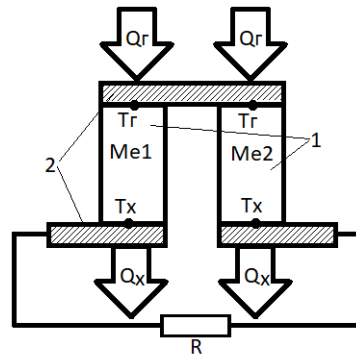


Рисунок 4 – Схема термоэлемента с моделью работы тепловой машины

КПД термоэлемента можно выразить $\eta \approx \Delta T/T_G$, умноженное на дополнительный «коэффициент». Множитель $\Delta T/T_G$ есть КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно. КПД термоэлемента ниже КПД цикла Карно по причине существования необратимых потерь, обусловленных конечной теплопроводностью материалов термостолбиков, а также выделением тепла Джоуля при прохождении тока по внутреннему сопротивлению термоэлемента и по сопротивлению соединительных элементов.

Таким образом, использование модели тепловой машины при выяснении работы термоэлемента, т. е. превращения тепловой энергии в электрическую, облегчает понимание студентами этого процесса. Если по цепи с равными температурами спаев пропустить ток такого же направления, как и направление термотока, то происходит охлаждение того спая, который был горячим при возникновении термотока, и нагрев того спая, который был холодным (эффект Пельтье), т. е. имеет место процесс, обратный выработке термоэдс. Так реализуется модель теплового насоса (или холодильника) [3, с. 258].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие : в 5 т. / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1983. – Т. 3 : Электричество. – 687 с.
2. Поль, Р. В. Учение об электричестве / Р. В. Поль. – М. : Физматгиз, 1962. – 516 с.
3. Термоэлектрические генераторы / А. Р. Регель [и др.] ; под ред. А. Р. Регеля. – М. : Атомиздат, 1976. – 318 с.

УДК 378:001.891

Я. Э. ДАНИЛЮК, О. А. КОТЛОВСКИЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ В ХОДЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Физика зародилась как наука экспериментальная, поэтому изучать физику без демонстрации физических опытов не имеет смысла. Вследствие этого основной частью процесса преподавания физики в школе является демонстрационный физический эксперимент, который используется и как средство наглядности при объяснении нового материала, и как метод обучения. Задачи школьного демонстрационного физического эксперимента состоят в наглядной демонстрации физических явлений и законов, формировании у обучающихся знаний основ физики, экспериментальных умений и навыков, систематизации и обобщении новых знаний. Процесс обучения физике не должен сводиться только к изучению физических явлений и законов. Его важнейшей частью является развитие обучающихся, формирование познавательного интереса к физике посредством демонстрационного эксперимента. Устаревшее оборудование школьных кабинетов физики, с которым зачастую приходится сталкиваться в повседневной практике, не позволяет качественно реализовать демонстрационный физический эксперимент. С развитием информационных технологий появилась возможность частично решить эту проблему при помощи компьютерного моделирования физических процессов и опытов. Широкое распространение получили имитационные лабораторные работы, проводимые в кабинетах физики, оборудованных интерактивной доской. Компьютерные модели отвечают требованиям наглядности и выразительности, способствует формированию у учащихся физических знаний, реализации межпредметных связей с информатикой.

Несмотря на существующие достоинства, компьютерный эксперимент никогда не заменит реальный демонстрационный эксперимент. Это обусловлено тем, что при работе в виртуальных лабораториях эффективно формируется только понятийный аппарат и умение работать с компьютерной техникой. Для формирования у обучающихся практических умений и навыков необходим реальный физический эксперимент, как учебный, так и демонстрационный. Поэтому необходимо искать «золотую середину»: компьютерный эксперимент должен дополнять эксперимент реальный.

УДК 53(075.3)

А. В. ДЕМИДЧИК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ С ГРАФИЧЕСКИ ЗАДАНЫМ УСЛОВИЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ» В 8 КЛАССЕ

Изучение физики в 8 классе учреждений общего среднего образования начинается с главы 1 «Тепловые явления» [1]. Этой главе в школьном учебнике посвящено 11 параграфов, 9 упражнений и 2 лабораторные работы. Во 2-м упражнении задача 4 (помеченная наиболее сложной), в 5-м упражнении задачи 5 и 6, в 6-м упражнении задачи 5 и 6, в 7-м упражнении задачи 4 и 13 (помечена наиболее сложной) и 9-м упражнении задачи 3, 4 и 9 содержат в своем условии графики различных зависимостей. По этим зависимостям учащиеся должны сделать какой-то вывод (описать процессы, установить вещество, сравнить величины и т. п.) или рассчитать какие-либо величины (массу, количество теплоты, удельную теплоту плавления и т. п.).

Несмотря на достаточное количество заданий подобного рода в учебнике, задачи с графиками вызывают у учащихся трудности как при подготовке к олимпиаде по физике на учебно-тренировочных сборах, так и на самой олимпиаде. В качестве примера рассмотрим две задачи на данную тему, предложенные на районной олимпиаде в разные годы.

Задача 1 (2020 г., 9 класс).

В ведре находится смесь (вода со льдом), масса которой составляет 10 кг. Ведро внесли в помещение, после чего сразу начали измерять температуру смеси. Получившийся график зависимости температуры смеси от времени $T(t)$ изображен на рисунке 1. Рассчитайте, сколько льда было в ведре, когда его принесли в помещение. Теплоемкостью ведра пренебречь. Удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ и удельная теплота плавления льда $3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$.

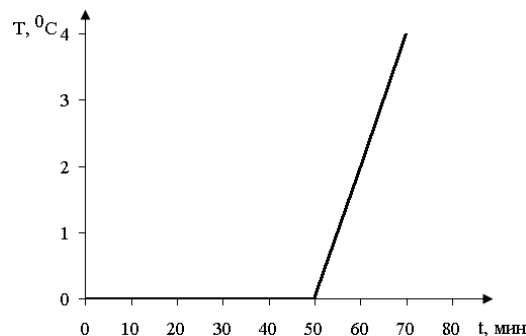


Рисунок 1

Первые 50 минут температура смеси не менялась и оставалась равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Все это время тепло, получаемое смесью из помещения, шло на таяние льда. Через 50 минут весь лед растаял, температура воды начала повышаться. За 10 минут (промежуток от 50 до 60 минут) температура повысилась на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Количество теплоты, поступившее к воде из помещения за это время, равно $q = cm_{\text{в}}\Delta T = 2cm_{\text{в}}$. Значит, за первые 50 минут к смеси из комнаты поступило количество теплоты $Q = 5q$ (теплота поступала равномерно пять промежутков времени по 10 минут каждый). Это количество теплоты и пошло на таяние искомой массы $m_{\text{л}}$ льда: $Q = \lambda m_{\text{л}}$.

Таким образом, $m_{\text{л}} = Q / \lambda = 1,24\text{ кг}$.

Ответ: 1,24 кг.

Задача 2 (2022 г., 9 класс).

Два медных образца 1 и 2, обладающие различной начальной температурой, привели в соприкосновение. Используя график зависимости температуры образцов от времени (рисунок 2), определите, у какого из этих образцов масса больше. Потери тепла в окружающую среду не учитывайте.

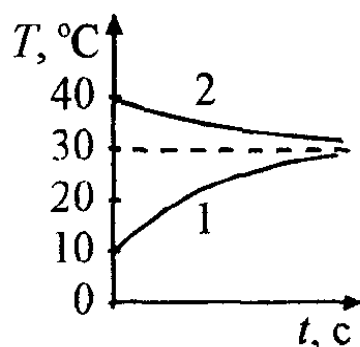


Рисунок 2

Из рисунка 2 видно, что первый образец нагревается, а второй – охлаждается. Условие теплового баланса $Q_1 = Q_2$, то $c_1 m_1 (t - t_{01}) = c_2 m_2 (t_{02} - t)$.

Так как оба образца медные, то $c_1 = c_2$.

Получим: $m_2 / m_1 = (t - t_{01}) / (t_{02} - t)$. Обратимся к графику. Пусть первое тело нагрелось на ≈ 10 градусов, тогда второе тело за это же время охладится на ≈ 4 градуса, т. е. $m_2 / m_1 = 10 / 4 = 2,5 > 1$, откуда $m_2 > m_1$.

Ответ: $m_2 > m_1$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаченкова, Л. А. Физика : учеб. пособие для 8 кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, Ю. Д. Лещинский, В. В. Дорофейчик. – Минск : Нар. света, 2018. – 174 с.

УДК 378.147:51

И. А. ДОРДЮК, Н. Н. СЕНДЕР

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ. ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ

Рассмотрим контур, в котором последовательно с индуктивностью включено сопротивление R (рисунок 1).

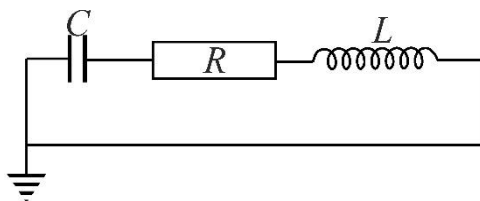


Рисунок 1

Будем считать, что R мало. Если R совсем не принимать во внимание, то мы получим схему без R . Если при $t = 0$ было $\varphi = \varphi_0$, $I = 0$, то из формул (1) получаем (2):

$$\varphi = \frac{I_0}{C\omega} \sin \omega t + \varphi_0 \cos \omega t, \quad I = I_0 \cos \omega t - C\varphi_0 \omega \sin \omega t, \quad (1)$$

$$\varphi = \varphi_0 \cos \omega t, \quad I = I_m \sin \omega(t + \pi), \quad (2)$$

где положено

$$I_m = C\varphi_0 \omega, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (3)$$

При этом полная энергия $W = \frac{C\varphi_0^2}{2}$, или, пользуясь (3), можно записать также

$$W = \frac{LI_m^2}{2}. \quad (4)$$

При наличии сопротивления происходит превращение электрической энергии в тепловую. Тепловая мощность P равна

$$P = RI^2 = RI_m^2 \sin^2(\omega t + \pi) = RI_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{RI_m^2}{2}(1 - \cos 2\omega t). \quad (5)$$

Тепловая мощность при электрических колебаниях не остается постоянной. На протяжении каждого периода P дважды достигает максимума и дважды обращается в нуль (знак ее, конечно, не изменяется). Найдем среднее значение P за период.

Из формулы (5) находим $\bar{P} = \frac{RI_m^2}{2}(1 - \overline{\cos 2\omega t})$. Вспоминая, что среднее значение косинуса за период равно нулю, получаем $\bar{P} = \frac{RI_m^2}{2}$.

Выделение тепла на сопротивлении R может происходить только за счет уменьшения электрической энергии W . Поэтому

$$\frac{dW}{dt} = -P. \quad (6)$$

Мы предположили, что R мало, значит, и P мало. Энергия колебаний убывает медленно, значительное изменение энергии заметно лишь по истечении нескольких периодов. Рассматривая промежутки времени, большие по сравнению с периодом колебаний T , заменим в правой части (6) P на \bar{P} :

$$\frac{dW}{dt} = -\bar{P} = -\frac{RI_m^2}{2}. \quad (7)$$

Поскольку энергия W медленно меняется, то из (4) видим, что и I_m есть медленно меняющаяся величина. Выразив I_m из (4), получим:

$$I_m = \sqrt{\frac{2W}{L}}. \quad (8)$$

Пользуясь (8), получаем из (7) $\frac{dW}{dt} = -\frac{R}{L}W$.

Решение этого уравнения есть $W = W_0 e^{-(R/L)t}$, где W_0 — это значение W при $t = 0$. Поэтому согласно (8) $I_m = \sqrt{\frac{2W_0}{L}} e^{-Rt/(2L)}$.

Тогда

$$I = \sqrt{\frac{2W_0}{L}} e^{-Rt/(2L)} \sin(\omega t + \pi). \quad (9)$$

Вспоминая, что $\varphi = \varphi_0 \cos \omega t$, а $\varphi_0 = \frac{I_m}{C\omega}$, получаем

$$\varphi_m = \frac{I_m}{C\omega} \cos \omega t = \frac{1}{C\omega} \sqrt{\frac{2W_0}{L}} e^{-Rt/(2L)} \cos \omega t. \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) показывают, что при наличии небольшого сопротивления электрические колебания затухают по показательному закону.

УДК 530.10

А. В. ЗАРЕЦКИЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ В ИНТЕРВАЛЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ $x = 0-0,25$

Твердые растворы между полуметаллами Bi и Sb известны как лучшие термоэлектрические (ТЭ) материалы n-типа и перспективные термомагнитные материалы для температур ниже ~ 150 . Только в этих материалах достигаются самые высокие значения ТЭ добротности $Z = (S^2 \sigma) / \lambda$, где S – коэффициент Зеебека, σ – коэффициент электропроводности и λ – коэффициент теплопроводности.

Во-первых, до $x \sim 0,12$, несмотря на немонотонный, осциллирующий характер этих кривых, имеет место тенденция к росту S и R_H при увеличении x. Во-вторых, в обоих случаях в концентрационных интервалах $x = 0,01-0,015$, $x = 0,025-0,035$ и $x \sim 0,05-0,10$ на зависимостях S(x) и $R_H(x)$ наблюдается аномальное уменьшение S и R_H при увеличении содержания сурьмы. В-третьих, положение максимумов и минимумов на зависимостях S(x) и $R_H(x)$ практически совпадают для концентрационных интервалов $x = 0,01-0,015$ и $x = 0,025-0,035$ (хотя измерения S и R_H проводились независимо друг от друга), но отличаются для интервала $x \sim 0,05-0,10$: на зависимости $R_H(x)$ в интервале составов $x = 0,05-0,10$ наблюдаются два участка аномального снижения R_H в отличие от S, где наблюдается один минимум вблизи $x \sim 0,07$.

Из зависимости $\sigma(x)$ видно, что во всем исследованном интервале составов ($x = 0-0,25$) при общем немонотонном характере кривой наблюдается тенденция к падению электропроводности с ростом x. В области составов $x = 0-0,1$, как и в случае S и R_H , имеют место концентрационные аномалии (рост σ при увеличении x), причем максимумам на кривых S

и R_H соответствуют минимумы на кривой $\sigma(x)$, что нетрудно объяснить различной зависимостью этих кинетических коэффициентов от концентрации носителей заряда.

На основе полученных значений σ , S и λ были рассчитаны значения ТЭ добротности. Из зависимости $Z(x)$, полученной для комнатной температуры, видно, что в исследуемом интервале концентраций на кривой $Z(x)$ наблюдаются четыре максимума, соответствующие составам $x \cong 0,01, 0,03, 0,1$ и $0,16$. Таким образом, максимальные значения Z отвечают составам $x = 0,03$ и $x = 0,1$ ($Z = 1,05 \pm 0,05$).

УДК 378.147:51

А. В. ЗАРЕЦКИЙ, Н. Н. СЕНДЕР

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

СЛУЧАЙ БОЛЬШОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЯХ

Решение уравнения

$$LC \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\varphi - RC \frac{d\varphi}{dt}, \quad (1)$$

справедливо лишь для не слишком больших R . Действительно, из $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ видно, что если $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, то ω смысла не имеет, так как под корнем получается отрицательное число. В этом случае уравнение (1) имеет решение другого вида. Будем искать решение в виде $\varphi = Ae^{-\beta t}$ (соответственно $I = -AC\beta e^{-\beta t}$). Подставляя в (1) выражения для φ и его производных и сокращая все члены на $Ae^{-\beta t}$, получим $LC\beta^2 = -1 + RC\beta$.

Это квадратное уравнение для β . Решая его, найдем:

$$\beta = \frac{R}{2C} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}. \quad (2)$$

Подкоренное выражение в (2) отличается знаком от подкоренного выражения в $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ для ω . Следовательно, как раз в тех случаях,

когда нельзя найти ω , можно найти β . Формула (2) дает два различных значения β , поэтому можно составить два решения уравнения (1): $\varphi = Ae^{-\beta_1 t}$ и $\varphi = Be^{-\beta_2 t}$.

Решением будет и их сумма:

$$\varphi = Ae^{-\beta_1 t} + Be^{-\beta_2 t}. \quad (3)$$

Соответственно

$$I = -AC\beta_1 e^{-\beta_1 t} - BC\beta_2 e^{-\beta_2 t}. \quad (4)$$

Если при $t=0$ $\varphi = \varphi_0$, $I = I_0$, то, полагая $t=0$ в (3) и (4), получим: $A + B = \varphi_0$, $-AC\beta_1 - BC\beta_2 = I_0$.

Из этой системы уравнений можно найти A и B . Рассмотрим более подробно выражение для β .

Пусть $R \gg 2\sqrt{\frac{L}{C}}$. Тогда $\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}} = \frac{R}{2L}\sqrt{1 - \frac{4L}{R^2C}}$ можно разложить по формуле бинома Ньютона. Ограничимся двумя членами:

$$\frac{R}{2L}\sqrt{1 - \frac{4L}{R^2C}} = \frac{R}{2L}\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{4L}{R^2C}\right) = \frac{R}{2L} - \frac{1}{RC}.$$

Поэтому $\beta_1 = \frac{R}{2L} + \frac{R}{2L} - \frac{1}{RC} = \frac{R}{L} - \frac{1}{RC} \approx \frac{R}{L}$, так как R велико, $\beta_2 = \frac{R}{2L} - \frac{R}{2L} + \frac{1}{RC} = \frac{1}{RC}$. β_1 соответствует затуханию тока по закону $e^{-(R/L)t}$, т. е. как в цепи, составленной только из индуктивности и сопротивления. Второй корень β_2 соответствует затуханию тока по закону $e^{-t/(RC)}$, т. е. как в цепи, состоящей только из емкости и сопротивления.

Представляет математический интерес частный случай, когда подкоренное выражение в (2) точно равно нулю: $\frac{R^2}{4L^2} = \frac{1}{LC}$, так что оба корня β_1 и β_2 совпадают. Мы получаем только одно решение уравнения (1). Однако для того чтобы решить задачу с начальными условиями $\varphi = \varphi_0$, $I = I_0$ при $t=0$, нам надо два решения.

Как найти второе решение? Предположим, что $\beta_1 \neq \beta_2$, но $\beta_1 - \beta_2$ – малая величина. Тогда мы имеем два решения: $e^{-\beta_1 t}$ и $e^{-\beta_2 t}$. Их разность также является решением. Запишем это решение так: $e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t} = e^{-\beta_2 t} [e^{(\beta_2 - \beta_1)t} - 1]$.

Так как $\beta_2 - \beta_1$ мало, то (в ряде Тейлора можно взять только два члена) $e^{(\beta_2 - \beta_1)t} \approx 1 + (\beta_2 - \beta_1)t$, откуда $e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t} = e^{-\beta_2 t} t(\beta_2 - \beta_1)$.

Последнее выражение наводит на мысль, что в случае $\beta_2 = \beta_1 = \beta$ надо второе решение брать в виде $\varphi = Bte^{-\beta t}$. Подставляя это φ в уравнение (1) и учитывая, что $\beta = \frac{R}{2L}$, увидим, что уравнение действительно удовлетворяется. Итак, в случае $\beta_2 = \beta_1 = \beta$ надо брать φ в виде $\varphi = Ae^{-\beta t} + Bte^{-\beta t}$.

Такое φ (и соответствующее I) позволяет решить задачу с любыми начальными φ_0 и I_0 .

УДК 539.171.016

П. Б. КАЦ, А. В. КУДРАВЕЦ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

МЕТОД LQZ_{S2a4d} ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ С Z = 80, 81, 83–89 и 91

В ряде предыдущих работ было показано, что для ряда элементов с $Z > 58$ погрешность метода LQZ_{S2a4d} для позитронов в среднем ниже погрешности метода LQZ_{S3a3d}. Нормированное моттовское сечение (НМС) при этом вычисляется по формулам:

$$R_{LQZ_S}(\theta; Z, \beta) = 1 + \sum_{j=1}^3 a_j(Z, \beta)(1 - \cos \theta)^{j/2}, \quad (1)$$

$$a_j(Z, E) = \sum_{k=1}^L d_Z(j, k)(\beta - \bar{\beta})^{k-1}, \bar{\beta} = 0,668269.$$

В [1] показано на примере элементов с $Z = 74, 79, 82, 90, 92$, что LQZ_{S2a4d} приводит к уменьшению усредненной по энергиям и углам погрешности для $Z = 74–90$ и к росту при переходе к $Z = 92$. В [2] найден локальный максимум средней погрешности $\langle ER \rangle$ метода LQZ_{2a4d} для $Z = 59$.

В данной работе рассчитаны коэффициенты для LQZ_{2a4d} всех элементов с $Z = 80, 81, 83–89, 91$. Коэффициенты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты метода 2a4d

j/k	1	2	3	4
Ртуть Hg (Z = -80)				
1	-0,269997	-0,763686	0,291407	0,431720
2	0,013007	-0,110158	-0,614445	-0,689591
Таллий Tl (Z = -81)				
1	-0,270097	-0,765303	0,295439	0,429331
2	0,013545	-0,107983	-0,615857	-0,696589
Висмут Bi (Z = -83)				
1	-0,270256	-0,768231	-0,302948	0,424766
2	0,014573	-0,103852	-0,618930	-0,710595
Полоний Po (Z = -84)				
1	-0,270318	-0,769549	-0,306421	0,422611
2	0,015065	-0,101891	-0,620593	-0,717614
Астат At (Z = -85)				
1	-0,270368	-0,770774	-0,309702	0,420557
2	0,015543	-0,099997	-0,622342	-0,724651
Радон Rn (Z = -86)				
1	-0,270409	-0,77191	-0,312792	0,418611
2	0,016008	-0,098168	-0,624179	-0,731711
Франций Fr (Z = -87)				
1	-0,270439	-0,772960	-0,315689	0,416784
2	0,016460	-0,096402	-0,626104	-0,738799
Радий Ra (Z = 88)				
1	-0,270462	-0,773928	-0,318391	0,415084
2	0,016901	-0,094696	-0,628118	-0,745920
Актиний Ac (Z = 89)				
1	-0,270476	-0,774817	-0,320898	0,413521
2	0,017330	-0,093049	-0,630221	-0,753078
Протактиний Pa (Z = 91)				
1	-0,270484	-0,776371	-0,325324	0,410838
2	0,018157	-0,089921	-0,634699	-0,767529

В таблице 2 приведены значения усредненной по энергиям и углам относительной ошибки для элементов с $Z = 79-92$.

Таблица 2 – Усредненная по скоростям относительная ошибка

Элемент	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
$\langle ER \rangle, \%$	0,317	0,314	0,311	0,309	0,307	0,305	0,304
Элемент	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U
$\langle ER \rangle, \%$	0,303	0,303	0,3024	0,3025	0,303	0,304	0,305

Наименьшая средняя погрешность для рассмотренного интервала получается для радия ($Z = 88$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кац, П. Б. Сравнение точности вариантов укороченного модифицированного метода LQZ $3a3d$ и $2a4d$ для вольфрама, золота, свинца, тория и урана / П. Б. Кац, А. В. Кудравец // Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 окт. 2022 г. / Белорус. гос. пед. ун-т им. М. Танка ; редкол. С. И. Василец [и др.]. – Минск : БГПУ, 2022.

2. Кац, П. Б. Метод LQZ_S для олова, бария, лантана, церия, празеодима, неодима и прометия / П. Б. Кац, А. В. Кудравец // Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 окт. 2022 г. / Белорус. гос. пед. ун-т им. М. Танка ; редкол. С. И. Василец [и др.]. – Минск : БГПУ, 2022.

УДК 539.171.016

П. Б. КАЦ, Н. И. КУЛИКОВИЧ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**ДВАЖДЫ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД LQZ
ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ С $Z = 51–56$**

Самым эффективным методом аналитического приближения нормированного моттовского сечения рассеяния (НМС), по-видимому, является метод, предложенный в [1] и называемый нами LQZ. Выражение для НМС в этом методе:

$$R(\theta; Z, \beta) = \sum_{j=0}^4 a_j(Z, \beta)(1 - \cos \theta)^{j/2}, \quad a_j(Z, \beta) = \sum_{k=1}^6 d_z(j, k)(\beta - \bar{\beta})^{k-1},$$

$$\bar{\beta} = 0,7181287.$$

В [2] были предложены модификации метода. В дважды модифицированном методе LQZ (LQZ_{m2}) выражение для НМС:

$$R_{LQZ_{m2}}(\theta, Z, E) = 1 + \sum_{j=1}^5 a_j(Z, E)(1 - \cos \theta)^{j/2}, \quad a_j(Z, E) = \sum_{k=1}^6 d_z(j, k)(\beta - \bar{\beta})^{k-1},$$

$$\bar{\beta} = 0,668269.$$

В данной работе вычислены коэффициенты $d_z(j, k)$ для элементов с $Z = 51–56$. Результаты приведены в таблице.

Таблица – Коэффициенты $d_Z(j, k)$ для метода LQZ_{m2}

j/k	1	2	3	4	5	6
Z = 51						
1	0,184844	1,401891	0,024264	-9,482941	9,632215	39,15779
2	1,223774	-1,005892	-5,614829	41,7444	-16,99555	-181,5813
3	-1,799548	-1,732968	14,05959	-47,36984	-25,94774	206,9750
4	0,736982	1,661993	-13,26278	15,57349	52,64058	-58,24960
5	-0,134111	-0,661491	4,105982	0,291385	-20,74530	-7,612690
Z = 52						
1	0,173546	1,389546	0,279721	-9,366487	8,341443	37,97967
2	1,282739	-0,640661	-7,292691	38,39001	-5,648229	-163,2987
3	-1,829134	-2,490243	17,34358	-37,58573	-51,42088	156,0050
4	0,730900	2,252545	-15,84317	6,296889	73,98198	-9,994900
5	-0,130592	-0,832842	4,813923	3,122782	-26,79862	-2,42647
Z = 53						
1	0,161842	1,369058	0,563265	-9,130499	6,812954	36,20609
2	1,339725	-0,228790	-9,103297	34,23008	7,054259	-141,0731
3	-1,851900	-3,325601	20,84009	-26,22104	-79,30169	97,25079
4	0,719308	2,898051	-18,56660	-4,191024	97,04220	44,27878
5	-0,125687	-1,018669	5,556275	6,275701	-33,28313	-38,84990
Z = 54						
1	0,149803	1,340110	0,874198	-8,769273	5,046288	33,81566
2	1,394221	0,230224	-11,03837	29,24510	21,08186	-114,8423
3	-1,866941	-4,238409	24,52919	-13,26084	-109,4901	30,69505
4	0,701591	3,597350	-21,41567	-15,88814	121,7202	104,5212
5	-0,119249	-1,218568	6,327928	9,746632	-40,16657	-56,85530
Z = 55						
1	0,137510	1,302434	1,211531	-8,277871	3,043118	30,79125
2	1,445689	0,736547	-13,08795	23,42119	36,39121	-84,57376
3	-1,873312	-5,227349	28,38791	1,297799	-141,86026	-43,61752
4	0,677112	4,348750	-24,37075	-28,78254	147,8950	170,6318
5	-0,111126	-1,431994	7,123181	13,52931	-47,41132	-76,40096
Z = 56						
1	0,125048	1,255805	1,574000	-7,652071	0,807126	27,11965
2	1,493566	1,290016	-15,24053	16,74981	52,92642	-50,26269
3	-1,870043	-6,290439	32,39044	17,44647	-176,2622	-125,5848
4	0,645223	5,150046	-27,41012	-42,85304	175,4270	242,4636
5	-0,101164	-1,658268	7,935799	17,61488	-54,97477	-97,43213

В [1] для характеристики точности метода введена относительная ошибка ER :

$$ER(Z, \beta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{36} [R_{LQZ}(\theta; Z, \beta) - R_M(\theta; Z, \beta)]^2}{\sum_{i=0}^{36} R_M(\theta; Z, \beta)^2}} \cdot 100\%.$$

На рисунке 1 для $Z = 52, 54$ и 56 приведена ER для LQZ и LQZ_{m2} в зависимости от β :

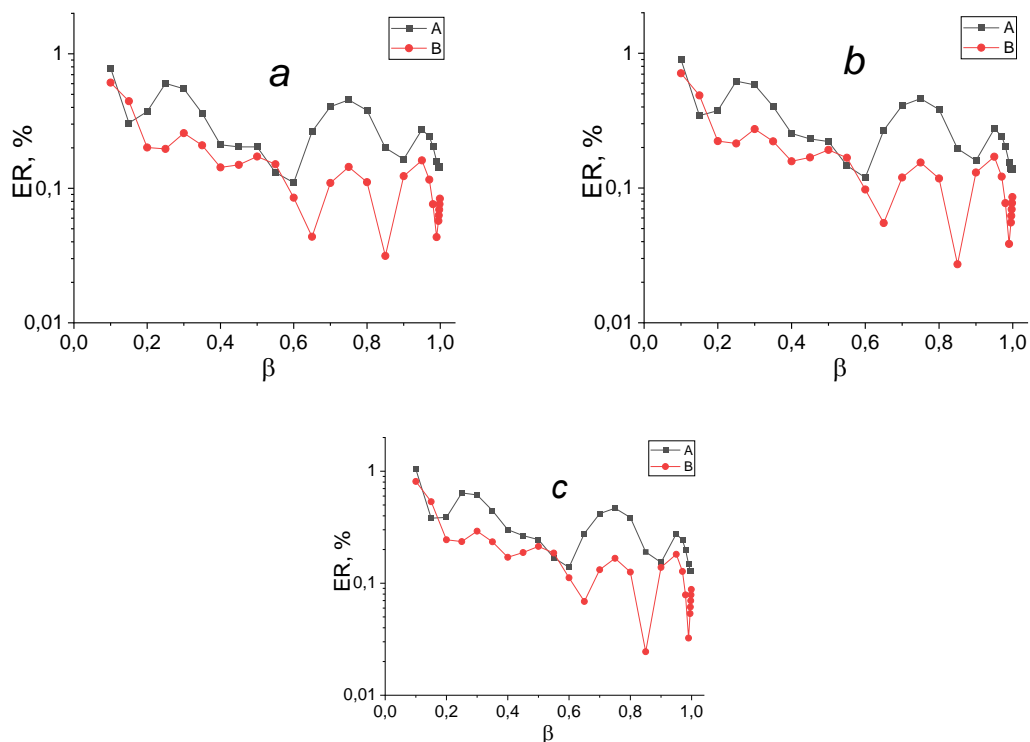


Рисунок 1 – Относительная ошибка ER как функция относительной скорости. А – ER_{LQZ} , В – $ER_{LQZ_{m2}}$ для $Z = 52$ (a), 54 (b), 56 (c)

Для расчета потерь энергии тяжелых ионов в веществе необходимо введение поправки Мотта в формулу Бете – Блоха. На рисунке 2 приводится относительная погрешность поправки Мотта, вычисленной с помощью методов LQZ и LQZ_{m2} для $Z = 56$.

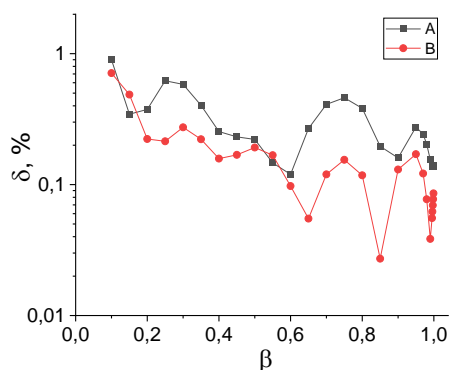


Рисунок 2 – Относительная погрешность поправки Мотта $Z = 56$:
А – LQZ , В – LQZ_{m2}

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lijian, T. Analitic Fitting to the Mott Cross Section of Electrons / T. Lijian, H. Qing, L. Zhengming // Radiat. Phys. Chem. – 1995. – Vol. 45, № 2. – P. 235–245.

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

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

УДК 539.171.016

П. Б. КАЦ, Н. И. КУЛИКОВИЧ, А. С. РИМАШЕВСКАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДВАЖДЫ И ТРИЖДЫ
МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДОВ LQZ
ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ОЛОВА ДО БАРИЯ**

Ранее предложены модификации метода Лиджиана, Кинга и Женгминга LQZ [1]. Наиболее перспективными представляются вторая [2] и третья [3] модификации – LQZ_{m2} и LQZ_{m3}. Для ряда элементов было показано преимущество в точности LQZ_{m2} перед LQZ. Также показано [3], что для Z = 112–118 точность LQZ_{m3} выше LQZ_{m2}.

В предыдущем докладе одного из авторов показано, что для легких элементов точность LQZ_{m3} выше LQZ_{m2} до Z = 6, а при Z = 7–10 средние погрешности примерно равны.

Были вычислены коэффициенты для Z = 51–56 для методов LQZ_{m2} и LQZ_{m3}. Они приводятся в наших материалах выше. Здесь для сравнения точности приведем среднее по 26 скоростям (от 0,1 с до 0,999 с) значение

относительной ошибки $\langle ER \rangle$: $\langle ER \rangle(Z) = \sum_{i=1}^{26} ER(Z, \beta_i)$.

Таблица – Среднее арифметическое значение относительной ошибки

Z	50	51	52	53	54	55	56
$\langle ER \rangle_{LQZ}, \%$	0,269	0,275	0,281	0,287	0,294	0,301	0,309
$\langle ER \rangle_{LQZm2}, \%$	0,139	0,145	0,151	0,158	0,165	0,172	0,179
$\langle ER \rangle_{LQZm3}, \%$	0,221	0,230	0,238	0,247	0,256	0,265	0,274

Для всех рассмотренных элементов с ростом Z погрешность растет. Средняя по скоростям относительная ошибка для модифицированных вариантов метода меньше, чем для обычного метода. Ошибка метода LQZ_{m2} для всех рассмотренных элементов меньше, чем LQZ_{m3} . Представляет интерес определение Z , начиная с которого погрешность LQZ_{m3} становится ниже, чем LQZ_{m2} .

Для скорости $0,999 c$ при $Z = 55$ $ER_{LQZ} = 0,135 \%$, $ER_{LQZ_{m2}} = 0,087 \%$, $ER_{LQZ_{m3}} = 0,151 \%$. На рисунке изображена относительная погрешность по модулю для нормированного моттовского сечения как функция угла рассеяния для $\beta = v/c = 0,999$.

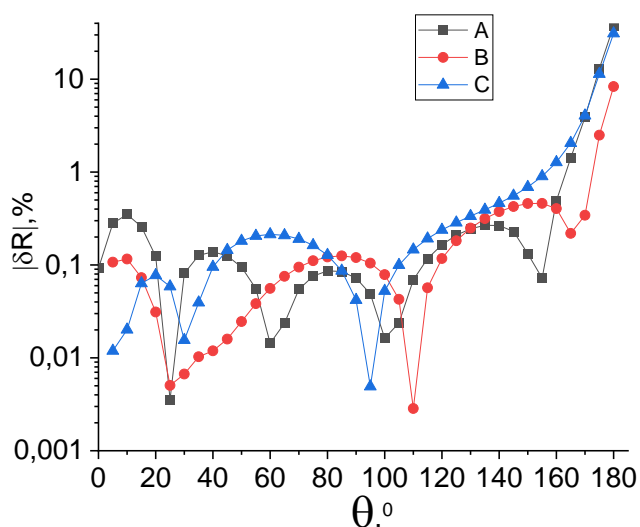


Рисунок – Модуль относительной погрешности нормированного моттовского сечения: А – LQZ, В – LQZ_{m2}, С – LQZ_{m3}

Относительная погрешность НМС для всех методов менее одного процента для углов рассеяния менее 160° . Для больших углов рассеяния погрешность резко растет. Погрешность LQZ_{m2} для рассеяния назад составляет 8 %, LQZ_{m3} 31 % по модулю, а LQZ – 37 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lijian, T. Analytic Fitting to the Mott Cross Section of Electrons / T. Lijian, H. Qing, L. Zhengming // Radiat. Phys. Chem. – 1995. – Vol. 45, № 2. – P. 235–245.
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.
3. Кац, П. Б. Трижды модифицированный метод LQZ для элементов с $Z = 113–118$ / П. Б. Кац, А. С. Римашевская // Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы : материалы Междунар.

науч.-практ. конф., Минск, 20–21 окт. 2022 г. / Белорус. гос. пед. ун-т им. М. Танка ; редкол.: С. И. Василец [и др.]. – Минск : БГПУ, 2022.

УДК 539.171.016

П. Б. КАЦ, А. С. РИМАСШЕВСКАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

МЕТОД LQZ_{m3} ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ С $Z = 50-56$

Рассчитаны коэффициенты $d_z(j,k)$ для метода LQZ_{m3} для элементов с $Z = 50-56$. Значения коэффициентов приведены в таблице.

Таблица – Коэффициенты LQZ_{m3} для $Z = 50-56$

j/k	1	2	3	4	5
$Z = 50$					
1	0,180643	0,919615	1,721643	-1,974342	-4,871394
2	1,131233	2,493203	-9,928032	-2,892591	22,14781
3	-1,308204	-11,47420	4,273350	44,47346	2,11405
4	-0,126805	14,42706	15,20788	-81,96401	-162,1622
5	0,461337	-8,591464	-16,82810	56,38533	138,5037
6	-0,140918	1,883730	4,824262	-13,52002	-36,61043
$Z = 51$					
1	0,177699	0,885799	1,706153	-1,704983	-4,370206
2	1,111641	3,044518	-8,653189	-6,727512	13,09944
3	-1,101043	-12,86031	-1,180591	56,61186	76,60757
4	-0,439818	15,97603	23,15138	-97,39101	-211,2911
5	0,644213	-9,424513	-21,68378	65,12156	168,2961
6	-0,179894	2,052248	5,895728	-15,36109	-43,1409
$Z = 52$					
1	0,175264	0,846721	1,671994	-1,393648	-3,757588
2	1,083092	3,623161	-7,184674	-10,86232	3,025351
3	-0,869480	-14,28178	-7,132460	69,34441	113,6530
4	-0,778096	17,53770	31,60763	-113,2758	-262,9509
5	0,838772	-10,25281	-26,76720	73,98216	199,1310
6	-0,220910	2,217503	7,002512	-17,20352	-49,80837
$Z = 53$					
1	0,173363	0,802614	1,619385	-1,042115	-3,037424
2	1,045539	4,225382	-5,530043	-15,26749	-8,007062
3	-0,614055	-15,72576	-13,54394	82,55995	152,9649
4	-1,140317	19,09467	40,51106	-129,4547	-316,6818
5	1,043995	-11,06581	-32,03232	82,86221	230,6934

Продолжение таблицы

Z = 54					
1	0,172021	0,753785	1,548326	-0,652274	-2,211968
2	0,998976	4,846821	-3,696147	-19,91185	-19,93778
3	-0,335471	-17,17789	-20,37729	96,14257	194,2709
4	-1,524925	20,62778	49,79604	-145,7588	-372,0370
5	1,258712	-11,85202	-37,43296	91,65432	262,6757
Z = 55					
1	0,171367	0,700100	1,459103	-0,225530	-1,291528
2	0,942812	5,485724	-1,695290	-24,76228	-32,63255
3	-0,033193	-18,62978	-27,57423	109,9628	237,0744
4	-1,931615	22,12453	59,36671	-161,9962	-428,2716
5	1,482371	-12,60358	-42,90341	100,2355	294,5885
Z = 56					
1	0,171356	0,642242	1,352046	0,234772	-0,277148
2	0,877502	6,135307	0,463834	-29,77889	-46,04254
3	0,290951	-20,06147	-35,09426	123,8873	281,1430
4	-2,357576	23,55974	69,15689	-177,9832	-485,0020
5	1,713150	-13,30589	-48,39874	108,4930	326,1687

В [1] были рассчитаны коэффициенты для дважды модифицированного метода LQZ. На рисунке изображена зависимость относительной ошибки ER [2] от $\beta = v/c$ для $Z = 50$ для LQZ, LQZ_{m2} и LQZ_{m3}.

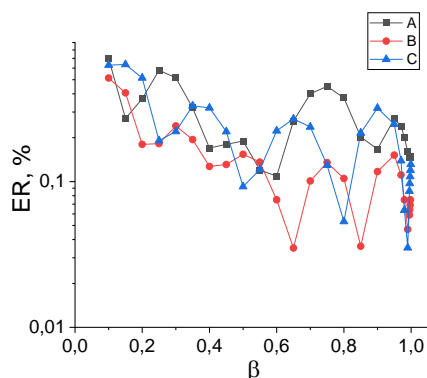


Рисунок – Относительная ошибка ER как функция относительной скорости. А – ER_{LQZ} , В – ER_{LQZm2} , С – ER_{LQZm3} для $Z = 50$

ER_{LQZm3} для многих скоростей выше, чем ER_{LQZ} .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кац, П. Б. Коэффициенты дважды модифицированного метода LQZ для алюминия, меди, олова и свинца / П. Б. Кац, К. А. Мушинская // Современные научные проблемы и вопросы преподавания теоретической и математической физики, физики конденсированных сред и астрономии :

сб. материалов VIII Респ. науч.-практ. конф., Брест, 21 окт. 2021 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. В. Демидчика. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 20–22.

УДК 539.171.016

П. Б. КАЦ, А. С. РИМАШЕВСКАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**ТРИЖДЫ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД LQZ
ДЛЯ ПЕРВЫХ ДЕСЯТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА**

В [1] предложен трижды модифицированный метод LQZ. Для тяжелых элементов ($Z = 112–118$) [2] этот метод приводит в среднем к меньшей погрешности, чем обычный и дважды модифицированный метод LQZ [3].

В данной работе рассчитаны коэффициенты $d_z(j,k)$ для LQZ_{m3} для элементов с $Z = 1–10$. Значения коэффициентов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты LQZ_{m3} для $Z = 1–10$

j/k	1	2	3	4	5
Водород H ($Z = 1$)					
1	0,010876	0,016224	$1,95421 \cdot 10^{-5}$	$-4,58790 \cdot 10^{-6}$	$-2,23417 \cdot 10^{-4}$
2	-0,230605	-0,679717	-0,500007	$1,33562 \cdot 10^{-5}$	$8,58883 \cdot 10^{-4}$
3	$6,98861 \cdot 10^{-4}$	$6,04219 \cdot 10^{-5}$	$3,68814 \cdot 10^{-5}$	$-1,888263 \cdot 10^{-5}$	$-1,44562 \cdot 10^{-3}$
4	$6,12894 \cdot 10^{-4}$	$-1,95008 \cdot 10^{-4}$	$-1,07228 \cdot 10^{-4}$	$1,51043 \cdot 10^{-5}$	$1,34465 \cdot 10^{-3}$
5	$-2,86025 \cdot 10^{-4}$	$1,12055 \cdot 10^{-4}$	$5,30886 \cdot 10^{-5}$	$-6,20566 \cdot 10^{-6}$	$-6,37449 \cdot 10^{-4}$
6	$5,45663 \cdot 10^{-5}$	$-2,40739 \cdot 10^{-5}$	$-1,02446 \cdot 10^{-5}$	$1,06297 \cdot 10^{-6}$	$1,23087 \cdot 10^{-4}$
Гелий He ($Z = 2$)					
1	0,021813	0,032488	$1,71266 \cdot 10^{-4}$	$-4,33722 \cdot 10^{-5}$	$-1,91659 \cdot 10^{-3}$
2	-0,237087	-0,691135	-0,500307	$7,59939 \cdot 10^{-5}$	$6,81422 \cdot 10^{-3}$
3	$-3,08125 \cdot 10^{-3}$	$1,53042 \cdot 10^{-4}$	$5,34974 \cdot 10^{-4}$	$-3,74771 \cdot 10^{-5}$	0,010919
4	$2,76235 \cdot 10^{-3}$	$-6,30022 \cdot 10^{-4}$	$-7,37248 \cdot 10^{-4}$	$-2,41705 \cdot 10^{-5}$	$9,79756 \cdot 10^{-3}$
5	$-1,31243 \cdot 10^{-3}$	$3,45652 \cdot 10^{-4}$	$3,38408 \cdot 10^{-4}$	$3,39633 \cdot 10^{-5}$	$-4,50788 \cdot 10^{-3}$
6	$2,53908 \cdot 10^{-4}$	$-7,18082 \cdot 10^{-5}$	$-6,26977 \cdot 10^{-3}$	$-9,49853 \cdot 10^{-6}$	$8,52613 \cdot 10^{-4}$
Литий Li ($Z = 3$)					
1	0,032786	0,048834	$5,896532 \cdot 10^{-3}$	$-1,33637 \cdot 10^{-4}$	$-6,63521 \cdot 10^{-3}$
2	-0,242634	-0,702653	-0,501082	$-2,80265 \cdot 10^{-5}$	0,021392
3	$-7,30682 \cdot 10^{-3}$	$4,92246 \cdot 10^{-4}$	$1,42628 \cdot 10^{-3}$	$6,44667 \cdot 10^{-4}$	-0,031611
4	$6,58596 \cdot 10^{-3}$	$-1,50151 \cdot 10^{-3}$	$-1,57519 \cdot 10^{-3}$	$-9,96340 \cdot 10^{-4}$	0,026502
5	$-3,14312 \cdot 10^{-3}$	$7,88640 \cdot 10^{-4}$	$6,09639 \cdot 10^{-4}$	$6,25102 \cdot 10^{-4}$	-0,011450
6	$6,10226 \cdot 10^{-4}$	$-1,59430 \cdot 10^{-4}$	$-9,69988 \cdot 10^{-5}$	$-1,40838 \cdot 10^{-4}$	$2,06469 \cdot 10^{-3}$

Продолжение таблицы 1

Бериллий Be (Z = 4)					
1	0,043768	0,065302	$1,32887 \cdot 10^{-3}$	$-1,94633 \cdot 10^{-4}$	-0,015436
2	-0,247155	-0,714368	-0,501859	$-1,17510 \cdot 10^{-3}$	0,043528
3	-0,013509	$1,19304 \cdot 10^{-3}$	$1,05744 \cdot 10^{-3}$	$4,24849 \cdot 10^{-3}$	-0,05545
4	0,012190	$-2,89160 \cdot 10^{-3}$	$-5,14254 \cdot 10^{-4}$	$-5,46446 \cdot 10^{-3}$	0,039763
5	$-5,82442 \cdot 10^{-3}$	$1,46620 \cdot 10^{-3}$	$-3,51578 \cdot 10^{-4}$	$3,17377 \cdot 10^{-3}$	-0,014307
6	$1,13201 \cdot 10^{-3}$	$-2,89993 \cdot 10^{-4}$	$1,50792 \cdot 10^{-4}$	$-6,89445 \cdot 10^{-4}$	$2,16695 \cdot 10^{-3}$
Бор В (Z = 5)					
1	0,054737	0,081921	$2,27144 \cdot 10^{-3}$	$3,76509 \cdot 10^{-5}$	-0,028218
2	-0,250571	-0,726308	0,501113	$-5,25069 \cdot 10^{-3}$	0,064727
3	-0,021777	$2,22609 \cdot 10^{-3}$	$-4,56836 \cdot 10^{-3}$	0,015177	-0,057503
4	0,019630	$-4,72305 \cdot 10^{-3}$	$7,10981 \cdot 10^{-3}$	-0,018335	0,019387
5	$-9,37642 \cdot 10^{-3}$	$2,31816 \cdot 10^{-3}$	$-5,12070 \cdot 10^{-3}$	0,010317	$3,93048 \cdot 10^{-3}$
6	$1,82230 \cdot 10^{-3}$	$-4,48831 \cdot 10^{-4}$	$1,22502 \cdot 10^{-3}$	$-2,20450 \cdot 10^{-3}$	$-2,47419 \cdot 10^{-3}$
Углерод С (Z = 6)					
1	0,065672	0,098709	$3,06448 \cdot 10^{-3}$	$1,05861 \cdot 10^{-3}$	-0,043251
2	-0,252827	-0,738432	-0,496080	-0,015244	0,067549
3	-0,032154	$3,40642 \cdot 10^{-3}$	-0,022053	0,040053	$6,20391 \cdot 10^{-3}$
4	0,028914	$-6,75365 \cdot 10^{-3}$	0,028700	-0,046782	-0,085034
5	-0,013792	$3,19857 \cdot 10^{-3}$	-0,017689	0,025842	0,070785
6	$2,67860 \cdot 10^{-3}$	$-6,03849 \cdot 10^{-4}$	$3,95717 \cdot 10^{-3}$	$-5,46492 \cdot 10^{-3}$	-0,017632
Азот N (Z = 7)					
1	0,076557	0,11567	$3,20158 \cdot 10^{-3}$	$3,59001 \cdot 10^{-3}$	-0,057006
2	-0,253886	-0,750636	0,482843	-0,035027	0,025980
3	-0,044641	$-4,43107 \cdot 10^{-3}$	-0,060206	0,087014	0,196511
4	0,040003	$-8,62674 \cdot 10^{-3}$	0,073828	-0,099336	-0,340752
5	-0,019043	$3,90593 \cdot 10^{-3}$	-0,04311	0,054143	0,222149
6	$3,69412 \cdot 10^{-3}$	$-7,12257 \cdot 10^{-4}$	$9,38583 \cdot 10^{-3}$	-0,011360	0,050728
Кислород О (Z = 8)					
1	0,087379	0,132800	$1,55892 \cdot 10^{-3}$	$8,51356 \cdot 10^{-3}$	-0,064348
2	-0,253726	0,762786	-0,456727	0,068798	-0,092124
3	-0,059216	$4,96089 \cdot 10^{-3}$	-0,128953	0,164244	0,584109
4	0,052839	$9,97048 \cdot 10^{-3}$	0,152884	-0,184116	-0,823151
5	-0,025092	$4,23961 \cdot 10^{-3}$	-0,086729	0,099230	0,497268
6	$4,86051 \cdot 10^{-3}$	$-7,32819 \cdot 10^{-4}$	0,018588	-0,020674	-0,109735
Фтор F (Z = 9)					
1	0,098124	0,150093	$-2,52010 \cdot 10^{-3}$	0,016751	-0,059074
2	-0,252325	-0,774763	-0,412939	-0,120255	-0,320849
3	-0,075859	$4,73731 \cdot 10^{-3}$	-0,237679	0,277941	1,238724
4	0,067374	-0,010534	0,275126	-0,306463	-1,602884
5	-0,031910	$4,07553 \cdot 10^{-3}$	-0,153084	0,163412	0,931518
6	$6,17179 \cdot 10^{-3}$	$-6,41967 \cdot 10^{-4}$	0,032445	-0,033807	-0,201625

Окончание таблицы 1

Неон Ne (Z = 10)					
1	0,108782	0,167546	-0,010107	0,029114	-0,034670
2	-0,249654	-0,786517	-0,347368	-0,191646	-0,690977
3	-0,094585	$3,71162 \cdot 10^{-3}$	-0,393299	0,430043	2,216210
4	0,083610	-0,010336	0,446446	-0,466357	-2,730928
5	-0,039497	$3,44693 \cdot 10^{-3}$	-0,244685	0,245892	1,548169
6	$7,62860 \cdot 10^{-3}$	$-4,50829 \cdot 10^{-4}$	0,051382	-0,050478	-0,330626

В таблице 2 приводится среднее арифметическое значение по 26 скоростям для относительной ошибки $\langle ER \rangle$.

Таблица 2 – Среднее арифметическое значение относительной ошибки

Z	1	2	3	4	5
$\langle ER \rangle_{LQZ}, \%$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$
$\langle ER \rangle_{LQZm2}, \%$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$
$\langle ER \rangle_{LQZm3}, \%$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$4,65 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$
Z	6	7	8	9	10
$\langle ER \rangle_{LQZ(2,4)}, \%$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-2}$
$\langle ER \rangle_{LQZm2}, \%$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$1,92 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$3,87 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
$\langle ER \rangle_{LQZm3}, \%$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,98 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$3,88 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$

Для всех рассмотренных элементов $\langle ER \rangle$ модифицированных методов меньше погрешности LQZ. $\langle ER \rangle_{LQZm3}$ ниже погрешности $\langle ER \rangle_{LQZm2}$ для $Z = 1-6$. Для $Z = 7-10$ погрешности примерно равны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Римашевская, А. С. Трижды модифицированный метод LQZ на примере коперница / А. С. Римашевская // От творческого поиска к профессиональному становлению : материалы Всерос. науч.-практ. студен. конф. / Бузулук. гуманитар.-технол. ин-т (фил.) ОГУ. – Бузулук, 2022. – С. 181–184.

2. Кац, П. Б. Трижды модифицированный метод LQZ для элементов с $Z = 113-118$ / П. Б. Кац, А. С. Римашевская // Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 окт. 2022 г. / Белорус. гос. пед. ун-т им. М. Танка ; редкол. С. И. Василец [и др.]. – Минск : БГПУ, 2022.

3. Куликович, Н. И. Расчет коэффициентов дважды модифицированного метода LQZ для некоторых сверхтяжелых элементов / Н. И. Куликович // Инновационные подходы к обучению физике, математике, информа-

тике : материалы Междунар. студен. науч.-практ. интернет-конф., Минск, 22 апр. 2022 г. / Белорус. гос. пед. ун-т им. М. Танка ; редкол.: С. И. Василец [и др.]. – Минск : БГПУ, 2022. – С. 44–47.

УДК 534.014.2+37.091.321

П. Б. КАЦ, О. А. СЕМЕНЮК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О МЕТОДИКЕ РАССМОТРЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА ПРИ НАЛИЧИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В [1] предложен следующий вывод амплитуды и фазы вынужденных колебаний при наличии силы сопротивления, пропорциональной скорости.

Уравнение движения имеет вид:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 \cos\Omega t, \quad (1)$$

где $2\beta \equiv r/m$, $\omega_0^2 \equiv k/m$, $f_0 \equiv F_0/m$. Решая (1), получаем:

$$x = a_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha) + b \cos(\Omega t + \gamma), \quad \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}. \quad (2)$$

Постоянные b и γ найдем, подставив второе слагаемое (2) в (1) и приравняв коэффициенты при $\cos\Omega t$ и $\sin\Omega t$ в полученном уравнении:

$$b((\omega_0^2 - \Omega^2)\cos\gamma - 2\beta\Omega\sin\gamma) = f_0, \quad b((\Omega^2 - \omega_0^2)\sin\gamma - 2\beta\Omega\cos\gamma) = 0. \quad (3)$$

Отсюда получаем:

$$b = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}}; \quad \operatorname{tg}\gamma = \frac{2\beta\Omega}{\Omega^2 - \omega_0^2}. \quad (4)$$

Для получения системы (3) требуются достаточно громоздкие вычисления. При последующем выводе амплитуды оба уравнения возводятся в квадрат и складываются.

На наш взгляд, более предпочтителен вывод, приведенный в [2]. Проведем его с использованием обозначений, принятых в [1]. Применим замену гармонических функций комплексными функциями:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 e^{i\Omega t}, \quad x_2 = B e^{i\Omega t}. \quad (5)$$

Подставляя x_2 в дифференциальное уравнение, находим

$$B = \frac{f_0}{\omega_0^2 - \Omega^2 + 2i\beta\Omega}, \quad (6)$$

Чтобы избавиться от комплексного числа в знаменателе, домножаем и числитель, и знаменатель на комплексно-сопряженную величину:

$$B = \frac{f_0(\omega_0^2 - \Omega^2 - 2i\beta\Omega)}{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2} = \frac{f_0\sqrt{\omega_0^2 - \Omega^2 + 4\beta^2\Omega^2} e^{i\gamma}}{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2} = \frac{f_0 e^{i\gamma}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2}}.$$

Отсюда получаем (4). Решение с использованием комплексных функций полезно с дидактической точки зрения, так как показывает применение комплексных функций для анализа колебательного движения.

В [3, с. 28] приводится график, изображающий амплитудную резонансную кривую (рисунок). Согласно определению, приведенному в [3], *резонанс – это явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при приближении частоты ω внешней силы... к частоте ω_0 собственных колебаний системы*. Но из рисунка видно, что максимум амплитуды для случая 2 лежит не при ω_0 , а для случая 3 амплитуда вообще непрерывно убывает с ростом частоты вынуждающей силы. При опросе школьных учителей высказывалось предположение о типографском браке.

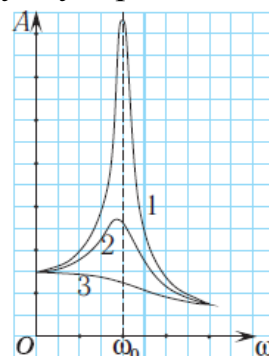


Рисунок 1

Исследовав формулу (4) на экстремум, можно определить, что резонанс наступает при частоте вынуждающей силы

$$\Omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}. \quad (7)$$

Таким образом, с ростом коэффициента затухания β резонансная частота уменьшается. Согласно (7) $\Omega_{рез}$ обращается в 0 при $\beta = \omega_0 / \sqrt{2}$. При этом условии максимальное отклонение от положения равновесия будет иметь место при статической силе F_0 . То же самое будет при больших значениях β . На это полезно обратить внимание при изложении темы в вузе, а также в школе при работе с одаренными учащимися.

Авторы выражают признательность А. М. Кузьмич за предоставление конспекта лекций В. С. Секержицкого.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретическая механика [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для специальности 1-31 04 01-03 «Физика (науч.-пед. деятельность)» / сост. В. С. Секержицкий. – Режим доступа: <https://rep.brsu.by/handle/123456789/525?show=full>. – Дата доступа: 12.10.2022.

2. Матвеев, А. Н. Механика и теория относительности : учеб. для студентов вузов / А. Н. Матвеев. – 3-е изд. – М. : ОНИКС 21 век : Мир и образование, 2003. – 432 с. : ил.

3. Жилко, В. В. Физика : учеб. пособие для 11 кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения (с электрон. прил. для повыш. уровня) / В. В. Жилко, Л. Г. Маркович, А. А. Сокольский. – Минск : Нар. асвета, 2021. – 287 с.

П. Б. КАЦ, О. А. СЕМЕНЮК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О НЕКОТОРЫХ НЕТОЧНОСТЯХ В ШКОЛЬНОМ УЧЕБНИКЕ ПО АСТРОНОМИИ

Рассмотрим некоторые неточности и дискуссионные моменты в школьном учебнике по астрономии [1].

С. 54. Дано значение гравитационной постоянной $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$. Несмотря на два столетия экспериментов, значение G остается наименее точно известной из фундаментальных констант.

Рекомендованное Комитетом данных для науки и техники (CODATA) на 2018 г. значение гравитационной постоянной с той же точностью: $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ [2].

С. 65. *Элементы орбиты искусственных спутников Земли связаны между собой формулой $v_0^2 = GM\left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a}\right)$, где v_0 – начальная скорость спутника, M – масса Земли, r_0 – расстояние точки выхода спутника на орбиту от центра Земли, a – большая полуось орбиты спутника. Формула справедлива для любой точки эллиптической орбиты.*

Последнее предложение трудно понять, так как перед ним указано, что v_0 и r_0 относятся к конкретной точке выхода на орбиту. На самом деле в указанной формуле нет необходимости ставить индекс 0, так как действительно она связывает расстояние от центра Земли и скорость в любой точке орбиты. Действительно, согласно [3, с. 53] полная энергия спутника

на эллиптической орбите $E = -\frac{GMm}{2a}$. По закону сохранения энергии

$E = -\frac{GMm}{2a} = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r}$. Отсюда находится искомая связь скорости и расстояния от центра Земли.

Эксцентриситет орбиты e при горизонтальном запуске спутника равен: $e = 1 - \frac{q}{a}$, где q – расстояние перигея (ближайшей точки орбиты от центра Земли).

Из приведенной фразы можно сделать вывод, что при негоризонтальном запуске спутника связь эксцентриситета, расстояния перигея и большой полуоси орбиты будут другими. Очевидно, что это не так. Просто при горизонтальном запуске спутника точка запуска и будет перигеем.

С. 124. Солнечная постоянная равна 1,37 кВт/м².

Это устаревшие данные. Согласно [4], рекомендуется использовать значение солнечной постоянной 1,361 кВт/м². Как указывается в статье [5], в которой получено данное значение, предыдущие измерения давали завышенное значение из-за отсутствия учета рассеянного света, попадающего в радиометр. Соответственно, светимость Солнца, приводимая в [5], равна $3,83 \cdot 10^{26}$ Вт, а не $3,85 \cdot 10^{26}$ Вт.

С. 128. В среднем Солнце теряет 4 млн тонн водорода в секунду

Оценим потери водорода в Солнце на термоядерный синтез. В результате превращения четырех протонов в ядро гелия выделяется энергия $Q = 26,73$ МэВ. Не вся энергия превращается в энергию электромагнитного излучения, но для оценки можно этим пренебречь. Произведя деление светимости Солнца на энергию одного цикла превращения протонов в гелий, находим число циклов за одну секунду. Умножая это число на 4, находим число протонов, которые превращаются в гелий за одну секунду: $N = 3,58 \cdot 10^{38}$. Умножая на массу одного протона, получаем около 600 млн тонн. Откуда же взялось число 4 млн тонн? Это массовый эквивалент излучаемой в секунду Солнцем энергии.

С. 131. В непрерывном спектре Солнца максимальная энергия излучения приходится на длину волны 480 нм. Тогда по закону смещения Вина

получаем: $T = \frac{0,0029}{\lambda_{\max}}$, откуда $T = 6000$ К.

Записано четыре значащие цифры. Предпочтительней было бы записать $6 \cdot 10^3$ К или 6 тысяч Кельвинов.

С. 146. Задача. Определите размеры звезды Стики (α Девы), если температура ее фотосферы 22 400 К, а светимость в 13 400 раз больше светимости Солнца.

В параграфе перед задачей получена формула $R = \sqrt{L} \left(\frac{T_c}{T}\right)^2$, где L – светимость звезды, выраженная в светимостях Солнца, а R – радиус звезды в радиусах Солнца. Подставляя в формулу $T_c = 6000$ К, получим $R = 8,3$. Но в ответе указано $R = 7,7$. Для получения такого радиуса следует поставить температуру Солнца примерно $5,77 \cdot 10^3$ К. Это и есть эффективная температура Солнца, определяемая из формулы (1) параграфа 23. Но в учебнике этот результат не получен.

С. 191. Если бы масса электрона была в 3 раза больше современной, то время жизни протона было бы малым. При взаимодействии протона с электроном протон распался бы на нейтрон и нейтрино.

Когда говорят про время жизни частицы, обычно имеют в виду изолированную частицу, и непонятно, о каком времени жизни протона идет речь, если дальше пишется про взаимодействие с электроном.

Во-вторых, возникает вопрос, как может протон распасться на нейтрон и нейтрино, если протон легче нейтрона, а в гипотетическом примере тяжелее стал не протон, а электрон.

В данном примере подразумевается захват протоном электрона в атоме водорода. Если бы электрон был в три раза тяжелее, то суммарная масса протона с электроном была бы меньше массы нейтрона с нейтрино, и, захватив электрон, протон превратился бы в нейтрон и нейтрино.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галузо, И. В. *Астрономия : учеб. для 11 кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения (базовый и повыш. уровни) / И. В. Галузо, В. А. Голубев, А. А. Шимбалев. – Минск : Нар. асвета, 2021. – 207 с. : ил.*

2. *Newtonian constant of gravitation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg>. – Date of access: 24.08.2022.*

3. Ландау, Л. Д. *Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов. В 10 т. Т. 1. Механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 224 с.*

4. *RESOLUTION B1 The IAU Strategic Plan 2010-2020: Astronomy for Development [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2015_English.pdf. – Date of access: 24.08.2022.*

5. Kopp, G. *A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance / G. Kopp, J. L. Lean // GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS. – 2011. – Vol. 38, L01706. – P. 1–7.*

УДК 37.016:52+52-235

П. Б. КАЦ, О. А. СЕМЕНЮК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ПРЕДЛАГАЕТСЯ НОВАЯ ЗАДАЧА НА ДВИЖЕНИЕ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОЛЕ

В [1, з. 1.265] приводится задача: *Какую скорость в горизонтальном направлении нужно сообщить ракете на полюсе Земли, чтобы вывести ее на эллиптическую орбиту с большой полуосью a ? Радиус Земли R .*

Эта задача решается со студентами в теме «Движение в центральном поле». Можно в данной теме предложить более сложную задачу, основанную на реальных астрономических данных [2]: *Звезда S4714 вращается вокруг массивной черной дыры в центре Галактики с периодом обращения 12,0 лет. Эксцентриситет орбиты 0,985. Перигеиум орбиты – 12,6 астрономических единиц. Во сколько раз масса черной дыры больше массы Солнца. Какую скорость имеет звезда в перигеиум орбиты? При решении задачи принять массу Солнца равной $1,9885 \cdot 10^{30}$ кг, гравитационную постоянную: $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$.*

Приведем решение задачи.

Период обращения тела m по эллиптической орбите под действием ньютоновской силы тяготения тела массой $M \gg m$:

$$T = 2\pi \frac{a^{3/2}}{\sqrt{GM}}. \quad (1)$$

Отсюда выводится уточненный третий закон Кеплера (в пренебрежении массой легкого тела в системе по сравнению с массой тяжелого):

$$\frac{T_2^2 M_2}{T_1^2 M_1} = \frac{a_2^3}{a_1^3}. \quad (2)$$

Отсюда масса черной дыры

$$M_{bh} = M_c \frac{a_{S4714}^3}{a_3^3} \frac{T_3^2}{T_{S4714}^2}, \quad (3)$$

где M_c – масса Солнца, a_3 , a_{S4714} – большие полуоси орбит Земли и звезды S4714.

Большую полуось звезды S4714 можно найти по формуле

$$a_{S4714} = \frac{r_{\min S4714}}{1-e} = 840(a.e.) \quad (4)$$

Отсюда

$$M_{bh} = 4,116 \cdot 10^6 M_c. \quad (5)$$

Скорость звезды в перицентре можно найти из закона сохранения энергии:

$$E = -\frac{GMm}{2a} = \frac{mv_{\max}^2}{2} - \frac{GMm}{r_{\min}}. \quad (6)$$

Отсюда, учитывая (4)

$$\begin{aligned} v_{\max} &= \sqrt{-\frac{GM}{a} + \frac{2GM}{r_{\min}}} = \sqrt{-\frac{GM}{a} + \frac{2GM}{r_{\min}}} = \\ &= \sqrt{-\frac{GM(1-e)}{r_{\min}} + \frac{2GM}{r_{\min}}} = \sqrt{\frac{GM(1+e)}{r_{\min}}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Подставляя найденную массу черной дыры, находим максимальную скорость: $v_{\max} = 24,0 \cdot 10^3$ км/с.

Такая задача может вызвать интерес у студентов, так как связана с такими экзотическими объектами, как черные дыры, которые часто фигурируют в научной фантастике. В задаче показано, что черные дыры – вполне наблюдаемая реальность даже в нашей Галактике.

Звезда S4714 известна как самая быстрая звезда в Галактике [3]. Легко видеть, что ее скорость достигает 8 % от скорости света в вакууме. Полезно сравнить эту скорость со скоростью Земли при движении вокруг Солнца (30 км/с) и скоростью движения Солнца в Галактике 220–250 км/с [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие / И. Е. Иродов. – 2-е изд., перераб. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 416 с.
2. S62 and S4711: Indications of a Population of Faint Fast-moving Stars inside the S2 Orbit–S4711 on a 7.6 yr Orbit around Sgr A* / F. Peißker [et al.] // The Astrophysical Journal. – 2020. – Vol. 899:50. – 19 p.
3. Fastest star in Milky Way powered by supermassive black hole at center of galaxy [Electronic resource]. – Mode of acces: <https://www.rtt.com/news/497934-fastest-star-milky-way/>. – Date of access: 20.08.2022.
4. Солнечная система. Солнце [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1179964/node18.html#:~:text=Скорость%20это%20го%20движения%20около%2016,движениям%20и%20лучевым%20скоростям%20звезд.> – Дата доступа: 21.08.2022.

УДК 378.147:51

В. В. КИРИЧУК, Н. Н. СЕНДЕР

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ. ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ

Рассмотрим контур, в котором последовательно с индуктивностью включено сопротивление R (рисунок 1).

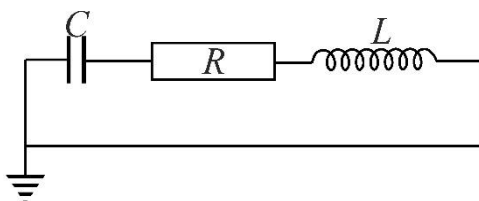


Рисунок 1

Если решать эту задачу при помощи приближенного расчета, мы заметим, что в этом приближенном решении не удовлетворяется соотношение $I = C \frac{d\varphi}{dt}$, хотя оно выполняется тем точнее, чем меньше R . Постараемся теперь решить задачу точно. Для схемы (рисунок 1) имеем соотношение $\varphi + \varphi_R + \varphi_L = 0$, откуда

$$\varphi + RI + L \frac{dI}{dt} = 0, \quad (1)$$

причем $I = C \frac{d\varphi}{dt}$. Подставляя в (1) выражение для I и $\frac{dI}{dt}$, находим

$$LC \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\varphi - RC \frac{d\varphi}{dt}. \quad (2)$$

Будем искать решение уравнения (2) в том же виде, которое получается в приближенном рассмотрении, т. е.

$$\varphi = Ae^{-\lambda t} \cos \omega t, \quad (3)$$

где λ , ω , A – постоянные числа, которые надо определить. Выражения для φ и его производных подставим в уравнение (2) и сократим все члены на общий множитель $Ae^{-\lambda t}$. Получим

$$LC\lambda^2 \cos \omega t + 2LC\lambda\omega \sin \omega t - LC\omega^2 \cos \omega t = -\cos \omega t + RC\lambda \cos \omega t + RC\omega \sin \omega t.$$

Для того чтобы это равенство имело место при любом t , необходимо, чтобы были равны справа и слева коэффициенты при $\cos \omega t$ и при $\sin \omega t$ в отдельности:

$$LC\lambda^2 - LC\omega^2 = RC\lambda - 1, \quad (4)$$

$$2LC\lambda\omega = RC\omega. \quad (5)$$

Условие (5) дает $\lambda = \frac{R}{2L}$, после чего из (4) получаем

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \quad (6)$$

Постоянная A из уравнения (2) не определилась. Величина этой постоянной определяется из начального условия: при $t = 0$ $\varphi = \varphi_0$. Наконец, зная $\varphi(t)$, легко найдем $I = C \frac{d\varphi}{dt}$. Получим

$$I = -CAe^{-\lambda t} (\omega \sin \omega t + \lambda \cos \omega t). \quad (7)$$

Сравнивая точное решение с приближенным, $I = \sqrt{\frac{2W_0}{L}} e^{-Rt/(2L)} \sin(\omega t + \pi)$. отметим следующее:

1) в приближенном рассмотрении задачи мы правильно определили число λ , характеризующее скорость затухания колебаний. Однако приближенное решение не дает зависимости частоты ω от величины сопротивления R ;

2) формула для тока несколько отличается от той, которая была получена приближенно.

Точно таким же способом можно показать, что уравнение (2) имеет еще одно решение

$$\varphi = Be^{-\lambda t} \sin \omega t, \quad (8)$$

причем ω и λ те же самые. Соответствующая сила тока равна

$$I = CBe^{-\lambda t} (\omega \cos \omega t - \lambda \sin \omega t). \quad (9)$$

Сумма решений (3) и (8) также является решением уравнения (2). Только при помощи этой суммы можно решить общую задачу – найти

решение уравнения (2) с начальным условием при $t = 0$ $\varphi = \varphi_0$, $I = I_0$. Действительно, тогда для коэффициентов A и B получаем уравнение $\varphi_0 = A$, $I_0 = CA\lambda - CB\omega$, откуда $A = \varphi_0$, $B = \frac{C\lambda\varphi_0 - I_0}{C\omega}$.

УДК 378:001.891

А. Д. КОРОЛЮК, О. А. КОТЛОВСКИЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ В ШКОЛЕ

Цифровые технологии в обучении физике – это новое качество физического образования. Это не просто элемент структуры современного процесса обучения физике, а требование ускоряющейся цифровизации общества. Учитель физики обязан опережать своих учеников в умениях и навыках использования информационных технологий. Программное обеспечение постоянно совершенствуется, появляются новые гаджеты. Цифровые технологии дают огромные возможности для совершенствования процесса преподавания физики. Цифровые технологии в изучении физики нельзя рассматривать только в аспекте подготовки презентаций, создания электронных дидактических материалов. Возможности намного шире: под каждую образовательную, развивающую и воспитательную задачу – свой педагогический инструментарий, метод обучения. Использование компьютеров и других цифровых устройств, вплоть до смартфона, существенно обогащает арсенал методов и средств обучения физике. С их помощью можно осуществлять текущий контроль учебной деятельности учащихся и влиять на степень усвоения знаний, осуществлять индивидуальный подход в обучении, что, как известно, затруднено при использовании классно-урочной системы. При изучении физики компьютер расширяет возможности демонстрационного физического эксперимента: наблюдение быстропротекающих процессов, моделирование физических процессов и явлений, которые невозможно получить при помощи оборудования кабинета физики. Это позволяет ученику прикоснуться к настоящим научным исследованиям, а учителю реализовать дидактический принцип научности при обучении физике. Использование цифровых технологий несомненно повышает познавательный интерес к физике.

При цифровизации процесса преподавания физики необходимо руководствоваться следующими целями: формирование у учащихся прочных

знаний основ современной физики; формирование у учащихся научного мировоззрения, развитие познавательных способностей, развитие мышления, мотивация учащихся к изучению физики через интерактивные исследования физических явлений и процессов, а также посредством включения занимательных и игровых компонент.

УДК 378:001.891

О. А. КОТЛОВСКИЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

НЕКОТОРЫЕ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Анализ теории и практики организации процесса обучения физике в учреждениях среднего общего образования показывает, что одним из основных факторов, определяющих актуальные проблемы методики преподавания физики, является школьный физический эксперимент. За последние десять лет в республике было централизованно обновлено оборудование кабинетов физики. Все фронтальные лабораторные работы (учебный физический эксперимент), предусмотренные учебными программами и описанные в учебных пособиях по физике 7–11 классов, выполняются при помощи современных приборов и демонстрационных установок. Что касается предусмотренного учебными программами демонстрационного физического эксперимента, который использует учитель физики в качестве наглядности при объяснении нового материала, то здесь выявляется существенная проблема. Демонстрационный физический эксперимент в основном остался на уровне 50-летней давности. Это касается как средств обучения (приборов и установок), так и методик его применения. В республике нет производителей учебной техники для демонстрационного физического эксперимента с полностью разработанной методикой его применения, что затрудняет централизованное обновление оборудования в школах. Несколько исправить данное положение позволит широкое использование цифровых технологий, компьютерное моделирование физических процессов и опытов. В настоящее время разработано и доступно к использованию большое количество электронных средств обучения физике, всевозможных компьютерных моделей физических явлений. Большая роль здесь принадлежит и самостоятельной работе учителя физики, его совместной деятельности с учащимися в данном направлении. Чтобы создавать физические модели, проводить расчеты, строить графики

для реальных физических процессов, нет необходимости в дорогостоящем программном обеспечении. Привлечение для процесса объяснения материала доступных современных компьютерных технологий, таких как приложения Excel, Maple, VisualStudio и мн. др., позволяет сделать процесс обучения более наглядным и эффективным и реализовать межпредметные связи физики с математикой и информатикой.

УДК 530.10

О. А. КОТОВИЧ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ
НА ОСНОВЕ Bi И Sb**

Многокомпонентные твердые растворы на основе халькогенидов висмута и сурьмы $(\text{Bi}, \text{Sb})_2(\text{Te}, \text{Se}, \text{S})_3$ с замещениями атомов ($\text{Sb} \rightarrow \text{Bi}$ и $\text{Se}, \text{S} \rightarrow \text{Te}$) в катионной и анионной подрешетках Bi_2Te_3 , являются высокоэффективными термоэлектрическими материалами. Характер зависимостей эффективной массы m/m_0 определяется изменениями отношений компонентов тензора эффективных масс m_i/m_j и связан с различной анизотропией поверхности постоянной энергии твердых растворов. На величину m/m_0 также оказывает влияние изменение процесса рассеяния носителей заряда, поскольку рассматриваемые материалы с низкими концентрациями электронов относятся к той области, где начинается заполнение дополнительной зоны в зоне проводимости твердых растворов на основе Bi_2Te_3 , в то время как при высоких концентрациях дополнительная зона уже заполнена. Исследование гальваномагнитных свойств позволяет выяснить параметры поверхности постоянной энергии, представляет интерес для выяснения причин, способствующих повышению термоэлектрической эффективности твердых растворов $n\text{-Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$. При уменьшении коэффициента термоэдс, т. е. увеличении концентрации электронов в твердом растворе, наблюдается снижение величин ρ_{ijkl} и ослабление зависимости $\rho_{ijkl}(H)$. В области магнитных полей < 10 кОе зависимости ГМК от H в твердых растворах $n\text{-Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$ более резкие и похожи на аналогичные зависимости, которые наблюдаются в сплавах $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$, однако в рассматриваемых материалах изменения ГМК в магнитном поле более слабые. Характер магнитополевых зависимостей ГМК в кристаллах Bi–Sb обусловлен сложной зонной структурой и участием в явлениях переноса

электронов и дырок L-экстремумов, а также дырок T-экстремумов. Такое объяснение магнитополевых зависимостей ГМК может быть применимо и для материалов на основе Bi_2Te_3 .

Таким образом, в результате исследований гальваномагнитных и термоэлектрических свойств показано, что изменение анизотропии поверхности постоянной энергии оказывает влияние на термоэлектрическую эффективность в твердых растворах $n\text{-Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y-z}\text{Se}_y\text{S}_z$ в зависимости от концентрации носителей заряда, состава и температуры.

УДК 378.147:51

О. А. КОТОВИЧ, Н. Н. СЕНДЕР

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Рассмотрим включенные последовательно в цепь переменного тока сопротивление, индуктивность и емкость (рисунок 1).

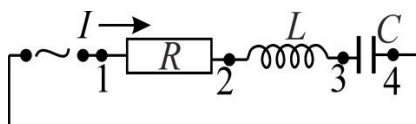


Рисунок 1

Очевидно, что в этой системе ток, идущий через R , L , C , одинаков. Запишем его в виде

$$I = I_0 \cos(\omega t + \alpha). \quad (1)$$

Разность потенциалов в цепи $\varphi = \varphi_1 - \varphi_4 = \varphi_R + \varphi_L + \varphi_C$.

Используя формулы для переменного тока

$$\begin{aligned} \varphi_R &= RI = RI_0 \cos(\omega t + \alpha), \quad \varphi_L = \varphi_2 \cos(\omega t + \alpha_2), \\ \varphi_C &= \frac{1}{C} \int Idt = \frac{1}{C} \int I_0 \cos(\omega t + \alpha) dt = \frac{I_0}{C\omega} \sin(\omega t + \alpha), \end{aligned}$$

получим

$$\begin{aligned}\varphi &= RI_0 \cos(\omega t + \alpha) - L\omega I_0 \sin(\omega t + \alpha) + \frac{I_0}{C\omega} \sin(\omega t + \alpha) = \\ &= RI_0 \cos(\omega t + \alpha) + I_0 \left(\frac{1}{C\omega} - L\omega \right) \sin(\omega t + \alpha)\end{aligned}\quad (2)$$

Из этой формулы видно, что разности потенциалов на индуктивности и на емкости имеют разные знаки, благодаря чему коэффициент при $\sin(\omega t + \alpha)$ есть разность двух членов. Запишем φ в виде

$$\varphi = b \cos(\omega t + \alpha + \beta). \quad (3)$$

Тогда b есть амплитуда разности потенциалов, т. е. наибольшее значение разности потенциалов (напряжения). Для того чтобы найти b , перепишем (3) так: $\varphi = b \cos \beta \cos(\omega t + \alpha) - b \sin \beta \sin(\omega t + \alpha)$.

Сравнивая последнее выражение с (2), находим:

$$b \cos \beta = RI_0, \quad b \sin \beta = I_0 \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right). \quad (4)$$

Возводя равенства (4) в квадрат и складывая, получим $b^2 = R^2 I_0^2 + I_0^2 \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2$, откуда

$$b = I_0 \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что при данном значении амплитуды тока I_0 амплитуда напряжения b минимальна, при

$$L\omega = \frac{1}{C\omega}. \quad (6)$$

Записав (5) в виде $I_0 = \frac{b}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}}$, видим, что при данном

значении амплитуды напряжения амплитуда тока максимальна, если

выполнено условие (6). Условие (6) можно записать так: $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Но это есть как раз собственная частота контура с данными L , C . Поэтому условие (6) есть условие резонанса, условие совпадения собственной частоты контура с частотой того переменного тока, который мы подаем. Отметим, что при резонансе напряжение в цепи равно

$$\varphi = RI_0 \cos(\omega t + \alpha). \quad (7)$$

Пользуясь (1), находим, что при резонансе

$$\varphi = RI. \quad (8)$$

УДК 378.14.015.62

Т. Л. КУШНЕР, Л. А. ВЕЛИЧКО

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ОБ ОДНОМ ИЗ АСПЕКТОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

В условиях экономических и социальных трансформаций современные глобальные изменения ставят перед Республикой Беларусь новые задачи. Одной из них является повышение национальной конкурентоспособности, придание большей устойчивости государству, которому, несомненно, необходимы образованные, компетентные личности, способные самостоятельно принимать ответственные решения. Для подготовки людей с такими качествами требуется трансформация национальной системы образования, которая отражена в новой редакции Кодекса Республики Беларусь об образовании (далее – Кодекс) [1]. Не имея цели проанализировать все изменения, обратим внимание лишь на одно – введение процедуры текущей аттестации обучающихся.

В предыдущей редакции Кодекса к текущей аттестации относились зачет (дифференцированный зачет), экзамен. В новой редакции Кодекса термин «текущая аттестация» заменен на термин «промежуточная аттестация». Промежуточная аттестация студентов проводится в целях оценки результатов их учебной деятельности за семестр по учебной дисциплине. Текущая аттестация обучающихся проводится в течение семестра в целях периодического контроля и оценки результатов их учебной деятельности по учебной дисциплине.

Отметим, что в учреждении образования «Брестский государственный технический университет» несколько лет назад в учебный процесс были введены внутрисеместровые аттестации, что явилось одним из аспектов повышения качества образования. В течение семестра проводится, как правило, две таких аттестации. Сроки проведения аттестаций утверждаются распоряжением ректора. Дисциплины, по которым будут проводиться аттестации, академические группы, подлежащие аттестации, определяют деканаты соответствующих факультетов. В университете действует Положение о внутрисеместровой аттестации студентов БрГТУ от 31.01.2019 № 11. Согласно этому документу, внутрисеместровая аттестация призвана проверить уровень усвоения учебного материала студентами, сформировать у них умение планировать самостоятельную работу, превентивно выявить неуспевающих студентов для принятия мер по повышению качества образовательного процесса в университете.

Положение позволяет кафедрам устанавливать собственный регламент проведения аттестации при условии, что последний будет утвержден на заседании кафедры, включен в учебные программы по соответствующим дисциплинам и доведен до сведения обучающихся. На кафедре физики БрГТУ внутрисеместровые аттестационные оценки, как правило, выставляются по результатам рейтингового контроля учебной деятельности студентов в течение соответствующего этапа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об изменении Кодекса Республики Беларусь об образовании [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 14 янв. 2022 г., № 154-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://kodeksy-by.com/kodeks_ob_obrazovanii. – Дата доступа: 13.10.2022.

УДК 537.312:538.245

И. И. МАКОЕД, И. А. БАРТОШУК, Д. Н. ГОРБАЧИК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КАТИОНЗАМЕЩЕННОГО ФЕРРИТА ВИСМУТА

Компьютерное моделирование как составная часть и инструмент компьютерного обучения содержит в себе потенциальные возможности повышения эффективности изучения физических основ оптических явлений

в курсах общей физики и специальных дисциплин вуза. Использование компьютерных моделей различных физических процессов и явлений способствует росту эффективности обучения, позволяет более глубоко понять механизмы физических явлений, в том числе и таких, непосредственное наблюдение которых оказывается невозможным по ряду объективных причин [1]. В данной работе вычислительный компьютерный эксперимент был использован для изучения и моделирования диэлектрических функций мультиферроиков, синтезированных на основе феррита висмута, допированного катионами редкоземельных элементов $\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{FeO}_3$ ($\text{R} = \text{La} - \text{Lu}$) [2]. Целью работы является установление закономерностей в изменении диэлектрических и оптических функций образцов катионзамещенного феррита висмута на основании результатов экспериментального исследования и компьютерного моделирования.

Экспериментально исследованы структурные и диэлектрические свойства образцов. Дисперсионный анализ и осцилляторное моделирование с помощью программного обеспечения Reffit [3] были применены для изучения компонент комплексной диэлектрической проницаемости с целью нахождения резонансных частот, сил осцилляторов и коэффициентов затуханий. По методу Крамерса – Кронига восстановлены спектры компонент диэлектрической проницаемости. Исследованы зависимости спектров коэффициента отражения, мнимой и действительной компонент диэлектрической функции от типа и концентрации допирующих ионов. Выполнено моделирование диэлектрических функций образцов. Изучено поведение параметров модели в зависимости от типа R-катиона. На полученных в области фундаментального поглощения спектральных зависимостях коэффициентов отражения и спектров действительных компонент комплексной диэлектрической проницаемости выражены электронные резонансы. Рассчитанные спектры отличаются от экспериментальных на величины, меньшие погрешностей эксперимента во всем интервале частот. Проведено сопоставление полученных данных с экспериментальными.

В формировании величины диэлектрической проницаемости в области фундаментального поглощения участвует электронный механизм диэлектрической поляризации, резонансные частоты которого относятся к оптическому диапазону спектра электромагнитных волн. Анализ структурных данных свидетельствует о том, что величины постоянных решеток образцов систематически изменяются из-за эффекта $4f$ -сжатия, однако структурные факторы слабо чувствительны к изменениям состава. Данное обстоятельство дает основание предполагать, что изменения диэлектрических свойств будут в большей степени определяться различием величин поляризуемостей замещающих R-катионов и анионов O^{2-} , чем изменением параметров кристаллических решеток образцов.

Изменение составов образцов в значительной степени влияет на междодрешеточные (R-Bi)-O-(R-Bi) и внутримодрешеточные Fe-O-Fe обменные взаимодействия. Это выражается в уменьшении угла наклона октаэдров и, как следствие, в изменении величины валентного угла Fe – O – Fe. Длины связей (R-Bi) – O и углы Fe – O – Fe увеличиваются с увеличением эффективного радиуса замещающего катиона. Наблюдаемое при этом снижение величины ширины запрещенной зоны обусловлено появлением новых электронных состояний как у потолка валентной зоны, так и в нижней части зоны проводимости. Изменения валентной зоны вызваны гибридизацией $4f$ -состояний редкоземельных элементов с p -состояниями кислорода и висмута. В формировании дна зоны проводимости определяющую роль играют обменные взаимодействия между $3d$ -состояниями железа и $2p$ -состояниями кислорода. Данный тип взаимодействий обладает выраженной структурной зависимостью и связан с изменением величин углов Fe-O-Fe.

Полученные результаты могут быть использованы как при исследовании диэлектрических и оптических свойств катионзамещенного феррита висмута, так и при синтезе новых изоструктурных материалов с заданными физическими свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстик, А. М. Роль компьютерного эксперимента в физическом образовании / А. М. Толстик // Физ. образование в вузах. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 94–102.
- 2 Wu, L. Recent progress in multiferroic materials / L. Wu, Y. Gao, J. Ma // Sci. China Technol. Sci. – 2015. – Vol. 58 (12). – P. 2207–2209.
3. Kuzmenko, A. B. Kramers – Kronig constrained variational analysis of optical spectra / A. B. Kuzmenko // Rev. Sci. Instrum. – 2005. – Vol. 76. – P. 083108-1–083108-9.

УДК 537.312:538.245

И. И. МАКОЕД, Д. Н. ГОРБАЧИК, И. А. БАРТОШУК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОЛЕБАНИЙ РЕШЕТКИ ОРТОФЕРРИТОВ

Компьютерное моделирование как составная часть и инструмент компьютерного обучения содержит в себе потенциальные возможности повышения эффективности изучения физических основ оптических

явлений в курсах общей физики и специальных дисциплин вуза. Использование компьютерных моделей различных физических процессов и явлений способствует росту эффективности обучения, позволяет более глубоко понять механизмы физических явлений, в том числе и таких, непосредственное наблюдение которых оказывается невозможным по ряду объективных причин [1]. Ортоферриты $RFeO_3$ (R = катионы редкоземельных элементов), обладающие набором физических свойств, востребованных в устройствах современной электроники, используют для создания новых функциональных материалов [2]. Данные материалы нашли практическое применение в качестве компонент твердотопливных элементов, газовых сенсоров, каталитических нейтрализаторов, датчиков магнитного поля, устройств записи и хранения информации. В последнее время опубликованы данные, подтверждающие наличие у ортоферритов свойств магнитоэлектриков и мультиферроиков [3–5], в которых сосуществуют электрическая и магнитная упорядоченные структуры, что позволяет создавать на их основе многофункциональные элементы электронных схем. В данной работе вычислительный компьютерный эксперимент был использован для изучения и моделирования диэлектрических функций ортоферритов. Целью работы является установление закономерностей в изменении диэлектрических и оптических функций образцов ортоферритов в области решеточных резонансов на основании результатов экспериментального исследования и компьютерного моделирования.

Экспериментально исследованы диэлектрические и оптические свойства редкоземельных ортоферритов в области решеточных колебаний. Выполнено моделирование диэлектрических функций образцов. Дисперсионный анализ и осцилляторное моделирование с помощью программного обеспечения Reffit [6] были применены для изучения компонент комплексной диэлектрической проницаемости с целью нахождения резонансных частот, сил осцилляторов и коэффициентов затуханий. По методу Крамерса – Кронига восстановлены спектры компонент диэлектрической проницаемости. Исследованы зависимости спектров коэффициента отражения, мнимой и действительной компонент диэлектрической функции от типа и концентрации допирующих ионов. Выполнено моделирование диэлектрических функций образцов. Изучено поведение параметров модели в зависимости от типа R-катиона. На полученных спектральных зависимостях коэффициентов отражения и спектров действительных компонент комплексной диэлектрической проницаемости выражены решеточные резонансы. Рассчитанные спектры отличаются от экспериментальных на величины, меньшие погрешностей эксперимента во всем интервале частот. Проведено сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными. Изучено поведение параметров модели в зависимости

от типа R-катиона. На полученных в инфракрасной области спектральных зависимостях коэффициентов отражения и спектров действительных компонент комплексной диэлектрической проницаемости выражены решеточные резонансы, характеризующие колебательные свойства кристаллических решеток. Результаты анализа оптических свойств образцов показали высокую чувствительность величин резонансных частот решеточных колебаний и их интенсивностей к малым изменениям состава изоструктурных соединений.

Полученные результаты могут быть использованы как при исследовании структурных и диэлектрических свойств ортоферритов, так и при синтезе новых материалов с заданными физическими свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстик, А. М. Роль компьютерного эксперимента в физическом образовании / А. М. Толстик // Физ. образование в вузах. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 94–102.
2. Суздалев, И. П. Многофункциональные наноматериалы / И. П. Суздалев // Успехи химии. – 2009. – Т. 78 (3). – С. 266–301.
3. Wu, L. Recent progress in multiferroic materials / L. Wu, Y. Gao, J. Ma // Sci. China Technol. Sci. – 2015. – Vol. 58 (12). – P. 2207–2209.
4. Room-temperature multiferroicity in CeFeO₃ ceramics / L. Hou [et al.] // J. All. Comp. – 2019. – Vol. 797. – P. 363–369.
5. A comparative study of ultra-low-temperature thermal conductivity of multiferroic orthoferrites RFeO₃ (R = Gd and Dy) / J. Y. Zhao [et al.] // AIP Advances. – 2017. – Vol. 7. – P. 055806-1–055806-7.
6. Kuzmenko, A. B. Kramers – Kronig constrained variational analysis of optical spectra / A. B. Kuzmenko // Rev. Sci. Instrum. – 2005. – Vol. 76. – P. 083108-1–083108-9.

УДК 517.2

С. А. МАРЗАН

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

СОПОСТАВЛЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО И ДРОБНОГО АНАЛИЗА В ПРЕПОДАВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТУДЕНТАМ ФИЗИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Классический анализ предполагает, что интегралы и производные имеют порядки, выражаемые натуральными числами. Между тем поведение целого ряда объектов и процессов, в том числе физических, приводит

к необходимости разрабатывать уточненные математические модели с привлечением анализа нецелых порядков. Последний основан на систематическом использовании понятий производных и интегралов, порядки которых не являются натуральными числами, а могут быть дробными, иррациональными или даже комплексными.

Понятия производной и интеграла нецелых порядков, лежащие в основе дробного исчисления, при первом знакомстве с ними вызывают затруднения, которые препятствуют их широкому использованию в прикладных областях исследований и разработок. Хотя история возникновения и развития дробного исчисления насчитывает уже более трех столетий, его основы не изучаются в курсе математического анализа учреждений высшего образования. Между тем переход от классического математического анализа к его обобщению, которым и является дробное исчисление, может быть достаточно просто изложен с помощью приемов, уже известных в математике [1].

Под факториалом натурального числа k понимают произведение натуральных чисел от 1 до k . Ясной алгебраической интерпретации факториала нецелого (дробного) числа не существует. В то же время обобщением понятия факториала на нецелые числа является гамма-функция Эйлера, которая определяется выражением

$$\Gamma(z) = \int_0^{+\infty} t^{z-1} e^{-t} dt \quad (z > 0).$$

При натуральном k значения $(k-1)!$ и $\Gamma(k)$ связаны равенством $\Gamma(k) = (k-1)!$, используя которое можно обобщить понятие факториала на случай любого нецелого числа z такого, что $z > 0$: $(z-1)! = \Gamma(z)$.

Гамма-функция Эйлера играет фундаментальную роль в дробном математическом анализе. Первоначальное представление об интеграле нецелого порядка можно получить, рассматривая интегральную формулу Коши для многократного интегрирования некоторой функции $\varphi: [a, b] \rightarrow R$:

$$\int_a^x dx \int_a^x dx \dots \int_a^x \varphi(x) dx = \frac{1}{(n-1)!} \int_a^x (x-t)^{n-1} \varphi(t) dt. \quad (1)$$

Заметив, что $(n-1)! = \Gamma(n)$, видим, что правой части (1) можно придать смысл и при нецелых значениях n . Поэтому естественно определить интегрирование нецелого порядка следующим образом.

Пусть $\varphi \in L_1(a, b)$. Интеграл

$$(I_{a+}^{\alpha} \varphi)(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x \frac{\varphi(t)}{(x-t)^{1-\alpha}} dt, \quad x > a,$$

где $\alpha > 0$, называют интегралом Римана – Лиувилля [2] дробного порядка α .

Для функции $f : [a, b] \rightarrow R$ выражение

$$(D_{a+}^{\alpha} f)(x) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dx} \int_a^x \frac{f(t) dt}{(x-t)^{\alpha}}$$

называется дробной производной Римана – Лиувилля [2] порядка α , $0 < \alpha < 1$.

Если α – целое число, то под дробной производной порядка α понимают обычное дифференцирование. Если же α не целое, то естественно ввести производные дробного порядка по формуле

$$D_{a+}^{\alpha} f = \left(\frac{d}{dx} \right)^{[\alpha]} D_{a+}^{\{\alpha\}} f = \left(\frac{d}{dx} \right)^{[\alpha]+1} I_{a+}^{1-\{\alpha\}} f.$$

Формулы целочисленного дифференцирования в большинстве своем допускают обобщение на нецелые порядки дифференцирования, а подстановка в формулы дробного дифференцирования вместо дробных порядков натуральных чисел приводит к известным формулам классического математического анализа.

Ряд свойств интегралов и производных, справедливых для классического анализа, остаются справедливыми и для дробных производных и интегралов.

В настоящее время применение дробного исчисления получает широкое распространение в различных областях науки, техники, естествознания, экономики и других отраслях человеческой деятельности, использующих математические методы и средства математического моделирования. В некоторых случаях можно говорить о проникновении дробных интегралов и производных в фундаментальные законы естествознания.

Например, в 1994 г. шведский математик Вестерлунд предложил обобщение второго закона Ньютона и показал, что закон Гука в теории упругости ($F = kx$), ньютоновская модель вязкой жидкости ($F = kx'$) и второй закон Ньютона ($F = kx''$) могут рассматриваться как частные

случаи более общего соотношения вида $F = kx^{(\alpha)}$, где порядок производной α может быть любым действительным числом.

Не осталась без внимания и теория относительности Эйнштейна и связанный с ней известный «парадокс близнецов». Известному соотношению теории относительности $E = mc^2$ сопоставляется выражение для модели массы, которая является функцией времени: $\frac{d^{-2\alpha}W(t)}{dt^{-2\alpha}} = m(t) \cdot c_0^2$, где

$0 < \alpha < 1$. Таким образом, дополнением к уравнениям теории относительности является, по существу, связь массы с дробным интегралом энергии.

Дробное исчисление коснулось и такой, казалось бы далекой от техники области человеческой деятельности, как экономика и финансы [1]. Дробные версии математических моделей финансовых систем демонстрируют динамическое поведение, которое может хорошо отражать фиксированные точки и периодические и хаотические движения, что дает возможность реализации хаотических и периодических решений и позволяет исследователям по-новому решать задачи устойчивости финансовых систем, исследовать влияние памяти процесса и предсказывать кризисоподобные явления и другие процессы, связанные с функционированием экономических систем.

В последние несколько десятилетий доказана полезность дробного исчисления в различных областях науки, таких как классическая и квантовая физика, теория поля, физика твердого тела, динамика жидкости, турбулентность, общая химия, нелинейная биология, стохастический анализ, нелинейная теория управления, обработка изображений.

Сопоставление классического и дробного анализа в преподавании математического анализа студентам физических специальностей повышает мотивацию студентов на получение математических знаний, необходимых при исследовании реальных физических процессов и решении практических задач.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем / В. В. Васильев, Л. А. Симак. – Киев : НАН Украины, 2008. – 256 с.
2. Самко, С. Г. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения / С. Г. Самко, А. А. Килбас, О. И. Маричев. – Минск : Наука и техника, 1987. – 687 с.

УДК 37.016:539.18

А. С. МИНИЧ, А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

К МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕМЫ «РАЗНОВИДНОСТИ СВЯЗЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ В АТОМАХ»

В курсе физики атома изучается, в частности, вопрос о разновидностях связей электронов в атомах. Ниже предложена соответствующая сравнительная таблица, составленная на основе сведений из [1, с. 114; 2, с. 140–143], которая может быть использована в образовательном процессе при изучении дисциплины «Физика атома» для лучшего усвоения материала.

При этом E_m – энергия магнитного спин-орбитального взаимодействия, E_k – энергия электростатического взаимодействия электронов между собой.

Таблица – Сравнительная характеристика основных видов связи в атомах

Связь	LS	Промежуточная	jj
Где встречается в ярко выраженном виде	В легких и не очень тяжелых атомах	В ряде тяжелых атомов	В некоторых тяжелых атомах
Отношение $ E_m / E_k $	$\ll 1$	~ 1	$\gg 1$
Что складывается векторно на первом этапе	$\vec{L} = \sum_{i=1}^N \vec{l}_i$ $\vec{S} = \sum_{i=1}^N \vec{s}_i$	Нет однозначного ответа	$\vec{j}_i = \vec{l}_i + \vec{s}_i,$ $i = \overline{1, N}$
Как получается результирующий механический момент атома на втором этапе	$\vec{I} = \vec{L} + \vec{S}$	В целом $\vec{I} = \sum_{i=1}^N (\vec{l}_i + \vec{s}_i)$	$\vec{I} = \sum_{i=1}^N \vec{j}_i$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев, И. В. Курс общей физики : учеб. пособие : в 3 т. / И. В. Савельев. – 3-е изд., испр. – М. : Наука, 1987. – Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 320 с.

2. Сивухин, Д. В. Атомная и ядерная физика : учеб. пособие : в 2 ч. / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1986. – Ч. 1 : Атомная физика. – 416 с.

УДК 378.147:51

Н. Н. СЕНДЕР, Д. В. ЧЕСТНЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ И ЕМКОСТИ. РЕЗОНАНС ТОКОВ

Рассмотрим схему (рисунок 1). Сопротивление цепи считаем весьма малым и пренебрегаем им. В этом случае φ_C и φ_L одинаковы и равны напряжению в цепи (т. е. в источнике переменного тока) φ , а ток I складывается из тока I_C , текущего через C , и тока I_L , текущего через L .

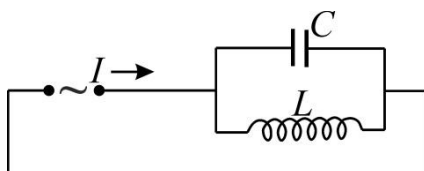


Рисунок 1

Пусть $\varphi_L = \varphi_C = \varphi = \varphi_0 \cos(\omega t + \alpha)$. Пользуясь формулами переменного тока, найдем: $I_C = -C\omega\varphi_0 \sin(\omega t + \alpha)$, $I_L = \frac{\varphi_0}{L\omega} \sin(\omega t + \alpha)$. Поэтому

$$I = I_C + I_L = \varphi_0 \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega \right) \sin(\omega t + \alpha). \quad \text{Отсюда, полагая } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

$$\bar{I} = \bar{\varphi} \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega \right), \quad \text{или } \bar{\varphi} = \frac{\bar{I}}{\frac{1}{L\omega} - C\omega} = \frac{\omega \bar{I}}{C(\omega_0^2 - \omega^2)}.$$

В этом случае также проявляется типичная резонансная зависимость: при данной силе тока \bar{I} напряжение $\bar{\varphi}$ тем больше, чем ближе ω к ω_0 . Легко убедиться, что при ω , близком к ω_0 , \bar{I}_L и \bar{I}_C гораздо больше, чем I цепи, т. е., по существу, в контуре, состоящем из L и C , происходят сильные колебания. При этом достаточно малого внешнего тока для того, чтобы поддерживать гораздо более сильные токи в контуре.

При параллельном соединении, как известно, складываются проводимости, т. е. величины, обратные сопротивлениям:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Проводимости (т. е. отношения тока к разности потенциалов) у емкости и индуктивности имеют противоположный знак и по-разному зависят от частоты. При резонансе ($\omega = \omega_0$) они взаимно уничтожаются и общая проводимость наименьшая, т. е. ток наименьший при данной разности потенциалов, а, следовательно, разность потенциалов φ_{AB} наибольшая при данном токе во внешней цепи.

В упрощенной схеме без сопротивления амплитуда колебаний неограниченно растет при приближении ω к ω_0 . В действительности включенное в схему сопротивление приводит к тому, что амплитуда конечна при $\omega = \omega_0$.

Если включить R параллельно L и C , то все расчеты становятся очень похожими на расчеты колебательного контура в цепи переменного тока при резонансе напряжений. Но этот случай редко встречается в практике. В действительности индуктивность обычно имеет заметное сопротивление, поэтому типичной является схема (рисунок 2).

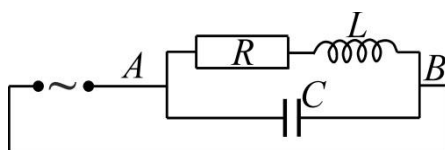


Рисунок 2

В этом случае расчеты несколько более длинны, чем указывалось выше, и мы не будем приводить их в подробностях. Результат расчетов (при ω , близком к ω_0 , и при малом $R/(L\omega)$) дает

$$\frac{\bar{I}_L}{\bar{I}} \approx \frac{\bar{I}_C}{\bar{I}} = \frac{\omega_0^2}{\sqrt{(R\omega/L)^2 + (\omega_0^2 - \omega^2)^2}}.$$

Таким образом, оказывается, что усиление тока при резонансе в цепи с параллельным включением подчиняется тому же закону, что и усиление напряжения при последовательном включении.

УДК 37.016:530.145

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ КВАНТОВЫХ ТЕОРИЙ ПОЛЯ

Учебными программами вузовского курса физики для некоторых физико-математических специальностей предусмотрено, в частности, изучение квантовой теории поля (КТП) [1, с. 300–308; 2]. При изучении данного раздела физики могут быть использованы таблица и блок-схема, составленные на основе сведений из [2, с. 292] и представленные ниже.

Таблица – Сравнение линейных и нелинейных КТП

	Линейные КТП	Нелинейные КТП
Используемые уравнения	Линейные	Нелинейные
Исследуемые поля	Свободные (без взаимодействия и самодействия)	Взаимодействующие и самодействующие

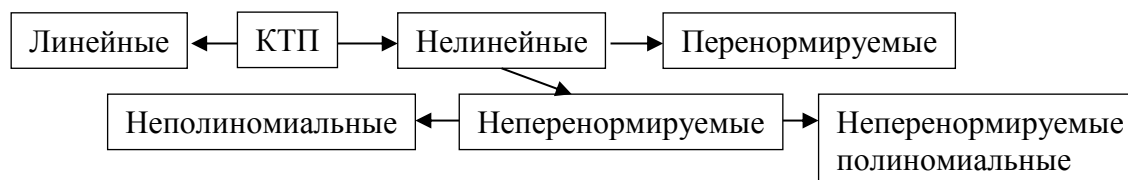


Рисунок – Простейшая классификация квантовых теорий поля

Составление подобных таблиц и схем может быть предложено студентам в качестве самостоятельных творческих заданий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Совет. энцикл., 1990. – Т. 2 : Добротность – Магнитооптика. – 703 с.
2. Райдер, Л. Квантовая теория поля : пер. с англ. / Л. Райдер. – М. : Мир, 1987. – 511 с.
3. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Большая рос. энцикл., 1992. – Т. 3 : Магнитноплазменный – Пойнтинга теорема. – 672 с.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ЦЕФЕИДЫ»

В школьном и вузовском курсах астрономии изучается, в частности, тема «Цефеиды». В связи с этим представляется интересным разбить каждую пульсацию на стадии и сопоставить отдельные стадии между собой. Результаты такого анализа отражены в таблице, составленной на основе сведений из [1, с. 103].

Таблица – Классификационные признаки для объектов Солнечной системы

Стадия	Содержание	Противоположная стадия
1	Частично дважды ионизованный гелиевый слой сжимается, радиус звезды уменьшается	8
2	Происходит частичная рекомбинация ионизованного гелия	6
3	Прозрачность гелиевого слоя уменьшается	9
4	Растет поглощение излучения, уменьшается светимость	10
5	Растет температура оболочки и всей звезды в целом	11
6	Растет степень ионизации гелия	2
7	Повышается давление в гелиевом слое	12
8	Гелиевый слой расширяется, радиус звезды растет	1
9	Прозрачность гелиевого слоя повышается	3
10	Растут потери энергии на излучение, повышается светимость звезды	4
11	Падает температура оболочки и всей звезды в целом	5
12	Уменьшается давление в гелиевом слое	7

После 12-й стадии происходит возврат к первой стадии, т. е. цикл повторяется. Из таблицы видно, что разница между номерами исходной и противоположной стадии не всегда равна 6, т. е. степень симметрии между прямой и обратной последовательностью стадий не является полной.

Таблица может быть использована в образовательном процессе при изучении астрономии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ «ДВИЖЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ТЕЛ» В КУРСЕ АСТРОНОМИИ

Учебной программой по дисциплине «Астрономия» предусмотрено, в частности, изучение темы «Движение искусственных тел» [1, с. 64]. Поскольку эта тема изучается после темы «Законы Кеплера», представляется интересным сравнить случаи, когда упомянутые законы применимы и не применимы для описания движения космических летательных аппаратов (КЛА).

Результаты такого анализа отражены в предложенной таблице. При этом предполагается, что гравитационным возмущением со стороны третьих тел можно пренебречь.

Таблица – Применимость законов Кеплера в различных ситуациях

	Двигатель КЛА включен	Двигатель КЛА выключен
КЛА движется в плотных слоях земной атмосферы	Нет, так как присутствуют силы негравитационного происхождения: а) реактивная; б) вязкого трения в атмосфере	Нет, так как присутствует сила негравитационного происхождения (вязкого трения в атмосфере)
КЛА движется вне плотных слоев земной атмосферы	Нет, так как присутствует сила негравитационного происхождения (реактивная)	Да, так как силы негравитационного происхождения отсутствуют

Таблица может быть использована в образовательном процессе при изучении астрономии.

Таким образом, законы Кеплера могут быть применимы для описания движения космических летательных аппаратов, если можно пренебречь: а) гравитационным возмущением со стороны третьих тел; б) силами негравитационного происхождения.

При этом формулировка законов Кеплера меняется по сравнению с первоначальной следующим образом: вместо Солнца присутствует Земля, а вместо планет – КЛА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.

УДК 37.016:536

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

К МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕМЫ «ИМПУЛЬС ФЕРМИ»

В курсе статистической физики предусмотрено, в частности, изучение темы «Ферми-газы». Важное место в рамках данной темы занимает вопрос о нахождении импульса Ферми p_F при абсолютном нуле температуры [1, с. 198; 2, с. 278]. Процесс нахождения указанной формулы включает ряд подстановок одних выражений в другие, в связи с чем восприятие общей концепции может вызвать затруднения у учащихся при традиционной повествовательной форме изложения. Поэтому в качестве дополнения можно предложить изложение данного материала в виде блок-схемы, представленной ниже на рисунке для случая, когда внешние поля, спиновая поляризация и взаимодействие между частицами отсутствуют.

При этом использованы следующие обозначения: N – количество частиц, V – обычный (координатный) объем системы, n – концентрация частиц, Γ – объем системы в импульсном пространстве, Φ – фазовый объем системы, g – статистический множитель (максимально возможное количество частиц в одной фазовой ячейке), s – спин частиц, a – объем фазовой ячейки, \hbar – постоянная Планка. Тонкие стрелки соответствуют подстановкам, жирные – следствиям.

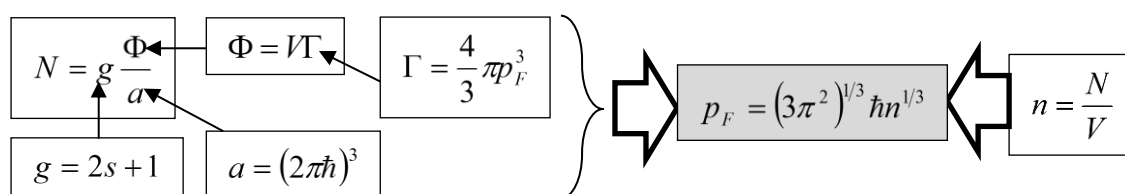


Рисунок – Схема вывода формулы для импульса Ферми

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – Т. 5 : Статистическая физика, ч. 1. – 616 с.

2. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учеб. пособие / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 2000. – 608 с.

УДК 37.016:537.6

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О ВЛИЯНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СОСТОЯНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ

После того как в 1960 г. Ю. А. Бычков решил задачу о связанном состоянии электрона в мелкой потенциальной яме U при наличии внешнего магнитного поля B [1, с. 557–558], представляется интересным (в том числе в образовательных целях) дать сравнительную характеристику соответствующих задач квантовой механики в виде таблицы.

В предложенной таблице затронуты следующие вопросы: А. Симметрия задачи. Б. Наличие связанного состояния. В. Характер движения электрона. Г. Наличие плоской волны в волновой функции.

Таблица – Сравнение разновидностей задач квантовой механики электрона

	$B = 0$	$B \neq 0$
$U = 0$	А. Сферическая. Б. Нет. В. Инфинитное. Г. Да, волновая функция является плоской волной	А. Цилиндрическая. Б. Нет. В. Инфинитное в направлении, параллельном линиям индукции магнитного поля, финитное в перпендикулярной плоскости. Г. Да (в направлении, параллельном линиям индукции магнитного поля)
$U \neq 0$	А. Сферическая. Б. Нет (глубина ямы слишком мала). В. Инфинитное. Г. Да, вместе со сферической волной (с амплитудой и фазой рассеяния)	А. Цилиндрическая. Б. Есть. В. Финитное. Г. Нет, так как есть связанное состояние, а движение во всех направлениях финитное

Таким образом, составная система (когда есть и потенциальная яма, и магнитное поле) приобретает новые свойства, которых в отдельности не было ни у одной из подсистем (появление связанного состояния). Это можно считать примером проявления закона диалектики о переходе количества в качество.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – Т. 3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория). – 808 с.

УДК 37.016:539.1

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О КЛАССИФИКАЦИИ ПОПРАВОК К ФОРМУЛЕ РЕЗЕРФОРДА

Формула Резерфорда (ФР) в «чистом» виде относится к рассеянию частицы на точечном центре без учета спина, причем рассеяние может быть обусловлено не только кулоновским [1, с. 73], но и гравитационным взаимодействием [1, с. 52]. Ниже в таблице 1 дается обзор следующих нерелятивистских поправок к ФР (влияние слабого и гравитационного взаимодействий не учитывается): А. Обменная. Б. Обусловленная ядерным взаимодействием. В. Спиновая к ядерному взаимодействию. Г. Обусловленная взаимодействием собственного магнитного момента (СММ) одной частицы с электрическим полем другой частицы [2, с. 185]. Д. Обусловленная взаимодействием СММ обеих частиц между собой.

Таблица 1 – Наличие поправок к ФР

Частицы	Поправки				
	А	Б	В	Г	Д
αe^-	Нет	Нет	Нет	Да, так как СММ есть у электрона	Нет, так как у α -частицы нет СММ
pe^-	Нет	Нет	Нет	Да, так как СММ есть у обеих частиц	Да
$p\alpha$	Нет	Да	Нет, так как $s_\alpha = 0$	Да, так как СММ есть у протона	Нет, так как у α -частицы нет СММ
$\alpha\alpha$	Да	Да	Нет, так как $s_\alpha = 0$	Нет	Нет, так как у α -частицы нет СММ
e^-e^-	Да	Нет	Нет	Да, так как СММ есть у обеих частиц	Да
pp	Да	Да	да	да, так как СММ есть у обеих частиц	Да

Сведения о других подходах к классификации поправок к ФР отражены в таблицах 2 и 3. Представленные в данной работе таблицы могут быть использованы в образовательном процессе при изучении физики атомного ядра и элементарных частиц, квантовой механики и других дисциплин. Составление подобных таблиц может быть отнесено к самостоятельным творческим заданиям для студентов, поскольку такие задания должны способствовать выработке дисциплинированности и внимательности при работе с научной и учебной литературой.

Таблица 2 – Варианты поправок к ФР с точки зрения спинов частиц и ядерного взаимодействия

Пара частиц с электрическим зарядом (стабильных)	Ядерное взаимодействие (ЯВ) отсутствует	ЯВ есть
Тождественные частицы без спина	<i>Нет примеров</i>	Две α -частицы
Тождественные частицы с полуцелым спином	Два электрона	Два протона
Тождественные частицы с ненулевым целым спином	<i>Нет примеров (пример с двумя заряженными промежуточными векторными бозонами W^\pm неактуален из-за малости времени жизни W^\pm)</i>	Два дейтрона
Нетожественные частицы, обе со спином	Электрон и протон, электрон и дейтрон	Протон и дейтрон
Нетожественные частицы, хотя бы одна без спина	Электрон и альфа-частица	Протон и α -частица

Таблица 3 – Различные подходы к классификации разновидностей ФР и поправок к ней

Признак	Примечания
1. Используемая система отсчета	ФР, записанная в лабораторной системе и в системе центра масс сталкивающихся частиц
2. Относительная скорость частиц	Нерелятивистская и релятивистская ФР
3. Учет влияния ядерного взаимодействия	ФР и ее модификации для сечения рассеяния: а) заряженных лептонов на любых заряженных частицах; б) заряженных адронов на заряженных адронах
4. Учет влияния спинов	ФР и формула Мотта
5. Учет принципа Паули	Формула для сечения рассеяния тождественных фермионов и других частиц
6. Радиационные поправки	Борновские приближения различных порядков [2, с. 584, 587, 590–593]
7. Учет структуры частицы-мишени	ФР без формфактора, ФР с электрическим формфактором, формула Розенблюта для упругого и неупругого рассеяния

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – Т. 1 : Механика. – 224 с.
2. Берестецкий, В. Б. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 2-е изд., перераб. – М. : Наука, 1980. – Т. 4 : Квантовая электродинамика. – 704 с.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О НЕКОТОРЫХ РАЗНОВИДНОСТЯХ ГОДА

В курсе астрономии при изучении вопросов, связанных с календарем и службой времени [1, с. 15–19], основное внимание, как правило, уделяется тропическому году. Поскольку именно он связан со сменой времен года, среднюю продолжительность календарного года стремятся максимально точно приблизить именно к нему. Важное значение имеют также две другие продолжительности года, довольно близкие к тропическому (аномалистический и звездный год). Сравнительная характеристика трех разновидностей года представлена ниже в таблице.

Таблица – Сравнительная характеристика разновидностей года

	Тропический год	Аномалистический год	Звездный (сидерический) год (ЗГ)
Смысл	Промежуток времени (ПВ) между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия (ТВР)	ПВ между двумя последовательными прохождениями Земли через перигелий	ПВ, за который прямое восхождение Солнца изменяется на 2π
Продолжительность	Приблизительно 365,24219 суток	Приблизительно 365,25964 суток	Приблизительно 365,25636 суток
Изменение за 100 лет	Уменьшение на 0,53 с.	Рост на 10 миллисекунд	Рост на 0,263 с.
Причина отличия от ЗГ	Прецессия оси вращения Земли	Смещение перигелия Земли	
Важность вопроса	1) для составления календаря; 2) для уравнивания времени (УВ)	1) для УВ; 2) для задач небесной механики (ЗНМ)	1) для объяснения медленного смещения ТВР относительно «неподвижных» звезд; 2) для ЗНМ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О ПОДХОДАХ К КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

В классификации объектов Солнечной системы (помимо Солнца) можно выделить разные подходы (классификационные признаки). Они сравниваются ниже в таблице (за совместное обсуждение некоторых сведений из этой таблицы автор выражает благодарность П. Б. Кацу).

Таблица – Классификационные признаки для объектов Солнечной системы

Классификационный признак	Классы объектов
Размеры	Планеты, карликовые планеты, малые тела (астероиды и др.)
Иерархический	а) самостоятельные объекты; б) спутники
Состав	Силикатные, ледяные, газовые, смешанные и др.
Траектории	Эллиптические (планеты, спутники, короткопериодические кометы), квазипараболические (долгопериодические кометы), гиперболическая (Оумуамуа)
Гидростатическая устойчивость	а) сферические и квазисферические (планеты, карликовые планеты, крупные спутники); б) неправильные (астероиды и др.)
Наличие плотной атмосферы	а) планеты [1, с. 79] (кроме Меркурия), Титан; б) все остальное

Предложенная таблица может найти применение при изучении астрономии, причем на школьном уровне можно оставить незаполненными ячейки правого столбца (кроме самой верхней) и предложить найти учащимся самостоятельно недостающие сведения; на вузовском уровне можно усложнить задание, предложив студентам подобрать другие классификационные признаки.

Существуют также отдельные (более узкие) классификации для планет (земная группа и гиганты, внешние и внутренние, верхние и нижние), комет (по типу хвостов, по значению периода обращения), астероидов (по принадлежности к определенным поясам и семействам, по параметрам орбиты с точки зрения их соотношения с параметрами орбиты Земли).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.

УДК 536+537.6

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О ПОЛЯРИЗАЦИИ НЕВЫРОЖДЕННОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В электронном газе при любой температуре во внешнем магнитном поле возникает поляризация спинов (и собственных магнитных моментов). Степень такой поляризации в общем случае можно найти по формуле

$$p_{0e} = (N_e^- - N_e^+) / (N_e^- + N_e^+), \quad (1)$$

где N_e^\pm – число электронов со спинами, направленными, соответственно, по направлению и против направления вектора индукции магнитного поля (направления собственных магнитных моментов противоположны). Выражения для N_e^\pm без учета аномального магнитного момента электрона были получены в [1]:

$$N_e^- = A \sum_{n=0}^{\infty} \sqrt{1 + 4n\mu_B B / (m_e c^2)} K_1(v_n), \quad N_e^+ = A \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{1 + 4n\mu_B B / (m_e c^2)} K_1(v_n), \quad (2)$$

$$A = \exp(\chi / (kT)) m_e^2 c \mu_B B V / (\pi^2 \hbar^3), \quad v_n = \sqrt{m_e^2 c^4 + 4n m_e c^2 \mu_B B / (kT)}. \quad (3)$$

При этом χ – химический потенциал, V – объем, B – индукция магнитного поля, m_e – масса электрона, μ_B – магнетон Бора, T – температура, k – постоянная Больцмана, n – номер уровня Ландау, K_1 – функция Бесселя. Подставляя (2) в (1), с учетом (3) получим:

$$p_{0e} = K_1(v_0) / \left(K_1(v_0) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{1 + 4n\mu_B B / (m_e c^2)} K_1(v_n) \right). \quad (4)$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серый, А. И. Об уравнении для химического потенциала идеального невырожденного релятивистского электронного газа в магнитном поле / А. И. Серый // Сверхплотное вещество и интенсивные магнитные поля в астрофизике : сб. материалов фак. науч.-практ. семинара памяти В. С. Секержицкого, Брест, 9 сент. 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Серого. – Брест : БрГУ, 2022. – 39 с. (в печати).

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О РАЗЛИЧИИ МЕЖДУ ТРОПИЧЕСКИМИ И ЗВЕЗДНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ ВРЕМЕНИ В АСТРОНОМИИ

В астрономии различают тропический и сидерический (звездный) периоды времени в случае месяца или года [1, с. 9, 31, 58; 2, р. 258, 414]. Тропический интервал ориентируется на точку весеннего равноденствия (ТВР), а звездный – на «неподвижные» звезды. Различие между тропическим и звездным годами составляет около 20 минут [1, с. 31], а между аналогичными месяцами – около 7 секунд [2, р. 414].

В случае же суток подход к формулировке определений меняется. Например, в [2, р. 344] отмечается, что звездные сутки – это период вращения Земли по отношению к звездам, но формально он определяется как промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями ТВР в заданном месте наблюдения. А в [1, с. 31] первый вариант и вовсе отсутствует, т. е. звездными называются, по сути, тропические сутки. Между тем смещение ТВР относительно звезд приводит к выводу, что должно быть различие между звездными и тропическими сутками, причем определение, связанное со звездами, должно относиться к звездным суткам, а определение, связанное с ТВР, – к тропическим.

Найдем соответствующую разницу. Так как ТВР за время тропического года смещается на $l = 50'',26$ [1, с. 31], а тропический год содержит $n = 366,24219$ суток, называемых в литературе звездными, то за одни такие сутки ТВР должна сместиться на величину $l_0 = l/n \approx 0'',13723$.

На такую величину небесная сфера повернется за промежуток времени $\Delta T = 23^h 56^m 4^s l_0 / 360^\circ \approx 0,009^s$.

Таким образом, разница настолько мала, что различие между двумя типами суток в учебной литературе, как правило, не делается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.
2. Mitton, Jacqueline. The Penguin Dictionary of Astronomy / Jacqueline Mitton. – Penguin Books, 1993. – 432 p.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ СМЫСЛОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОНЯТИЯ «ЗВЕЗДНОЕ ВРЕМЯ В СРЕДНЮЮ ГРИНВИЧСКУЮ ПОЛНОЧЬ» В КУРСЕ АСТРОНОМИИ

В курсе астрономии широко используется такое понятие, как «всемирное звездное время S_0 в среднюю полночь». Во избежание возможных недоразумений следует пояснить значение слова «средняя». Для сравнительного анализа выберем два наиболее часто встречающихся варианта, которые обсуждаются ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение двух вариантов смыслового содержания понятия «звездное время средней полуночи на Гринвичском меридиане»

	Вариант 1	Вариант 2
Смысловое содержание	Звездное время, соответствующее моменту нижней кульминации среднего экваториального Солнца на Гринвичском меридиане	Усредненное (для одних и тех же суток) по годам значение звездного времени (в смысле первого варианта)
Чем вызвана необходимость усреднения	Наблюдаемым движением истинного Солнца по небесной сфере: а) не по небесному экватору; б) с непостоянной скоростью	Разным значением момента наступления средней полуночи (в смысле первого варианта), соответствующего одним и тем же суткам, в разные годы
Первопричина	Наклон земной оси к эклиптике, а также непостоянство скорости движения Земли по эллиптической орбите	Отличие тропического года от календарных (невисокосного и високосного)
Характер усреднения	Первичный	Вторичный
Одинаково ли значение для одних и тех же суток в разные годы	Строго говоря, нет	Да
Пригодность для расчетов	Более точных	Менее точных (с ошибкой до 5 минут)
Примеры источников	[1, с. 84–95]	[2, с. 18]
Характер источников	Справочные таблицы	Учебные пособия

При этом следует отметить, что, например, в [2, с. 18] приводится определение обсуждаемого понятия с точки зрения первого варианта смыслового содержания, а затем приводится таблица значений S_0 , соответствующих избранным дням года, без обсуждения замечаний, указанных в таблице 1 для второго варианта определения (т. е. различие между вариантами не обсуждается, а обозначение S_0 по сути используется и для первого, и для второго вариантов). Но в этом случае у студентов может возникнуть недоумение по поводу необходимости составления таблиц значений S_0 на каждый год. В [3, с. 38] также приводится таблица значений S_0 , но при этом отмечается, что расчеты звездного времени по таким таблицам могут быть выполнены с точностью до 5 минут.

В связи с этим представляется целесообразным ввести различия между определениями и обозначениями для двух вариантов. Эти различия представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Предлагаемые различия между обозначениями и формулировками

	Вариант 1	Вариант 2
Обозначение	S_0	\bar{S}_0 (предлагаемое)
Определение (для различия между вариантами)	Звездное время средней полуночи на Гринвичском меридиане	Усредненное по годам значение звездного времени средней полуночи на Гринвичском меридиане
Широко ли используются обозначение и определения на сегодняшний день	Да	Нет

Предложенные таблицы могут быть использованы при изучении дисциплины «Астрономия» в вузе будущими школьными учителями астрономии (в том числе при выполнении заданий к лабораторным работам, где требуется знать значение всемирного звездного времени в среднюю полночь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астрономический календарь на 2019 год. Вып. 19 (116) / С. М. Пономарев [и др.] ; под ред. С. М. Пономарева. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2018. – 351 с.
2. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.
3. Кононович, Э. В. Общий курс астрономии : учеб. пособие / Э. В. Кононович, В. И. Мороз ; под ред. В. В. Иванова. – Изд. 2-е, испр. – М. : Эдиториал УРСС, 2004. – 544 с.

УДК 37.016:539.125

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБАХ ПРОТОН-ПРОТОННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Исследование протон-протонного взаимодействия имеет важное значение для физики атомного ядра и элементарных частиц, физики высоких энергий. В связи с наличием обширного экспериментального и теоретического материала, накопленного за последние десятилетия, представляется интересным сравнить в виде таблицы, предложенной ниже, особенности взаимодействия между двумя протонами при различных пространственных масштабах, выделенных американским исследователем Дж. Вакером [1].

Таблица – Особенности взаимодействия на разных пространственных масштабах

	Большие расстояния	Ядерные расстояния	Короткие расстояния
Преобладающее взаимодействие	Электромагнитное (за счет электрических зарядов и собственных магнитных моментов)	Сильное (на пион-нуклонном и кварк-глюонном уровне)	Сильное (на кварк-глюонном уровне)
Упругость взаимодействия	Да	Переход к неупругим взаимодействиям	Нет
Роль сильного взаимодействия	Как поправка к электромагнитному (при энергиях порядка 1 МэВ и выше)	Оно преобладает	Оно преобладает
Методы описания сильного взаимодействия	Через поправку к фазе кулоновского рассеяния; методы квантовой хромодинамики (КХД) неудобны	Нет общих подходов, все зависит от деталей спектра частиц. Трудно разрабатывать даже эффективные описания процессов	КХД подходит в наибольшей степени
Структура протона	Не проявляется	Не проявляется	Проявляется

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wacker, Jay. How does QCD explain proton-proton interactions? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.quora.com/How-does-QCD-explain-proton-proton-interactions> – Date of access: 18.07.2022.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О РАЗНОВИДНОСТЯХ ГОДА И МЕСЯЦА В АСТРОНОМИИ

Учебной программой по дисциплине «Астрономия» для специальности «Физика и информатика» предусмотрено изучение тем «Принципы измерения времени» и «Периоды обращения Луны», где затрагиваются вопросы о разновидностях соответственно года и месяца. Различные продолжительности года и месяца имеют похожие названия, поэтому представляет интерес их сравнительная характеристика, предложенная ниже в таблице, составленной на основе сведений из [1, р. 258, 414]. Затрагиваются следующие вопросы: А. Определение. Б. Продолжительность (в сутках).

Таблица – Разновидности года и месяца

	Месяц	Год
Тропический	А. Промежуток времени (ПВ) между двумя последовательными прохождениями (ДПП) центром Луны часового круга точки весеннего равноденствия (ТВР). Б. 27,32158	А. ПВ между ДПП центром Солнца ТВР. Б. 365,24219
Сидерический, звездный	А. Период обращения (ПО) Луны вокруг Земли на фоне «неподвижных» звезд. Б. 27,32166	А. ПО Земли вокруг Солнца на фоне «неподвижных» звезд. Б. 365,25636
Аномалистический	А. ПВ между ДПП Луной перигея. Б. 27,55455	А. ПВ между ДПП Землей перигелия. Б. 365,25964
Драконический	А. ПВ между ДПП Луной одного и того же узла своей орбиты. Б. 27,21222	А. ПВ между ДПП Солнцем одного и того же узла орбиты Луны. Б. 346,62003
Гауссов	А. ПО материальной точки при точном выполнении законов Кеплера (ТВЗК) для эллипса с большой полуосью, равной большой полуоси орбиты Луны (<i>широко не применяется</i>). Б. 27,34412 (<i>можно вычислить на основе третьего закона Кеплера</i>)	А. ПО материальной точки при ТВЗК для эллипса с большой полуосью, равной большой полуоси орбиты Земли. Б. 365,25690
Синодический	А. Период смены фаз Луны. Б. 29,53059	<i>Нет такого понятия</i>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mitton, Jacqueline. The Penguin Dictionary of Astronomy / Jacqueline Mitton – Penguin Books, 1993. – 432 p.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О РАЗНОВИДНОСТЯХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ

В курсе «Технические средства и методы защиты информации» затрагивается, в частности, вопрос о заземлении технических средств. Ниже предложена таблица (составленная на основе сведений из [1, с. 230–231]), в которой сравниваются основные типы заземлений.

Таблица – Сравнительная характеристика основных видов заземлений

Схема	Частоты	Примечания
1. Одноточечная последовательная	Низкие	Недостаток – протекание обратных токов различных цепей по общему участку заземляющей цепи, вследствие чего возможно появление опасных сигналов в посторонних цепях
2. Одноточечная параллельная	Низкие	Нет предыдущего недостатка, но требуется большое число протяженных заземляющих проводников, из-за чего может возникнуть проблема с обеспечением малого сопротивления участков заземления
3. Многоточечная	Высокие	Свободна от указанных выше недостатков, но требует принятия мер для исключения замкнутых контуров
4. Комбинированная (гибридная)	Любые	Требования: 1) есть общий заземлитель, заземляющий кабель, шины и провода, соединяющие заземлитель с объектом; 2) сопротивление заземляющих проводников, земляных шин – минимальные; 3) каждый заземленный элемент присоединен к заземлителю при помощи отдельного ответвления; 4) нет замкнутых контуров; 5) нет использования общих проводников в системе экранируемых заземлений, защитных заземлений и сигнальных цепей; 6) сопротивление контактов минимальное (лучше пайка); 7) контактные соединения исключают возможность образования оксидных пленок (вызывающих нелинейные явления) и гальванических пар (вызывающих коррозию); 8) в качестве заземлителей не используются нулевые фазы, металлические оболочки подземных кабелей, металлические трубы водо- и теплоснабжения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О РАЗНОВИДНОСТЯХ ОПТОВОЛОКОННЫХ КАБЕЛЕЙ

В учебной программе дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» присутствует, в частности, тема, связанная с оптоволоконными кабельными системами (ОКС). Ниже предложены составленные на основе сведений из [1, с. 222–226] таблицы 1, 2, которые могут быть использованы при изучении данной темы.

Таблица 1 – Классификационные признаки ОКС

Признак	Разновидности ОКС
Размер несущего волокна и оболочки	Несколько разновидностей с заданными диаметрами сердечника и оболочки
Режим передачи	Одномодовые и многомодовые (с мультиплексированием)
Длина волны	ОКС, рассчитанные на длины волн от 850 до 1550 нм
Источники света	Лазерные и светодиодные ОКС

Таблица 2 – Сравнение одномодовых и многомодовых ОКС

Критерии сравнения	Одномодовые ОКС	Многомодовые ОКС
1. Количество возможных каналов передачи	Один	Более одного
2.1. Затухание сигнала	Слабее	Сильнее
2.2. Расстояние между узлами регенерации	Больше	Меньше
2.3. Стоимость, побочные излучения	Ниже	Выше
2.4. Защищенность от утечек информации	Выше	Ниже
3. Хроматическая дисперсия	Отсутствует	Есть. Методы борьбы: а) увеличение расстояния между сигналами, т. е. сокращение скорости передачи; б) использование солитонов

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.

УДК 37.016:539.12

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О РАССЕЯНИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА ПРОТОНАХ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЭНЕРГИЯХ**

В экспериментах по рассеянию электронов на протонах можно выделить различные энергетические диапазоны, в которых результаты качественно отличаются.

В связи с этим представляется интересным сравнить указанные энергетические диапазоны в виде предложенной ниже таблицы. Таблица может быть использована в образовательном процессе при изучении физики элементарных частиц и других дисциплин. При этом E – энергия.

Таблица – Особенности рассеяния электронов на протонах при различных энергиях

	$E \sim \text{МэВ}$	$E \sim \text{ГэВ}$ [1, с. 73]	$E \sim \text{ГэВ}$ [1, с. 78]
Рассеяние	Упругое	Упругое	Глубоко неупругое
Значение экспериментов	Проверка поправок к формуле Резерфорда	Показано, что протон не является точечным объектом	Введено представление о партонах – «морских» и «валентных» кварках, а также глюонах, составляющих внутреннюю структуру протона
Функции, используемые для описания структуры протона	Не используются, протон считается точечным	Электрический и магнитный форм-факторы	Структурные функции
Где ставились эксперименты	В Стэнфордском университете (1955)	На Стэнфордском линейном ускорителе (1960-е – 1970-е гг.)	
Под чьим руководством ставились эксперименты	Р. Хофштадтера	В. Панофского	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминова, Т. П. Фундаментальные взаимодействия и космические лучи / Т. П. Аминова, Л. И Сарычева. – М. : Эдиториал УРСС, 1999. – 168 с.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О СПОСОБАХ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗВЕЗДНОГО ВРЕМЕНИ
В ПРОИЗВОЛЬНЫЙ МОМЕНТ НА ЗАДАННОМ МЕРИДИАНЕ**

В некоторых лабораторных работах по дисциплине «Астрономия» для студентов, обучающихся по специальности «Физика и информатика» (т. е. будущих школьных учителей астрономии), требуется вычислить звездное время (ЗВ) s (в том числе для сравнения его значения с экспериментальным по прямому восхождению любого светила, находящегося в данный момент в верхней кульминации) [1, с. 15; 2, с. 42; 3, с. 79; 4, с. 32].

Представляет интерес систематизация некоторых сведений по данному вопросу. Соответствующие материалы могут быть использованы в образовательном процессе. Взаимосвязь и различия между разными видами звездного и солнечного времени можно отразить в следующей таблице.

Таблица – Взаимосвязь между разновидностями времени

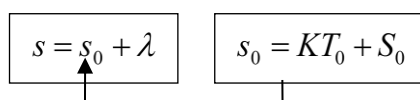
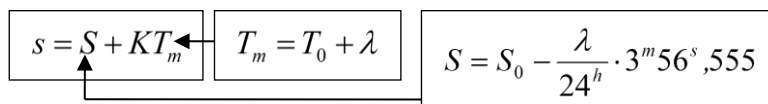
Величина	На произвольном меридиане	На Гринвичском меридиане	Связь между значениями
Текущее ЗВ	s	s_0	$s = s_0 + \lambda$ (λ – географическая долгота места)
ЗВ в предшествующую полночь	S	S_0	$S = S_0 - \frac{\lambda}{24^h} \cdot 3^m 56^s,555$
Среднее солнечное время (ССВ)	T_m	T_0 (всемирное время)	$T_m = T_0 + \lambda$
ССВ, выраженное через ЗВ (с учетом того, что ССВ в полночь равно нулю)	$T_m = K'(s - S)$	$T_0 = K'(s_0 - S_0)$ (частный случай формулы, приведенной слева)	

При этом λ выражается в часовой мере. Также нам понадобятся значения коэффициентов [1, с. 17]

$$K' = \frac{T}{T+1} = 0,997270 < 1, \quad K = \frac{T+1}{T} = 1,002738 > 1, \quad (1)$$

где $T = 365,2422$ сут – продолжительность тропического года.

Исходя из приведенных выше соотношений, можно составить две разные схемы нахождения s , приведенные на рисунках 1 и 2.

Рисунок 1 – Схема вычисления s (первый вариант)Рисунок 2 – Схема вычисления s (второй вариант)

Выполняя подстановку в схеме на рисунке 1, получаем:

$$s = KT_0 + S_0 + \lambda. \quad (2)$$

Выполняя подстановки в схеме на рисунке 2, получаем:

$$s = S_0 - \frac{\lambda}{24^h} \cdot 3^m 56^s 555 + KT_0 + K\lambda. \quad (3)$$

На первый взгляд, между (2) и (3) есть существенное различие. Но если выполнить преобразования

$$K\lambda - \frac{\lambda}{24^h} \cdot 3^m 56^s 555 = \left(K - \frac{3^m 56^s 555}{24^h} \right) \lambda, \quad (4)$$

то можно (с учетом (1)) убедиться, что выражение в скобках в правой части (4) равно единице. Отсюда легко видеть, что правые части формул (2) и (3) эквивалентны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. *Астрономия : учеб. пособие* / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.
2. *Курс общей астрономии* / П. И. Бакулин [и др.]. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Наука, 1977. – 544 с.
3. Румянцев, А. Ю. *Астрономия : учеб.-метод. пособие для преподавателей астрономии, студентов пед. вузов и учителей сред. учеб. заведений* / А. Ю. Румянцев, Т. А. Серветник ; под ред. А. В. Усовой. – Магнитогорск : МаГУ, 2003. – 312 с.
4. Кононович, Э. В. *Общий курс астрономии : учеб. пособие* / Э. В. Кононович, В. И. Мороз ; под ред. В. В. Иванова. – Изд. 2-е, испр. – М. : Эдиториал УРСС, 2004. – 544 с.

УДК 536+537.6

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ
ИДЕАЛЬНОГО НЕВЫРОЖДЕННОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО
БОЗЕ-ГАЗА В КВАНТУЮЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Пусть N – число частиц в идеальном невырожденном релятивистском бозе-газе. Выражение для N при наличии внешнего магнитного поля с индукцией B было получено в [1] и имеет вид:

$$N = \frac{m\mu BV}{\pi^2 \hbar^3 c} \exp\left(\frac{\chi}{kT}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n K_1(\xi_n). \quad (1)$$

При этом χ – химический потенциал, N – число бозонов, V – объем, B – индукция магнитного поля, m – масса бозона, μ – собственный магнитный момент бозона, T – температура, k – постоянная Больцмана, n – номер уровня Ландау, K_1 – функция Бесселя:

$$K_1(y) = \int_1^{+\infty} \exp(-yx) \frac{xdx}{\sqrt{x^2-1}}. \quad (2)$$

Также нам понадобятся обозначения:

$$\varepsilon_n = \sqrt{m^2 c^4 + 2mc^2 \mu B (2n+1)}, \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\mu B}{kT}, \quad (4)$$

$$\xi_n = \frac{\varepsilon_n}{kT}, \quad (5)$$

$$\eta = \frac{mc^2}{kT}. \quad (6)$$

Запишем общие выражения для энтропии S , средней энергии E и намагниченности M [2, с. 49, 53]:

$$S = -\left(\frac{\partial \Omega}{\partial T}\right)_{\chi, V}, \quad (7)$$

$$E = \Omega + \chi N + TS, \quad (8)$$

$$M = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial \Omega}{\partial B}\right)_{\chi, V}. \quad (9)$$

При этом Ω – большой термодинамический потенциал. Выражение для него в случае невырожденного бозе-газа принимает вид [2, с. 49]:

$$\Omega = -NkT . \quad (10)$$

Подставляя (7)–(9) в (1), с учетом (2)–(6), (10) получим:

$$S = Nk \left(2 - \frac{\chi}{kT} + \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n^2 K_0(\xi_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n K_1(\xi_n)} \right), \quad (11)$$

$$E = NkT \left(1 + \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n^2 K_0(\xi_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n K_1(\xi_n)} \right), \quad (12)$$

$$M = \frac{NkT}{VB} \left(1 - \frac{\eta\alpha \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)K_0(\xi_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n K_1(\xi_n)} \right). \quad (13)$$

При вычислениях, кроме того, было использовано соотношение [3, с. 168]

$$K_1'(y) = -K_0(y) - K_1(y)/y. \quad (14)$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серый, А. И. О химическом потенциале бозе-газа в магнитном поле / А. И. Серый // Сверхплотное вещество и интенсивные магнитные поля в астрофизике : сб. материалов фак. науч.-практ. семинара памяти В. С. Секержицкого, Брест, 9 сент. 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Серого. – Брест : БрГУ, 2022. – 39 с. (в печати).
2. Секержицкий, В. С. Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях : монография / В. С. Секержицкий ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.
3. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт. – М. : Наука, 1973. – 228 с.

УДК 536+537.6

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ
ИДЕАЛЬНОГО НЕВЫРОЖДЕННОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО
ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Пусть N_e – число частиц в идеальном невырожденном релятивистском электронном газе. Выражение для N_e при наличии внешнего магнитного поля с индукцией B было получено в [1] и имеет вид

$$N_e = \frac{m_e^2 c \mu_B B V}{\pi^2 \hbar^3} \exp\left(\frac{\chi}{kT}\right) \left(K_1(\eta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{1 + \frac{4n\mu_B B}{m_e c^2}} K_1(v_n) \right). \quad (1)$$

При этом χ – химический потенциал, V – объем, m_e – масса электрона, μ_B – магнетон Бора, T – температура, k – постоянная Больцмана, n – номер уровня Ландау, K_1 – функция Бесселя:

$$K_1(y) = \int_1^{+\infty} \exp(-yx) \frac{xdx}{\sqrt{x^2 - 1}}. \quad (2)$$

Также нам понадобятся обозначения:

$$v_n = \frac{\sqrt{m_e^2 c^4 + 4nm_e c^2 \mu_B B}}{kT} = \eta \sqrt{1 + \frac{4n\mu_B B}{m_e c^2}}, \quad (3)$$

$$\eta = \frac{m_e c^2}{kT} = v_0, \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\mu_B B}{kT}. \quad (5)$$

Общие выражения для энтропии S , средней энергии E и намагниченности M имеют, соответственно, вид [2, с. 49, 53]:

$$S = - \left(\frac{\partial \Omega}{\partial T} \right)_{\chi, V}, \quad (6)$$

$$E = \Omega + \chi N + TS, \quad (7)$$

$$M = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial \Omega}{\partial B} \right)_{\chi, V, B}. \quad (8)$$

При этом Ω – большой термодинамический потенциал, выражение для которого в случае невырожденного газа имеет вид [2, с. 49]:

$$\Omega = -N_e kT. \quad (9)$$

Подставляя (6)–(8) в (1), с учетом (9) получим:

$$S = N_e k \left(2 - \frac{\chi}{kT} + \frac{\eta^2 K_0(\eta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n^2 K_0(v_n)}{\eta K_1(\eta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n K_1(v_n)} \right), \quad (10)$$

$$E = N_e kT \left(1 + \frac{\eta^2 K_0(\eta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n^2 K_0(v_n)}{\eta K_1(\eta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n K_1(v_n)} \right), \quad (11)$$

$$M = \frac{N_e kT}{VB} \left(1 - \frac{4\eta\alpha \sum_{n=1}^{\infty} n K_0(v_n)}{\eta K_1(\eta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n K_1(v_n)} \right). \quad (12)$$

Также было использовано соотношение [3, с. 168]

$$K_1'(y) = -K_0(y) - K_1(y)/y. \quad (13)$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серый, А. И. О химическом потенциале бозе-газа в магнитном поле / А. И. Серый // Сверхплотное вещество и интенсивные магнитные поля в астрофизике : сб. материалов фак. науч.-практ. семинара памяти В. С. Секержицкого, Брест, 9 сент. 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Серого. – Брест : БрГУ, 2022. – 39 с. (в печати).
2. Секержицкий, В. С. Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях : монография / В. С. Секержицкий ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.
3. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт. – М. : Наука, 1973. – 228 с.

УДК 37.016:539.1

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О ТРЕХ УРОВНЯХ ТЕОРИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУКЛОНОВ

Взаимодействие нейтрона и протона исследуется уже не один десяток лет, в связи с чем представляет интерес систематизация основных результатов, представленная ниже в таблице, которая может быть полезной для образовательного процесса.

Таблица – Уровни сложности описания взаимодействия протона и нейтрона

Уровень	Основные вопросы	Свободное состояние (рассеяние)	Связанное состояние (дейтрон)
1	Название теорий	Теория рассеяния медленных нейтронов на протонах	Элементарная теория дейтрона
	Учет орбитального момента L относительного движения протона и нейтрона	Только $L = 0$	
	Что подразумевается под синглетным (СС) и триплетным (ТС) состоянием	Состояние с нулевым и единичным суммарным спином протона и нейтрона соответственно	
	Как описывается различие между ядерными силами в указанных выше состояниях	Различными значениями длин рассеяния и эффективных радиусов	Энергией связи дейтрона и виртуальным уровнем энергии дейтрона в синглетном состоянии (не связанном); значениями глубины и линейных размеров потенциалов
2	Учет L	$L = 0$ и $L \neq 0$	
	Что подразумевается под СС и ТС соответственно	Состояние с нулевым и единичным полным моментом соответственно	
	Допустимые сочетания спина, изоспина и L	Определяются обобщенным принципом Паули (ОПП)	Определяются ОПП и другими экспериментально наблюдаемыми характеристиками
	Поэтому возможны значения L	Любые	$L = 0$ с примесью состояния с $L = 2$
3	С чем связаны дальнейшие усложнения и обобщения	С неупругими процессами (с рождением мезонов и нуклон-antinуклонных пар)	С учетом виртуальных мезонов и нуклон-antinуклонных пар в диаграммной технике описания дейтрона

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ОБ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ПРОСТРАНСТВЕННОЕ И ЛИНЕЙНОЕ ЗАШУМЛЕНИЕ»

В учебной программе дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» присутствует вопрос о разновидностях зашумления. Ниже представлены составленные на основе сведений из [1, с. 232, 245–247] таблицы 1–3, которые могут быть полезными при изучении данной темы студентами специальности «Компьютерная физика».

Таблица 1 – Пассивные и активные методы защиты информационных сигналов

	Пассивные методы	Активные методы
Иное название	Фильтрация	Зашумление
Разновидности	Разделительные трансформаторы и помехоподавляющие фильтры	Пространственное и линейное

Таблица 2 – Сравнительная характеристика разновидностей зашумления

	Пространственное зашумление	Линейное зашумление
При- мене- ние	Подробности см. в таблице 3 («синфазные помехи», «белый шум»)	Для маскировки наведенных опасных сигналов в посторонних проводниках и соединительных линиях вспомогательных технических средств и систем, выходящих за пределы контролируемой зоны. На практике это часто осуществляется путем зашумления осветительной или розеточной сети
При- меча- ния	Требования, предъявляемые к таким системам: 1. Электромагнитные помехи (ЭМП) в диапазоне частот возможных побочных излучений аппаратуры. 2. Структура ЭМП нерегулярная. 3. Уровень создаваемых ЭМП на электрический ток и по магнитной составляющей дает минимальное отношение сигнала к шуму. 4. За счет выбора типа антенны у ЭМП есть горизонтальная и вертикальная поляризация	В простейшем случае подобная система – это генератор шумового сигнала, формирующий шумовое маскирующее напряжение с заданными спектральными, временными и энергетическими характеристиками, который гальванически подключается в зашумляемую линию (посторонний проводник)

Таблица 3 – Сравнение видов пространственного зашумления

	Синфазные помехи	Белый шум
При- мене- ние	Защита некоторых типов компьюте- ров	Защита некоторых типов компью- теров, систем звукоусиления и зву- кового сопровождения, внутреннего телевидения
При- меча- ния	Используются импульсы случайной амплитуды, совпадающие по форме и времени существования с импуль- сами полезного сигнала, поэтому спектральный состав помехи анало- гичен спектру побочных электромаг- нитных излучений компьютера	Сигнал широкополосный, характе- ризуется равномерно распределен- ным энергетическим спектром во всем рабочем диапазоне. Уровень сигнала существенно превышает уровни побочных излучений

Данная работа дополняет публикации [2, с. 55; 3, с. 86–87; 4, с. 93–94], также посвященные методике преподавания дисциплины «Технические средства и методы защиты информации».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.
2. Серый, А. И. Об изучении акустических и электромагнитных волн в дисциплинах физического профиля / А. И. Серый // Современные научные проблемы и вопросы преподавания теоретической и математической физики, физики конденсированных сред и астрономии : сб. материалов VIII Респ. науч.-практ. конф., Брест, 21 окт. 2021 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. В. Демидчика. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 55.
3. Серый, А. И. К вопросу о методике преподавания дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» / А. И. Серый // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIX Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 8 июня 2021 г. / редкол.: Т. В. Борботько [и др.]. – Минск : БГУИР, 2021. – С. 86–87.
4. Серый, А. И. К вопросу о методике преподавания темы «Технические каналы утечки информации» / А. И. Серый // Технические средства защиты информации : тез. докл. XX Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 7 июня 2022 г. / редкол.: Т. В. Борботько [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 93–94.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ОБ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ФИЛЬТРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ»

В учебной программе дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» присутствует вопрос о фильтрации информационных сигналов. Ниже представлены составленные на основе сведений из [1, с. 232–236] таблицы 1, 2, которые могут быть полезными при изучении данного вопроса. Составление подобных таблиц можно предлагать студентам в качестве самостоятельных творческих заданий.

Данная работа дополняет методические публикации [2, с. 86–87; 3, с. 26–28; 4, с. 55].

Таблица 1 – Основные подходы к классификации фильтров

Классификационный признак	К какому множеству фильтров применяется	Типы фильтров
Расположение полосы пропускания фильтра относительно полосы помехоподавления в частотном спектре	Ко всем фильтрам	Фильтры верхних частот (высокочастотные), фильтры нижних частот (низкочастотные), полосовые (полосно-пропускающие), заграждающие или режекторные (полосно-задерживающие)
Типы элементов, из которых составлены фильтры	Ко всем фильтрам	Реактивные (состоящие из элементов с индуктивностью и емкостью), пьезоэлектрические (состоящие из кварцевых пластин), безындукционные (состоящие из элементов омическим сопротивлением и емкостью)
Топология расположения элементов	Как правило, к реактивным	Фильтры типа <i>K</i> , <i>T</i> -образные, <i>Π</i> -образные
Наличие плоскости симметрии на схеме фильтра	Как правило, к реактивным	Симметричные и несимметричные
Наличие операционного усилителя (микросхемы)	Как правило, к безындукционным (так как реактивные фильтры – пассивные)	Активные и пассивные

Таблица 2 – Основные средства для фильтрации информационных сигналов

	Разделительные трансформаторы	Помехоподавляющие фильтры
Какие задачи решаются	Разводка первичной и вторичной цепей по сигналам наводки (разделение по цепям питания источников и рецепторов наводки, если они подключаются к одним и тем же цепям переменного тока), устранение ассиметричных наводок, ослабление симметричных наводок на вторичную обмотку	Ослабление нелинейных сигналов в разных участках частотного диапазона. Пропускание (без значительного ослабления) сигналов с частотами, лежащими в рабочей полосе, и подавление сигналов за пределами полосы
Методы решения задач	Внутренний экран, выполняемый в виде заземленной прокладки или фольги, укладываемой между первичной и вторичной обмотками. С помощью экрана наводка первичной обмотки замыкается на землю	Зависит от типа фильтра (таблица 1)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.

2. Серый, А. И. К вопросу о методике преподавания дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» / А. И. Серый // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIX Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 8 июня 2021 г. / редкол.: Т. В. Борботько [и др.]. – Минск : БГУИР, 2021. – С. 86–87.

3. Серый, А. И. К методике преподавания дисциплины «Технические средства и методы защиты информации»: сравнительный анализ систем периметровой охраны / А. И. Серый // Проблемы современного образования в техническом вузе : материалы VII Междунар. науч.-метод. конф., Гомель, 21–22 окт. 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. В. Сычева. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – С. 26–28.

4. Серый, А. И. Об изучении акустических и электромагнитных волн в дисциплинах физического профиля / А. И. Серый // Современные научные проблемы и вопросы преподавания теоретической и математической физики, физики конденсированных сред и астрономии : сб. материалов VIII Респ. науч.-практ. конф., Брест, 21 окт. 2021 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. В. Демидчика. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 55.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ОБ ОПТОВОЛОКОННЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАБЕЛЯХ

В учебной программе дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» содержится, в частности, вопрос о безопасности оптоволоконных кабельных систем. Ниже предложена таблица (составленная на основе сведений из [1, с. 222–230]), в которой сравниваются оптоволоконные и металлические кабельные системы.

Таблица – Оптоволоконные (ОКС) и металлические кабельные системы (МКС)

	ОКС	МКС
1.1. Затухание сигнала (в целом)	Меньше, чем в МКС	Больше, чем в ОКС
1.2. Зависимость затухания от длины волны, температуры и других факторов		
2.1. Искажение сигнала (в целом)		
2.2. Зависимость искажения от длины волны, длины кабеля, температуры и других факторов		
3.1. Потери на излучение (в целом)		
3.2. Зависимость потерь от радиуса изгиба и температуры кабеля		
4. Возможность утечки информации	В радиочастотном и оптическом диапазонах	В радиочастотном и других диапазонах
5.1. Механическая прочность и долговечность	Меньше, чем у МКС	Выше, чем у ОКС
5.2. Стойкость к влаге, температуре, коррозии	Выше, чем у МКС	Ниже, чем у ОКС
5.3. Масса размер, общий объем	В целом меньше, чем у МКС	В целом больше, чем у ОКС
6.1. Влияние ионизирующих излучений на чувствительность	Да	Нет
6.2. Влияние внешнего радиочастотного поля	Возможны сбои в работе	Зависит от степени экранирования

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.

УДК 37.016:536

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ТЕРМОДИНАМИКИ

В вузовском курсе термодинамики (ТД) основное внимание по традиции уделяется равновесной (квазиравновесной) ТД. Между тем в XX в. получила заметное развитие также неравновесная ТД (хотя первая работа Фурье по теплопроводности появилась в 1822 г.). В связи с этим представляет интерес сравнительный анализ основных направлений ТД. Соответствующие результаты представлены ниже в виде таблицы. Она может быть составлена, например, на основе сведений из [1, с. 46–48].

Таблица – Сравнительная основных направлений ТД

	Равновесная ТД	Слабо неравновесная ТД	Сильно неравновесная ТД
Родоначальники	Ряд европейских ученых	Л. Онсагер	И. Б. Пригожин
Столетие	XIX	XX	XX
Объекты исследования	Равновесные системы	Линейные неравновесные системы	Открытые системы, диссипативные структуры (ячейки Бенара и др.)
Предмет исследования	Равновесные (квазиравновесные) процессы	Линейные неравновесные процессы	Самоорганизация и др.
Величины, характеризующие систему	Одинаковы во всех точках	Меняются от точки к точке	Меняются от точки к точке
Характер равновесия	Глобальный и локальный	Только локальный (наличие градиентов величин)	Равновесия нет даже локально
Скорость восстановления равновесия	Велика по сравнению со скоростью изменений	Велика по сравнению со скоростью процессов переноса	Сравнима со скоростью процессов в системе

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толкачев, Е. А. Современная концепция естествознания: начала и образ науки в массовом образовании / Е. А. Толкачев. – Минск : РИВШ, 2012. – 212 с.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А.С. Пушкина

ОБ ОСНОВНЫХ РАЗНОВИДНОСТЯХ СМАРТ-КАРТ

Учебная программа дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» предполагает, в частности, изучение вопросов, связанных со смарт-картами. Ниже предложена соответствующая таблица, составленная на основе сведений из интернет-источников.

Таблица – Сравнительная характеристика основных типов смарт-карт

Тип	Примечания	Примеры
1. Контактные с интерфейсом ISO 7816	Имеют зону соприкосновения, содержащую несколько небольших контактных лепестков. При вставке карты в считыватель чип соприкасается с электрическими коннекторами	SIM-карты мобильной связи, таксофонные карты, банковские карточки
2. Контактные с USB-интерфейсом	Как правило, это микросхема обычной ISO 7816 карты, совмещенной с USB-считывателем в одном миниатюрном корпусе	Изделия <u>JaCarta</u> , <u>Ru-token</u> и <u>eToken</u> (для компьютерной аутентификации и др.)
3. Бесконтактные смарт-карты	Карта взаимодействует со считывателем на основе технологии RFID. При этом для выполнения операций требуется подносить карточку близко к считывателю. Стандарт – ISO/IEC 14443, реже ISO/IEC 15693	Проездные в транспорте, биометрические паспорта, системы контроля доступа
4. Карты памяти	Содержат некоторое количество данных и фиксированный механизм разграничения доступа к ним. Механизмы могут быть простыми (однократная запись, пароль, уникальный номер) или посложнее (взаимная аутентификация с использованием симметричных криптоалгоритмов AES, DES)	Проездные в транспорте (или карты микроплатежей), таксофонные карты, карты в зонах отдыха, карты лояльности клиентов и т. п.
5. Интеллектуальные карты	Содержат микропроцессор и возможность загружать алгоритмы его работы. Возможные действия – комплексные действия при аутентификации, сложные протоколы обмена, регистрация фактов доступа и т. п. Применяется симметричная (AES, DES), асимметричная (RSA) криптография, алгоритмы инфраструктуры открытых ключей (PKI), есть аппаратные генераторы случайных чисел, защита от физической атаки	Электронные («биометрические») паспорта и визы, SIM-карты

УДК 37.016:530.145

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А.С. Пушкина

ОБ УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГОЛДСТОУНОВСКИХ БОЗОНОВ

При изучении дисциплин «Физика твердого тела» и «Квантовая теория поля» может представлять интерес вопрос об условиях возникновения голдстоуновских бозонов (БГ). Сравнительная характеристика основных примеров представлена ниже в таблице, составленной на основе сведений из [1, с. 501].

Таблица – Условия возникновения БГ

Система, теория	Какая симметрия спонтанно нарушается	Какие БГ образуются	Примечание
Изотропный ферромагнетик, нерелятивистская квантовая теория многих тел	Относительно вращений трехмерного пространства	Магноны	В соответствии с теоремой Голдстоуна, они остаются с нулевой массой и нулевым спином
Сверхтекучий гелий, нерелятивистская квантовая теория многих тел	Калибровочная	Фононы	В соответствии с теоремой Голдстоуна, они остаются с нулевой массой и нулевым спином
Безмассовые кварки (квантовая хромодинамика)	Киральная	Псевдоскалярные мезоны (π , K)	Дополнительное (не спонтанное) нарушение киральной симметрии, связанное с ненулевыми массами кварков, приводит к появлению массы у мезонов
Калибровочная теория электрослабого взаимодействия	Калибровочная	<i>Не образуются</i>	Механизм Хиггса препятствует образованию БГ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Совет. энцикл., 1988. – Т. 1 : Ааронова – Бома эффект – Длинные линии. – 704 с.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А.С. Пушкина

ОБ ЭКРАНИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Учебной программой дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» предусмотрено, в частности, изучение тем, связанных защитой от побочных электромагнитных излучений. Ниже предложена таблица (составлена на основе сведений из [1, с. 209–210]), в которой сравниваются основные виды паразитных связей между двумя цепями. Таблица может быть использована в образовательном процессе.

Таблица – Основные виды паразитных связей

	Емкостная связь	Индуктивная связь	
1. Как возникает	Через ближнее электрическое поле	Через ближнее магнитное поле (МП).	
2.1. Методы борьбы	Введение токопроводящего экрана, соединенного с общим проводом и замыкающим на общий провод большую часть электрических силовых линий	Магнитостатическое экранирование (экранирование шунтированием МП) – применение ферромагнитных экранов	Динамическое экранирование
2.2. Примечания	На практике нельзя снизить наводку до нуля даже при нулевом сопротивлении экрана из-за наличия проводников и технологических отверстий, а также краевых эффектов, приводящих к появлению остаточного ближнего электрического поля и, следовательно, остаточной емкости	Линии МП как бы втягиваются в материал с более высокой магнитной проницаемостью, в результате внутри экрана поле ослабляется. Эффективность экранирования не зависит от частоты в тех пределах, в которых от частоты не зависит магнитная проницаемость материала экрана	Переменное МП ослабляется по мере проникновения в металл, так как внутренние слои экранируются вихревыми токами, возникающими в приповерхностных слоях

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.

УДК 37.016:537.6

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А.С. Пушкина

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВУХ ЗАДАЧ
КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ ЭЛЕКТРОНА В КВАНТУЮЩЕМ
МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

В 1960 г. Ю. А. Бычков показал возможность возникновения связанного состояния электрона при наличии внешнего магнитного поля в потенциальной яме, в которой такое состояние в отсутствие магнитного поля не возникает [1, с. 557–558].

В связи с этим представляется интересным сравнить указанные задачи квантовой механики в виде предложенной таблицы. Таблица может быть использована в образовательном процессе при изучении квантовой механики, астрофизики сверхсильных магнитных полей и других дисциплин.

Таблица – Сравнительная характеристика двух задач

	Электрон в магнитном поле без потенциальной ямы	Электрон в магнитном поле при наличии потенциальной ямы
Решение уравнения Шредингера	Точное	Приближенное (по методу Ю. А. Бычкова)
Какие уровни энергии можно найти	Любые	Только уровень энергии основного состояния
Состояние электрона	Свободное	Связанное
Разделение переменных	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(im\varphi) \exp\left(\frac{ip_z z}{\hbar}\right) R(\rho)$, p_z – импульс вдоль оси z	$\chi(z)R(\rho)$
Волновая функция зависит от пространственных переменных	ρ, z, φ	ρ, z
Используемые квантовые числа	m	Нет

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – Т. 3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория). – 808 с.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А.С. Пушкина

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ**

В курсе дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» изучаются акустические каналы утечки информации. При изучении данной темы можно использовать представленную ниже таблицу, составленную на основе сведений из [1, с. 10–14, 72–75, 95].

Таблица – Воздушный и вибрационный акустический канал

	Воздушный акустический канал (АК)	Вибрационный АК
Среда распространения сигнала	Воздух	Твердые среды (стены зданий, конструкции сооружений и др.)
Акустический сигнал	Не является модулирующим по отношению к другим типам сигналов	
Перехват осуществляется с помощью	А. Миниатюрных высокочувствительных микрофонов. Б. Специальных направленных микрофонов (в том числе в акустических закладках)	Контактных микрофонов (стетоскопов), в том числе в закладных устройствах (ЗУ)
Электромагнитная передача перехваченной информации	По радиоканалу, сети переменного тока, соединительным линиям вспомогательных технических средств и систем, посторонним проводникам (кабелям, трубам, металлоконструкциям)	По радиоканалу (радиостетоскоп), оптическому каналу (оптический или инфракрасный стетоскоп)
Механическая передача перехваченной информации	Через механические и ультразвуковые (УЗ) колебания	По УЗ каналу (по металлоконструкциям зданий, трубам водоснабжения и отопления) соответствующими стетоскопами
Прием информации, передаваемой ЗУ	На соответствующие приемники (в том числе в телефонных аппаратах старого образца)	На приемники соответствующих типов сигналов соответствующих диапазонов

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.

УДК 37.016:004.056.5

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ АТАК НА СМАРТ-КАРТЫ

Учебной программой дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» предусмотрено, в частности, изучение тем, связанных со смарт-картами [1, с. 358, 364–366]. Ниже представлена таблица, в которой сравниваются основные методы атак на такие карты. Таблица может быть использована в образовательном процессе для лучшего усвоения материала.

Таблица – Сравнительная характеристика основных методов атаки на смарт-карты

Название метода	Сущность	Чего позволяет достичь
1. Поиск уязвимостей криптоалгоритмов	<i>Очевидна из названия метода.</i> Обусловлена практически полной открытостью всех используемых алгоритмов	Получить доступ к информации
2. Простой и дифференциальный анализ питания, дифференциальный анализ высокого порядка [2]	Оценка осциллограмм потребляемой смарт-картой электроэнергии в момент выполнения криптоалгоритма	Расшифровать криптоалгоритм и получить доступ к информации
3. Физический взлом	Получение доступа к электрическим цепям смарт-карты после химического снятия защитных слоев с кристалла	Выполнить анализ устройства смарт-карты и подключиться к ней с помощью микроэлектродов
4. Необычные условия эксплуатации смарт-карт	Например, нештатный температурный режим, напряжения и частоты сигнала на контактах и т. д.	Получить доступ к информации вследствие сбоев в алгоритмах

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.
2. Надежно ли защищены смарт-карты? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: kiwibyrd.org/2016/01/05/993/. – Дата доступа: 15.10.2022.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ
«СТАНДАРТНЫХ СВЕЧЕЙ» В АСТРОНОМИИ**

В курсе астрономии изучается вопрос об определении расстояний до некоторых объектов по их видимым звездным величинам. Представляет интерес сравнение основных типов так называемых «стандартных свечей». В таблице сопоставлены цефеиды и сверхновые типа Ia, что может быть использовано в образовательном процессе при изучении астрономии будущими школьными учителями астрономии.

Таблица – Сравнение цефеид и сверхновых I типа как «стандартных свечей»

	Цефеиды	Сверхновые типа Ia
Существует модель, в соответствии с которой абсолютная звездная величина M	Связана с периодом пульсаций P зависимостью ($P_0 = 1$ сутки) $\bar{M} = -\left(1,01 + 2,87 \lg \frac{P}{P_0}\right)$ (среднее значение M) [1, с. 103]	В максимуме одна и та же $M \approx 20$ [1, с. 105]
Зависимость $M(t)$	Периодическая, периоды могут быть разными	Непериодическая, но считается, что характер эволюции $M(t)$ у всех сверхновых I типа одинаковый
Как идентифицируются объекты	По пульсациям блеска	По спектру и стандартному характеру эволюции $M(t)$
Что определяется визуально	P и m (видимая звездная величина)	$m(t)$
Как определяется расстояние r	а) На основе P находим \bar{M} ; б) $\lg r = 1 + 0,2(m - \bar{M})$ [1, с. 86].	$\lg r = 1 + 0,2(m(t) - M(t))$ (с усреднением, если это требуется)
В каких масштабах применяется метод	Преимущественно в пределах нашей галактики	Преимущественно в межгалактических масштабах

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.

УДК 37.016:536

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИЙ СОСТОЯНИЯ И ПРОЦЕССА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

В вузовском курсе термодинамики изучаются, в частности, физические величины, относящиеся к функциям состояния и процесса. Для повышения качества образовательного процесса представляется интересным выполнить сравнительный анализ указанных типов величин.

Результаты такого анализа представлены в виде таблицы, предложенной ниже. Она может быть составлена, например, на основе сведений из [1, с. 39–40].

Таблица – Сравнительная характеристика функций состояния и процесса

	Функции состояния	Функции процесса
Примеры	Температура, внутренняя энергия, давление, объем, энтропия	Количество теплоты, термодинамическая работа
Что описывают	Состояние системы и процессы, с ней происходящие	Процессы, происходящие с системой
Зависит ли значение от того, через какую последовательность предшествующих состояний прошла система	Нет	Да
Являются ли независимыми	Нет	Нет
Связующие уравнения	Уравнение состояния	Уравнение первого начала термодинамики
Варианты уравнений	Менделеева – Клапейрона, Ван-дер-Ваальса и др.	Разность между работой и количеством теплоты зависит от процесса (изотермический, изохорный, изобарный, адиабатический, политропный)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толкачев, Е. А. Современная концепция естествознания: начала и образ науки в массовом образовании / Е. А. Толкачев. – Минск : РИВШ, 2012. – 212 с.

УДК 37.016:539.1

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

УРОВНИ СЛОЖНОСТИ ТЕОРИИ ЯДЕРНЫХ СИЛ

При построении теории ядерных сил (ЯС) последним в исходном приближении обычно приписываются следующие свойства: Ia. Ядерные силы одинаковы для любой пары нуклонов (изотопическая инвариантность, или зарядовая независимость). Ib. ЯС не зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов. Iv. ЯС центральные, т. е. зависят только от расстояний между нуклонами. Ig. ЯС не обменные. Id. ЯС только притягивающие. Ie. Взаимодействие за счет ЯС не приводит к рождению новых частиц. Представляется интересным проследить за последовательным установлением границ применимости каждого из перечисленных выше пунктов, в результате чего на каждом этапе теория ЯС становится все более универсальной. Логическая последовательность в данном случае не обязательно согласуется с исторической (что относится к известному философскому вопросу о соотношении исторического и логического).

Соответствующие сведения систематизированы ниже в таблице, где затронуты следующие вопросы. 1. На чем основано исходное предположение о данном свойстве ЯС. 2. Выводы, которые следуют из исходного предположения (с учетом справедливости предыдущих предположений с ограничениями, если последние установлены). 3. Согласие выводов, сделанных в п. 2, с экспериментом. 4. Как решается возникшее противоречие. Кроме того, следующие свойства ЯС остаются неизменными при любом уровне сложности теории: Па. Свойство насыщения ЯС. Пб. Малый радиус действия ЯС.

При составлении таблицы использовались сведения из [1, с. 9–68; 2, с. 513–515]. Таблица может быть полезной в образовательном процессе при изучении физики атомного ядра и элементарных частиц. Составление подобных таблиц может быть предложено учащимся и в качестве самостоятельных творческих заданий.

Таблица – Корректировка исходных положений теории ЯС

	1	2	3	4
а	Энергия связи зеркальных ядер (с поправкой на различие кулоновской энергии) примерно одинакова	Должна существовать связанная система 2 протонов (дипротон) или двух нейтронов (динейтрон) по аналогии с существованием дейтрона	Нет (указанные системы не существуют)	Учет принципа Паули.

Продолжение таблицы

	1	2	3	4
б	Полученные на тот момент экспериментальные данные по дейтрону и нуклон-нуклонному рассеянию объясняются и без зависимости ЯС от спинов	По известному значению энергии связи дейтрона в рамках какого-нибудь модельного потенциала делается предположение о том, что при рассеянии медленного нейтрона на протоне волновая функция системы мало отличается от волновой функции дейтрона; это позволяет оценить значение сечения рассеяния (~ 1 барн)	Нет, экспериментальное значение на порядок выше	Введение отдельных параметров потенциала в триплетном и синглетном состояниях
в	Данные по нуклон-нуклонному рассеянию при низких энергиях	Квадрупольный момент дейтрона должен быть в точности равен нулю, а магнитный момент дейтрона – векторной сумме магнитных моментов протона и нейтрона	Строго говоря, нет	Введение примеси d-волны в основном состоянии дейтрона
г	Экспериментальные данные при малых энергиях объясняются и без обменных ЯС	С ростом энергии до десятков МэВ 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)	Нет	Учет обменных ЯС (пример – потенциал Сербера)
д	Устойчивость многих атомных ядер	С ростом энергии фазы рассеяния не должны менять знак	Нет (при энергии порядка 200 МэВ)	Учет кора в потенциале
е	При энергиях до сотен МэВ рождения новых частиц действительно не происходит	Фазы рассеяния должны быть вещественными, структура сечения рассеяния не должна меняться	При энергии порядка 500 МэВ начинают рождаться пионы	Фазы должны быть комплексными при энергии от 500 МэВ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ситенко, А. Г. Лекции по теории ядра / А. Г. Ситенко, В. К. Тартаковский. – М. : Атомиздат, 1972. – 351 с.
2. Яворский, Б. М. Справочное руководство по физике / Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. – М. : Наука, 1975. – 624 с.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ, З. Н. СЕРАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О НАХОЖДЕНИИ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ ПОЛНОГО
ЛУННОГО ЗАТМЕНИЯ**

В одной из лабораторных работ по дисциплине «Астрономия» для студентов специальности «Физика и информатика» (будущих школьных учителей астрономии) присутствует следующее задание.

Выясните, могло ли в населенном пункте (НП), соответствующем Вашему варианту, наблюдаться полное лунное затмение, для которого известны: а) дата затмения; б) момент геоцентрического противостояния (ГП) Луны и Солнца по всемирному времени T_0 ; в) прямое восхождение Луны α ; г) склонение Луны δ . Ответ дайте без учета поправок на рефракцию и видимый угловой радиус Луны. Географическая широта φ и долгота λ НП также известны.

Выполнение задания можно разделить на этапы, указанные в таблице.

Таблица – Последовательность этапов выполнения задания

Этап	Содержание	Пояснения
1	Выражение звездного времени s , соответствующего моменту ГП, в заданном НП	Двумя способами: а) $s = \alpha + t$; б) $s = s_0 + \lambda$, $s_0 = KT_0 + S_0$. При этом s_0 и S_0 – звездное время на Гринвиче для ГП и для предшествующей средней полуночи для дня года, в который произошло затмение, соответственно; значение S_0 – справочное, $K = 1,002738$ [1, с. 17]
2	Нахождение t	Путем решения уравнения, которое получается приравнованием правых частей уравнений для s , составленных на этапе 1 (с подстановкой для s_0 во втором уравнении). Значение t (как и остальных величин) берется в часовой мере
3	Вычисление $\cos z$	По формуле $\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t$, где значение t берется из этапа 2. При вычислениях в правой части учитываем, что $2\pi \text{ рад} = 360^\circ = 24^h$
4	Вывод	Если $\cos z > 0$, то Луна видна, затмение наблюдается; если $\cos z < 0$, то Луна не видна, затмение не наблюдается

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ, З. Н. СЕРАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**ОБ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «УРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ»
В ВУЗОВСКОМ КУРСЕ АСТРОНОМИИ**

В курсе астрономии, изучаемом будущими школьными учителями астрономии, присутствует, в частности, тема «Уравнение времени». Соответствующая величина обозначается через η ; она вычисляется, строго говоря, только численными методами и в один и тот же день года меняется из года в год (вследствие отличия тропического и аномалистического года от календарного). Несмотря на это, для выполнения приближенных расчетов на основе довольно простых формул можно принять, что уравнение времени представимо в виде суммы двух синусоид [1, с. 17]:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2, \quad (1)$$

$$\eta_k = A_k \sin(2\pi k(t - t_{0k})/T_k), \quad k = 1, 2, \quad (2)$$

где T_k – продолжительность года (в сутках) $T_1 = 365,25964$ сут (аномалистический год), $T_2 = 365,24219$ сут (тропический год), t – время (номер суток года, начиная с 1 января); t_{01} соответствует приблизительно 3 января, поэтому может принимать значения около 3. Что касается значения t_{02} , то оно не может соответствовать 21 марта, так как между 21 марта и 23 сентября проходит 186 суток (больше половины года) из-за непостоянства орбитальной скорости Земли. Вследствие этого вторая синусоида должна проходить через ноль чуть позже 21 марта и чуть раньше 23 сентября, поэтому значение t_{02} должно быть больше 80.

При этом значения коэффициентов A_k (в минутах) несколько различаются в разных источниках: $A_1 = 7,53$, $A_2 = -9,87$ [2]; $A_1 = 7,659$, $A_2 = -9,863$ [3]; в обоих источниках присутствуют также дополнительные поправки, которые здесь рассматриваться не будут. Кроме того, даты обращения уравнения времени в ноль указаны одни и те же в [2; 3] (15 апреля, 13 июня, 1 сентября и 25 декабря), а в [4, с. 35] утверждается, что это происходит 15 апреля, 14 июня, 1 сентября и 24 декабря. Даты экстремальных значений указаны на одни сутки позже в [2] по сравнению с [3], где приводятся следующие значения: 11 февраля, 14 мая, 26 июля, 3 ноября. В [4, с. 35] для главных экстремумов приводятся даты 11 февраля и 2 ноября.

Достоинство рассмотренного подхода – простой учет двух главных факторов, влияющих на η . Недостаток – расхождение между реально

наблюдаемыми и вычисляемыми по (1) и (2) днями, в которые величина η должна быть экстремальной или равняться нулю. Расхождение получается при использовании коэффициентов как из [2], так и из [3] и может находиться в пределах от 0 до 3 суток.

В силу того что коэффициенты A_k в [2] и [3] приводятся с учетом поправок к двум синусоидам, следует предположить, что в используемой нами упрощенной модели их значения должны быть несколько иными. Если их, как и t_{0k} , считать неизвестными величинами, то всего получается 4 неизвестных. Общее число уравнений, однако, равно 12 вследствие 4 дат прохождения через ноль, 4 дат прохождения через экстремальные значения (по 2 максимума и минимума) и 4 условий локального экстремума (для доказательства того, что предыдущие 4 условия соответствуют не просто конкретно заданным значениям, а именно экстремальным).

Очевидно, что найти 4 параметра, удовлетворяющие 12 нелинейным условиям, невозможно, поэтому предполагается, что нужно отдельно решать по 4 уравнения, после чего усреднять результаты. Более подходящими для решения такой задачи можно считать системы компьютерной алгебры, поскольку, например, «Поиск решения» в MS Excel дает результаты, которые можно считать не более чем удовлетворительными (с точки зрения остаточной погрешности). При этом упомянутые выше расхождения расчетных значений с данными наблюдений сохраняются в прежнем диапазоне (различие состоит лишь в том, что, когда для одних дат согласие между расчетами и наблюдениями улучшается, для других дат оно ухудшается). Дальнейшие уточнения параметров могут быть связаны: а) с усреднением по 4-летнему юлианскому циклу или по 400-летнему григорианскому; б) с учетом медленных изменений продолжительности тропического и аномалистического года. Впрочем, приоритетным уточнением должен быть отказ от простой модели двух синусоид.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. *Астрономия : учеб. пособие* / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с.: ил.
2. Уравнение времени [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Уравнение_времени. – Дата доступа: 20.07.2022.
3. Equation of time [Electronic resource] // Wikipedia. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Equation_of_time. – Date of access: 20.07.2022.
4. Кононович, Э. В. *Общий курс астрономии : учеб. пособие* / Э. В. Кононович, В. И. Мороз ; под ред. В. В. Иванова. – Изд. 2-е, испр. – М. : Эдиториал УРСС, 2004. – 544 с.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ, З. Н. СЕРАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**ОБ УРАВНЕНИЯХ В АСТРОНОМИИ И АСТРОФИЗИКЕ,
ИМЕЮЩИХ ТОЛЬКО ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ**

В астрономии и астрофизике встречаются уравнения (в том числе трансцендентные), у которых существует только численное решение. Их изучение полезно будущим школьным учителям астрономии, а на тех физико-математических специальностях, где изучение астрономии не предусмотрено учебным планом, такие уравнения можно включить в курс основ математического моделирования. Рассмотрим некоторые примеры.

I. Трансцендентное уравнение для вспомогательной переменной ξ , по которой затем находятся радиус-вектор r и истинная аномалия θ тела Солнечной системы, движущегося по гиперболической орбите [1, с. 55]:

$$e \operatorname{sh} \xi - \xi = \frac{2\pi(t-t_0)}{T_0} \left(\frac{a_0(e-1)}{q} \right)^{3/2}, \quad (1)$$

$$r = q(e \operatorname{ch} \xi - 1)/(e - 1), \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{e^2 - 1} \operatorname{sh} \xi}{e - \operatorname{ch} \xi}. \quad (3)$$

При этом $T_0 = 1$ год (тропический), $a_0 = 1$ а.е., t_0 – начальный момент времени, t – текущий момент времени, e – эксцентриситет орбиты, q – перигелийное расстояние.

II. Уравнение для спиновой поляризации p_{0e} холодного нерелятивистского электронного газа в магнитном поле с индукцией B [2, с. 14–15]:

$$n_e (1 + p_{0e}) = \frac{(2m_e)^{3/2} \mu_B B}{\pi^2 \hbar^3} \sum_{j=0}^k \sqrt{\frac{n_e^2 p_{0e}^2 \pi^4 \hbar^6}{2m_e^3 (\mu_B B)^2} - \mu_B B \cdot 2j}. \quad (4)$$

При этом n_e – концентрация электронов, m_e – масса электрона, μ_B – магнетон Бора, \hbar – постоянная Планка. При этом значение B таково, что $k \geq 3$ (в противном случае p_{0e} можно выразить по формуле). Уравнение для релятивистского газа после несложных преобразований может быть также сведено к (4).

III. Уравнение для химического потенциала $\zeta_e(B)$ идеального вырожденного нерелятивистского электронного газа:

$$n_e = \frac{(2m_e)^{3/2} \mu_B B}{2\pi^2 \hbar^3} \left(\sqrt{\zeta_e(B)} + 2 \sum_{j=1}^k \sqrt{\zeta_e(B) - \mu_B B \cdot 2j} \right). \quad (5)$$

При этом обозначения и замечания остаются теми же, что и для уравнения (4) (при $k \leq 2$ величину $\zeta_e(B)$ можно выразить по формуле).

IV. Уравнение для химического потенциала $\chi_e(B)$ идеального вырожденного релятивистского электронного газа:

$$n_e = \frac{m_e \mu_B B}{\pi^2 \hbar^3 c} \left(\sqrt{\chi_e^2(B) - m_e^2 c^4} + 2 \sum_{j=1}^k \sqrt{\chi_e^2(B) - m_e^2 c^4 - 4jm_e c^2 \mu_B B} \right). \quad (6)$$

При этом (6) удобнее решать относительно величины $y = \chi_e^2(B) - m_e^2 c^4$, а обозначения и замечания остаются теми же, что и для уравнения (4) (при $k \leq 2$ величину y можно выразить по формуле).

Сравнительная характеристика уравнений дана ниже в таблице.

Таблица – Сравнительная характеристика уравнений

Уравнение	Может ли быть сведено к алгебраическому	Наличие свободного параметра, значение которого можно менять и строить график зависимости решения от значения параметра
I	Нет, оно трансцендентное	Время t ; при других значениях q и e получаем семейство кривых
II	Да, степени выше 4 относительно p_{0e}	Индукция B ; при других значениях n_e получаем семейство кривых
III	Да, степени выше 4 относительно $\zeta_e(B)$	Индукция B ; при других значениях n_e получаем семейство кривых
IV	Да, степени выше 4 относительно y	Индукция B ; при других значениях n_e получаем семейство кривых

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – Т. 1 : Механика. – 224 с.

2. Секержицкий, В. С. О частично поляризованном идеальном электронном газе в квантующем магнитном поле / В. С. Секержицкий, А. И. Серый // Астрофизические исследования в БрГУ имени А. С. Пушкина : сб. материалов науч.-практ. семинара, Брест, 12 апр. 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Серого. – Брест : БрГУ, 2022. – С. 14–15.

УДК 37.016:52

А. И. СЕРЫЙ, З. Н. СЕРАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**ОБ УРАВНЕНИЯХ ТРЕТЬЕЙ И ЧЕТВЕРТОЙ СТЕПЕНЕЙ
С АСТРОНОМИЧЕСКИМ И АСТРОФИЗИЧЕСКИМ
СОДЕРЖАНИЕМ**

В астрономии и астрофизике встречаются уравнения третьей и четвертой степеней. Их можно решать как методами Кардано и Феррари, так и численно. Студентам специальности «Компьютерная физика», не изучающим астрономию, такие уравнения могут быть предложены для исследования на лабораторных занятиях по дисциплине «Основы математического моделирования». Рассмотрим примеры уравнений.

I. Кубическое уравнение для вспомогательной переменной ξ , по которой затем находятся радиус-вектор r и истинная аномалия θ тела Солнечной системы, движущегося по параболической орбите [1, с. 56]:

$$\frac{\eta^3}{3} + \eta = \frac{\sqrt{2}\pi(t-t_0)}{T_0} \left(\frac{a_0}{q} \right)^{3/2}, \quad (1)$$

$$r = q(1 + \eta^2), \quad (2)$$

$$\eta = \operatorname{tg}(\theta/2). \quad (3)$$

При этом $T_0 = 1$ год (тропический), $a_0 = 1$ а.е., t_0 – начальный момент времени, t – текущий момент времени, e – эксцентриситет орбиты, q – перигелийное расстояние.

II. Уравнение для спиновой поляризации p_{0e} крайне вырожденного нерелятивистского электронного газа в магнитном поле с индукцией B :

$$n_e(1 + p_{0e}) = \frac{(2m_e)^{3/2} \mu_B B}{\pi^2 \hbar^3} \sum_{j=0}^2 \sqrt{\frac{n_e^2 p_{0e}^2 \pi^4 \hbar^6}{2m_e^3 (\mu_B B)^2} - \mu_B B \cdot 2j}. \quad (4)$$

При этом n_e – концентрация электронов, m_e – масса электрона, μ_B – магнетон Бора, \hbar – постоянная Планка. Уравнение (4) справедливо в определенном диапазоне значений B . Уравнение для релятивистского газа после несложных преобразований может быть также сведено к (4). Уравнение (4) после некоторых преобразований (в том числе двукратного возведения в квадрат) сводится к уравнению степени 4 относительно p_{0e} .

III. Уравнение для химического потенциала $\zeta_e(B)$ идеального вырожденного нерелятивистского электронного газа:

$$n_e = \frac{(2m_e)^{3/2} \mu_B B}{2\pi^2 \hbar^3} \left(\sqrt{\zeta_e(B)} + 2 \sum_{j=1}^2 \sqrt{\zeta_e(B) - \mu_B B \cdot 2j} \right). \quad (5)$$

При этом обозначения остаются теми же, что и для уравнения (4). Уравнение (5) справедливо в определенном диапазоне значений B и после некоторых преобразований (в том числе двукратного возведения в квадрат) сводится к уравнению степени 4 относительно $\zeta_e(B)$.

IV. Уравнение для химического потенциала $\chi_e(B)$ идеального вырожденного релятивистского электронного газа:

$$n_e = \frac{m_e \mu_B B}{\pi^2 \hbar^3 c} \left(\sqrt{\chi_e^2(B) - m_e^2 c^4} + 2 \sum_{j=1}^2 \sqrt{\chi_e^2(B) - m_e^2 c^4 - 4jm_e c^2 \mu_B B} \right). \quad (6)$$

При этом (6) удобнее решать относительно величины $y = \chi_e^2(B) - m_e^2 c^4$, а обозначения остаются теми же, что и для уравнения (4). Уравнение (6) справедливо в определенном диапазоне значений B и после некоторых преобразований (в том числе двукратного возведения в квадрат) сводится к уравнению степени 4 относительно y .

Сравнительная характеристика уравнений дана ниже в таблице.

Таблица – Сравнительная характеристика уравнений

Уравнение	Уравнением какой степени является	Наличие свободного параметра, значение которого можно менять и строить график зависимости решения от значения параметра
I	Третьей (кубическое)	Время t ; при других значениях q и e получаем семейство кривых
II	Сводится к уравнению степени 4	Индукция B ; при других значениях n_e получаем семейство кривых
III	Сводится к уравнению степени 4	Индукция B ; при других значениях n_e получаем семейство кривых
IV	Сводится к уравнению степени 4	Индукция B ; при других значениях n_e получаем семейство кривых

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – Т. 1 : Механика. – 224 с.

УДК 519.2

Я. С. СИТКОВЕЦ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В самом узком смысле компьютерная модель – это отдельная программа либо программный комплекс, которые позволяют при помощи вычислений и графического отображения результатов воспроизводить реальные объекты и процессы при воздействии на них различных факторов. Обычно это модель системы реального мира (хотя рассматриваемая система может быть воображаемой или гипотетической). Такая компьютерная программа представляет собой компьютерную имитационную модель. Алгоритм принимает в качестве входных данных спецификацию состояния системы (значения всех ее переменных) в некоторый момент времени t . Затем он вычисляет состояние системы в момент времени $t + 1$. Из значений, характеризующих это второе состояние, затем вычисляет состояние системы в момент времени $t + 2$ и т. д. При запуске на компьютере алгоритм, таким образом, создает численную картину эволюции состояния системы, как это концептуализировано в модели.

В более широком смысле мы можем рассматривать компьютерное моделирование как комплексный метод изучения систем. В этом более широком смысле метод относится ко всему процессу. Сам процесс включает в себя: выбор модели; поиск способа реализации этой модели в форме, которую можно запустить на компьютере; вычисление выходных данных алгоритма; визуализацию и изучение результирующих данных. Другими словами, включает в себя весь процесс, используемый для создания выводов о целевой системе, которую пытаются смоделировать, а также процедуры, используемые для санкционирования этих выводов.

Оба вышеприведенных определения предполагают, что компьютерное моделирование в основном связано с использованием компьютера для решения или приближенного решения математических уравнений модели, которая предназначена для представления некоторой системы – реальной или гипотетической [2, с. 8]. Другой подход состоит в том, чтобы попытаться определить «симуляцию» независимо от понятия компьютерного моделирования, а затем определить «компьютерное моделирование» композиционно – как симуляцию, выполняемую запрограммированным компьютером. При таком подходе симуляция – это любая система, которая

обладает динамическим поведением, достаточно похожим на какую-либо другую систему, так что первую можно изучать, чтобы узнать о второй.

Роль информационно-компьютерных технологий в исследовании физических явлений трудно переоценить. Физика – наука экспериментальная. В условиях лаборатории не всегда возможно продемонстрировать физические процессы или провести эксперименты. К примеру, компьютерные технологии могут быть полезны при моделировании процессов молекулярной физики. Одним из таких процессов является броуновское движение, которое мы рассматриваем в своей работе. Броуновское движение является важной формой флуктуации (движение мельчайших частиц в жидкости), обнаруженному в 1827 г. английским ботаником Р. Броуном. Моделирование движения выполняется путем пошаговой итерации после определения начального положения броуновских частиц. Ключевым моментом здесь является получение унитарного случайного вектора \mathbf{k} , который отличается в одно-, двух- и трехмерных случаях. Взяв MATLAB в качестве примера, мы генерируем случайные числа из его генераторов случайных чисел.

В одномерном случае частицы могут перемещаться только в положительном или отрицательном направлении оси x . В 2D-случае частица может двигаться под любым углом на плоскости, поэтому для каждого шага мы можем просто сгенерировать случайное число θ (согласно его роли в полярных координатах), которое находится между 0 и 2π , как направление движения частицы. Трехмерный случай более сложен. Общая идея состоит в том, чтобы определить два случайных числа θ и ϕ (согласно их роли в сферических координатах) аналогичным образом для 2D-случая. Однако это вызывает проблему, заключающуюся в том, что унитарный вектор случайной вероятности \mathbf{k} неравномерно распределен на единичной сфере. Решением данной проблемы мы занимаемся. Результаты будут опубликованы в последующих работах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stanford Encyclopedia of Philosophy [Electronic resource]. – Mode of access: <https://plato.stanford.edu/entries/simulations-science/>. – Date of access: 05.10.2022.
2. Heermann, D. W. Computer Simulation Methods in Theoretical Physics / D. W. Heermann. – 2nd ed. – Berlin ; Heidelberg : Springer, 1990. – 24 p.

УДК 519.2

Е. А. СОКОЛОВСКАЯ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ВОЛН

Обращаясь к термину «компьютерное моделирование», в общем смысле его воспринимают как визуализацию физических или математических явлений и (или) их исследование, используя один или несколько вычислительно-визуальных инструментов. Компьютерная модель используется для получения новых знаний об объекте или для приближенной оценки поведения систем, слишком сложных для аналитического исследования.

В нашей дипломной работе на тему «Компьютерное моделирование оптических явлений» рассматриваются и моделируются ряд оптических явлений, такие как преломление и отражение луча, интерференция, дифракция и дисперсия.

Для простоты мы рассматриваем дифракционную картину, возникающую при прохождении света через щель в непрозрачном экране. Для написания исходного уравнения используем принцип Гюйгенса: каждая точка фронта (поверхности, достигнутой волной) является вторичным (т. е. новым) источником сферических волн.

Для облегчения расчетов считаем, что в плоскости щели a амплитуды и фазы падающих волн одинаковы. Разобьем щель на зоны Френеля. Число зон Френеля, укладывающихся в щели, будет равно:

$$n = \frac{2a \sin \varphi}{\lambda}. \quad (1)$$

Мы видим, что число n при постоянных a и λ зависит от угла наблюдения φ . Чем больше угол наблюдения, тем больше число зон Френеля укладывается в щели. Таким образом, под углами, соответствующими четным n , мы будем наблюдать темноту. Формула, определяющая эти углы, имеет следующий вид:

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2}. \quad (2)$$

Когда n равно нечетному числу, то действие остальных зон взаимно компенсируется. В этом случае мы наблюдаем максимум света.

Формула, определяющая направление максимумов света, имеет следующий вид:

$$a \sin \varphi = 2(k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Вследствие наблюдения мы замечаем, что в пространстве за щелью вместо геометрического силуэта щели получаются полосы. По мере удаления от центральной (нулевой) полосы, которой соответствует разность хода нуль, интенсивность отдельных полос быстро убывает. Чем уже щель, тем дальше отдаляются друг от друга дифракционные полосы.

При рассмотрении варианта дифракционной решетки, когда ряд последовательных щелей с одинаковой шириной a и расположенных на равных расстояниях друг от друга b , то в случае дифракции каждая щель является самостоятельным источником когерентных колебаний. Таким образом, речь идет о сложении большого числа когерентных колебаний с равными амплитудами и постоянной разностью хода. Тогда формула для определения направлений максимумов/минимумов приобретает вид:

$$2(a + b) \sin \varphi = k \frac{\lambda}{2}. \quad (4)$$

Для моделирования явления «дифракция» будем использовать прикладную программу OptiFDTD. Данная программа позволяет исследовать пассивные устройства интегральной и дифракционной оптики, позволяет проследить эффекты дифракции, рассеяния, поглощения, отражения на субмикронном уровне.

При выполнении всех необходимых операций, которые описаны в дипломной работе, в результате мы будем наблюдать дифракционную картину, параметры которой можно будет изменять. Результаты данной работы будут опубликованы в последующем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замятина, О. М. Компьютерное моделирование : учеб. пособие / О. М. Замятина ; Томский политехн. ун-т. – Томск, 2007. – 220 с.
2. Путилов, К. А. Курс физики : учеб. пособие. Т. 3. Оптика, атомная физика, ядерная физика / К. А. Путилов, В. А. Фабрикант ; ГИФМЛ. – М., 1963. – 620 с.
3. French, A. P. Vibrations and Waves / A. P. French. – New York : W. W. Norton & Co, 1971. – 320 с.
4. Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике : в 2 т. / Х. Гулд, Я. Тобочник. – М. : Мир, 1992. – Т. 1. – 420 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Антонюк В. С., Котловский О. А. Контрольно-измерительные средства в системе оценивания учебных достижений учащихся по физике.....	3
Величко Л. А., Ворсин Н. Н., Кушнер Т. Л. Методика объяснения работы термоэлемента на основании второго закона термодинамики	4
Данилюк Я. Э., Котловский О. А. Формирование познавательного интереса учащихся в ходе демонстрационного физического эксперимента.....	7
Демидчик А. В. Решение задач с графически заданным условием при изучении темы «Тепловые явления» в 8 классе	8
Дордюк И. А., Сендер Н. Н. Затухающие колебания. Приближенное решение	10
Зарецкий А. В. Термоэлектрические свойства $Bi_{1-x}Sb_x$ в интервале концентраций $x = 0-0,25$	12
Зарецкий А. В., Сендер Н. Н. Случай большого сопротивления при затухающих колебаниях.....	13
Кац П. Б., Кудравец А. В. Метод LQZ_{s2a4d} для элементов с $z = 80, 81, 83-89$ и 91	15
Кац П. Б., Куликович Н. И. Дважды модифицированный метод LQZ для элементов с $Z = 51-56$	17
Кац П. Б., Куликович Н. И., Римашевская А. С. Сравнение точности дважды и трижды модифицированного методов LQZ для элементов от олова до бария.....	20
Кац П. Б., Римашевская А. С. Метод LQZ_{m3} для элементов с $z = 50-56$	22
Кац П. Б., Римашевская А. С. Трижды модифицированный метод LQZ для первых десяти элементов Периодической системы Д. И. Менделеева..	24
Кац П. Б., Семенюк О. А. О методике рассмотрения явления резонанса при наличии сопротивления.....	27
Кац П. Б., Семенюк О. А. О некоторых неточностях в школьном учебнике по астрономии.....	29
Кац П. Б., Семенюк О. А. Предлагается новая задача на движение в центральном поле	32
Киричук В. В., Сендер Н. Н. Затухающие колебания. Точное решение...	34
Королюк А. Д., Котловский О. А. Некоторые аспекты использования цифровых технологий при обучении физике в школе	36
Котловский О. А. Некоторые актуальные проблемы методики преподавания физики в современных условиях	37

Котович О. А. Гальваномагнитные свойства многокомпонентных твердых растворов на основе Vi и Sb	38
Котович О. А., Сендер Н. Н. Колебательный контур в цепи переменного тока. Резонанс напряжений.....	39
Кушнер Т. Л., Величко Л. А. Об одном из аспектов повышения качества образования.....	41
Макоед И. И., Бартошук И. А., Горбачик Д. Н. Оптическая спектроскопия фундаментальных колебаний катионзамещенного феррита висмута.....	42
Макоед И. И., Горбачик Д. Н., Бартошук И. А. Оптическая спектроскопия колебаний решетки ортоферритов.....	44
Марзан С. А. Сопоставление классического и дробного анализа в преподавании математического анализа студентам физических специальностей.....	46
Минич А. С., Серый А. И. К методике преподавания темы «Разновидности связей электронов в атомах».....	50
Сендер Н. Н., Честный Д. В. Параллельное включение индуктивности и емкости. Резонанс токов.....	51
Серый А. И. К вопросу о классификации квантовых теорий поля.....	53
Серый А. И. К вопросу об изучении темы «Цефеиды».....	54
Серый А. И. К методике изучения темы «Движение искусственных тел» в курсе астрономии.....	55
Серый А. И. К методике преподавания темы «Импульс ферми».....	56
Серый А. И. О влиянии потенциальной ямы и магнитного поля на состояние заряженной частицы.....	57
Серый А. И. О классификации поправок к формуле Резерфорда.....	58
Серый А. И. О некоторых разновидностях года.....	60
Серый А. И. О подходах к классификации объектов Солнечной системы.....	61
Серый А. И. О поляризации невырожденного релятивистского электронного газа в магнитном поле.....	62
Серый А. И. О различии между тропическими и звездными промежутками времени в астрономии.....	63
Серый А. И. О различных вариантах смыслового содержания понятия «звездное время в среднюю гринвичскую полночь» в курсе астрономии.....	64
Серый А. И. О различных масштабах протон-протонного взаимодействия.....	66
Серый А. И. О разновидностях года и месяца в астрономии.....	67
Серый А. И. О разновидностях заземлений.....	68
Серый А. И. О разновидностях оптоволоконных кабелей.....	69

Серый А. И. О рассеянии электронов на протонах при различных энергиях.....	70
Серый А. И. О способах вычисления звездного времени в произвольный момент на заданном меридиане	71
Серый А. И. О термодинамических характеристиках идеального невырожденного релятивистского бозе-газа в квантующем магнитном поле	73
Серый А. И. О термодинамических характеристиках идеального невырожденного релятивистского электронного газа в магнитном поле...	75
Серый А. И. О трех уровнях теорий взаимодействия нуклонов.....	77
Серый А. И. Об изучении темы «Пространственное и линейное зашумление»	78
Серый А. И. Об изучении темы «Фильтрация информационных сигналов».....	80
Серый А. И. Об оптоволоконных и металлических кабелях.....	82
Серый А. И. Об основных направлениях термодинамики	83
Серый А. И. Об основных разновидностях смарт-карт	84
Серый А. И. Об условиях возникновения голдстоуновских бозонов	85
Серый А. И. Об экранировании электромагнитных полей	86
Серый А. И. Сравнительная характеристика двух задач квантовой механики электрона в квантующем магнитном поле.....	87
Серый А. И. Сравнительная характеристика некоторых акустических каналов утечки информации	88
Серый А. И. Сравнительная характеристика основных методов атак на смарт-карты.....	89
Серый А. И. Сравнительная характеристика основных «стандартных свечей» в астрономии	90
Серый А. И. Сравнительная характеристика функций состояния и процесса в термодинамике	91
Серый А. И. Уровни сложности теории ядерных сил.....	92
Серый А. И., Серая З. Н. О нахождении условий наблюдения полного лунного затмения.....	94
Серый А. И., Серая З. Н. Об изучении темы «Уравнение времени» в вузовском курсе астрономии.....	95
Серый А. И., Серая З. Н. Об уравнениях в астрономии и астрофизике, имеющих только численное решение	97
Серый А. И., Серая З. Н. Об уравнениях третьей и четвертой степеней с астрономическим и астрофизическим содержанием.....	99
Ситковец Я. С. О компьютерном моделировании физических процессов.....	101
Соколовская Е. А. Компьютерное моделирование дифракции волн	103

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ
БУДУЩИХ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ**

Материалы семинара

Подписано в печать 22.12.2022. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. 6,28. Уч.-изд. л. 6,08.

Тираж 50 экз. Заказ № 427.

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.