

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

## **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

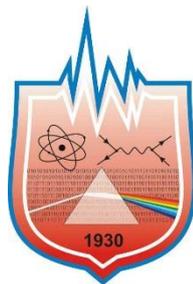
Материалы VI Республиканской  
научной конференции  
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 26 апреля 2017 года)

В трёх частях

Часть 2

Электронное издание



Co-funded by the  
Tempus Programme  
of the European Union

Гомель  
ГГУ имени Ф. Скорины  
2017

УДК 530

**Актуальные вопросы физики и техники** [Электронный ресурс] : VI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов (Гомель, 26 апреля 2017 г.) : материалы : в 3 ч. Ч. 2. – Электрон. дан. (6,48 МБ). – Гомель: ГГУ имени Ф. Скорины, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: IBM-совместимый компьютер; Windows XP; ОЗУ 512 Мб; CD-ROM 8-х и выше. – Загл. с этикетки диска.

В материалах республиканской конференции рассматриваются актуальные общетеоретические и прикладные проблемы физики и техники. Издание состоит из трёх частей. В первой части представлены исследования новых материалов и технологий, даются рекомендации по использованию их в промышленности, медицине и народном хозяйстве. Во второй части обсуждаются вопросы моделирования физических процессов, а также методики преподавания физики в школе и вузе. Третья часть содержит материалы по проблемам использования информационных технологий в научных исследованиях, процессах и системах передачи, хранения и защиты информации.

Предназначены для студентов, учителей школ, гимназий, колледжей, преподавателей вузов.

**Редакционная коллегия:**

С. А. Хахомов (главный редактор),  
О. М. Демиденко, И. В. Семченко,  
А. Н. Сердюков, Ю. В. Никитюк,  
А. Н. Купо (ответственный секретарь),  
В. В. Андреев, Е. А. Дей, В. Д. Левчук, А. В. Воруев, В. Н. Мышковец,  
В. Е. Гайшун, Е. Б. Шершнев, Т. П. Желонкина

УО «ГГУ имени Ф. Скорины»  
246019, Гомель, ул. Советская, 104,  
тел. (232) 57-16-73, 57-75-20  
<http://www.gsu.by>

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный университет  
имени Франциска Скорины», 2017

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Хахомов С. А.** – ректор УО «ГГУ имени Ф. Скорины»,  
канд. физ.-мат. наук, доцент

### ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

**Семченко И. В.** – проректор по учебной работе УО «ГГУ имени  
Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, профессор

**Демиденко О.М.** – проректор по научной работе УО «ГГУ имени  
Ф. Скорины», д-р техн. наук, профессор

**Никитюк Ю.В.** – проректор по воспитательной работе УО «ГГУ  
имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук,  
доцент

**Крук А.В.** – проректор по учебной работе УО «ГГУ имени  
Ф. Скорины», канд. биол. наук, доцент

**Максименко Н. В.** – профессор кафедры теоретической физики  
УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат.  
наук, профессор

**Бойко А.А.** – проректор по научной работе ГГТУ им.  
П.О. Сухого, д-р техн. наук, доцент

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Сердюков А. Н.** – профессор кафедры оптики УО «ГГУ  
имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук,  
профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

### ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

**Коваленко Д. Л.** – декан факультета физики и информационных  
технологий УО «ГГУ имени Ф. Скорины»,  
канд. физ.-мат. наук, доцент

### ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

**Дерюжкова О. М.** – заместитель декана факультета физики и  
информационных технологий УО «ГГУ имени  
Ф. Скорины» по научной работе, канд. физ.-мат.  
наук, доцент

**Самофалов А. Л.** – заместитель декана факультета физики и  
информационных технологий УО «ГГУ имени  
Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

**Алешкевич Н. А.** – заведующий кафедрой оптики УО «ГГУ  
имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

- Андреев В. В.** – заведующий кафедрой теоретической физики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, доцент
- Левчук В. Д.** – заведующий кафедрой АСОИ УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. техн. наук, доцент
- Мышковец В. Н.** – заведующий кафедрой радиофизики и электроники УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент
- Шершнев Е. Б.** – заведующий кафедрой общей физики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. техн. наук, доцент
- Бабич А. А.** – заведующий кафедрой «Высшая математика» ГГТУ им. П.О. Сухого, канд. физ.-мат. наук, доцент

#### ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

- Купо А.Н.** – заместитель декана факультета физики и информационных технологий УО «ГГУ имени Ф. Скорины» по НИРС, канд. техн. наук

### СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

#### 1. «Новые материалы и технологии»

##### *Председатели:*

Мышковец Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.  
Алешкевич Николай Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

#### 2. «Моделирование физических процессов»

##### *Председатели:*

Андреев Виктор Васильевич, д-р физ.-мат. наук, доцент.  
Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

#### 3. «Автоматизация исследований»

##### *Председатели:*

Левчук Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент.  
Воруев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

#### 4. «Методика преподавания физики»

##### *Председатели:*

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.  
Желонкина Тамара Петровна, ст. преподаватель.

## ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

26 апреля 2017г.

9<sup>00</sup> – 11<sup>00</sup> – регистрация участников – корпус 5, фойе второго этажа (ул. Советская, 102).

11<sup>00</sup> – 12<sup>00</sup> – открытие конференции, пленарное заседание – корпус 4, ауд. 4-1 (ул. Советская, 102).

12<sup>00</sup> – 15<sup>00</sup> – работа секций.

### МЕСТА РАБОТЫ СЕКЦИЙ

1. **«Новые материалы и технологии»**  
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-11.
2. **«Моделирование физических процессов»**  
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-25.
3. **«Автоматизация исследований»**  
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-16.
4. **«Методика преподавания физики»**  
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-28.

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

1. Семченко И.В. д-р физ.-мат. наук, профессор, проректор по учебной работе УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

#### **Открытие конференции**

2. Рогачёв А.В. член-корреспондент НАН Беларуси, директор Научно-исследовательского физико-химического института УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

#### **Плазмохимические методы формирования нанокпозиционных покрытий**

3. Самофалов А.Л. канд. физ.-мат. наук, заместитель декана факультета физики и информационных технологий УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

**Участие факультета физики и информационных технологий в программе Erasmus+. Проект «Совершенствование магистерского образования в области физических наук в белорусских университетах»**

4. Бекаревич Р.В. PhD Global Research Center for Environment and Energy based on Nanomaterials Science, National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan

**La ordering in epitaxial  $\text{Li}_{3x}\text{La}_{2/3-x}\text{TiO}_3$  films and its effects on Li-ion conduction**

5. Сидский В.В. научный сотрудник ПНИЛ ПМ  
УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

**Получение золь-гель методом наноструктурированных материалов на основе танталата (танталата-ниобата) висмут-стронция для конденсаторных структур**

## Секция 2. Моделирование физических процессов

### *Председатели:*

Андреев Виктор Васильевич, д-р физ.-мат. наук, доцент.

Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

**М.А. Аманова** (УО «МГПУ имени И.П. Шамякина», Мозырь)

Науч. рук. **В.В. Шепелевич**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### **О ПРИМЕНЕНИИ КОВАРИАНТНЫХ МЕТОДОВ АКАДЕМИКА Ф.И. ФЕДОРОВА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОТЛИЧНЫХ ОТ НУЛЯ КОМПОНЕНТ ТЕНЗОРОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В КРИСТАЛЛАХ**

Определить отличные от нуля компоненты тензора четвертого ранга в различных классах кристаллов можно разными методами.

Один из них, матричный метод, подробно описан в [1]. Он может применяться к тензорам второго и третьего ранга, но к тензорам четвертого ранга и выше применять его, по нашему мнению, нецелесообразно. В этом случае ковариантный метод академика Ф.И. Федорова быстрее приводит к результату.

Методику применения метода Ф.И. Федорова [2] для определения отличных от нуля компонент тензора четвертого ранга  $f_{ijmr}$ , который характеризует пространственную дисперсию [3, 4] пьезоэлектрических свойств кубического кристалла класса 23, попытаемся представить в настоящей работе.

Тензор упругих напряжений  $T_{ij}$ , определенный в [5, 6], включает тензор  $f_{ijmr}$  в виде слагаемого  $-f_{ijmr} \frac{\partial E_m}{\partial x_r}$ , где  $E_m$  – компонента вектора электрического поля в кристалле,  $x_r$  – декартова координата точки.

В символике Бравэ (см. [7]) кристалл класса 23 имеет формулу симметрии  $3L_24L_3$ . Это означает, что в кристалле класса 23 имеются три оси симметрии второго порядка и четыре оси третьего порядка. Поэтому к кристаллу класса 23 применяется преобразование «ось симметрии». Преобразование типа «ось симметрии» представляет собой поворот на фиксированные углы  $\varphi_k = 2\pi/k$ , где  $k = 2, 3, 4, 6$ . В этом случае кристалл обладает осью  $k$ -го порядка, которая обозначается как  $L_k$  или просто числом  $k$ .

Поворот на угол вокруг единичного вектора  $\mathbf{c}$  выполняется по Федорову Ф.И. с помощью следующего преобразования [8]:

$$S_k = \cos\varphi_k + 1 - \cos\varphi_k \mathbf{c} \cdot \mathbf{c} + \sin\varphi_k \mathbf{c}^*. \quad (1)$$

Тензор четвертого ранга обладает  $3^4 = 81$  компонентами. Некоторые тензоры четвертого ранга являются симметричными по двум парам индексов. Благодаря условиям симметрии число независимых компонент у этих тензоров уменьшается. В таких случаях бывает удобно заменять индексы тензора четвертого ранга по следующей схеме [2]:

$$\begin{aligned} (11) &\leftrightarrow 1, & (22) &\leftrightarrow 2, & (33) &\leftrightarrow 3, \\ (23) = (32) &\leftrightarrow 4, & (13) = (31) &\leftrightarrow 5, & (12) = (21) &\leftrightarrow 6. \end{aligned} \quad (2)$$

Мы рассматриваем тензор четвертого ранга  $f_{ijmr}$  на основе соотношений, установленных в [5, 6]. Легко видеть, что рассматриваемый тензор симметричен только по двум первым индексам.

Ниже мы приводим схематическое представление методики применения ковариантного подхода к задаче определения отличных от нуля компонент тензора  $f_{ijmr}$  в кристалле класса 23.

Сначала рассматривалось влияние трех осей симметрии второго порядка на компоненты тензора  $f_{ijmr}$ . В кристалле класса 2 при совпадении вектора  $\mathbf{c}$  в (1) с единичным вектором  $\mathbf{e}_2$  кристаллофизической системы координат отличными от нуля являются независимые компоненты тензора

$$f_{ijmr}: f_{1111}, f_{1122}, f_{1133}, f_{1113}, f_{1131}, f_{2211}, f_{2222}, f_{2233}, f_{2213}, f_{2231}, f_{3311}, f_{3322}, f_{3333}, f_{3313}, f_{3331}, f_{2323}, f_{2312}, f_{2332}, f_{2321}, f_{3111}, f_{3122}, f_{3133}, f_{3113}, f_{3131}, f_{1223}, f_{1212}, f_{1232}, f_{1221}.$$

Если вектор  $\mathbf{c}$  совпадает с единичным вектором  $\mathbf{e}_3$ , то отличными от нуля компонентами являются

$$f_{1111}, f_{1122}, f_{1133}, f_{1112}, f_{1121}, f_{2211}, f_{2222}, f_{2233}, f_{2212}, f_{2221}, f_{3311}, f_{3322}, f_{3333}, f_{3312}, f_{3321}, f_{2323}, f_{2313}, f_{2332}, f_{2331}, f_{3123}, f_{3113}, f_{3132}, f_{3131}, f_{1211}, f_{1222}, f_{1233}, f_{1212}, f_{1221}.$$

В кристалле класса 23 оба рассмотренные выше условия должны выполняться одновременно. Поэтому из перечисленных наборов компонент выбираем те независимые компоненты, которые повторяются в обоих наборах, то есть компоненты

$$f_{1111}, f_{1122}, f_{1133}, f_{2211}, f_{2222}, f_{2233}, f_{3311}, f_{3322}, f_{3333}, f_{2323}, f_{2332}, f_{3113}, f_{3131}, f_{1212}, f_{1221}.$$

Далее рассматривалось влияние четырех осей третьего порядка на компоненты тензора  $f_{ijmr}$ . Оси третьего порядка расположены вдоль

диагоналей элементарной кубической ячейки кристалла. Одна из таких осей определяется равенством:

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_2 + \mathbf{e}_3}{\sqrt{3}}. \quad (3)$$

Применяя формулу (3) с различными вариантами знаков в числителе и используя принцип Неймана, приходим в конечном счете с учетом симметрии тензора  $f_{ijmr}$  по двум первым индексам к следующей матрице отличных от нуля компонент этого тензора:

$$\begin{pmatrix} f_{1111} & f_{1122} & f_{1133} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_{1133} & f_{1111} & f_{1122} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_{1122} & f_{1133} & f_{1111} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & f_{2323} & 0 & 0 & f_{2332} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & f_{2323} & 0 & 0 & f_{2332} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{2323} & 0 & 0 & f_{2332} \end{pmatrix}$$

Подобный метод расчета для электрооптического тензора третьего ранга представлен в [9].

Таким образом, ковариантный метод для определения отличных от нуля компонент тензора  $f_{ijmr}$  представляется нам более простым и удобным, чем матричный метод.

Предложенная методика применения симметрии кристалла для определения ненулевых компонент тензора четвертого ранга может быть сверена с результатами [7], а также расширена на случай тензора пятого ранга.

## Литература

1. Най, Дж. Физические свойства кристаллов / Дж. Най. – М. : Мир, 1967. – С. 161–173.
2. Федоров, Ф.И. Теория упругих волн в кристаллах / Ф.И. Федоров. – Минск : Наука, 1965. – С. 45–65.
3. Вужва, А.Д., Лямов, В.Е. // Кристаллография / А.Д. Вужва, В.Е. Лямов. – 1997. – Т. 22, № 1. – С. 131–137.
4. Лямов В.Е. поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах / В.Е. Лямов. – М. : Изд-во МГУ, 1983 – 226 с.
5. Обнаружение вклада обратного флексоэлектрического эффекта в фоторефрактивный отклик в монокристалле титаната висмута / С.М. Шандаров, С.С. Шмаков, Н.И. Буримов[и др.] // Письма в ЖЭТФ. – 2012. – Т. 95, В. 12. – С. 699–702.

6. Вклад обратного флексоэлектрического эффекта в фоторефрактивный отклик в титанате висмута / С.М. Шандаров, Н.И. Буримов, С.С. Шмаков [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. – 2012. – Т. 76, № 12. – С. 1452–1455.

7. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики / Ю.И. Сиротин, М.П. Шаскольская. – М. : Наука, 1975. – С. 45–67.

8. Федоров, Ф.И. Теория гиротропии / Ф.И. Федоров. – Минск : Наука и техника, 1976. – С. 236–251.

9. Шепелевич В.В. Голография в фоторефрактивных оптически активных кристаллах / В.В. Шепелевич. – Минск : Изд. центр БГУ, 2012. – С. 72–84.

**М. С. Баранова, Д. Ч. Гвоздовский, В. А. Скачкова**  
(УО «БГУИР», Минск)

Науч. рук. **В. Р. Стемпицкий**, канд. техн. наук, доцент

## **СВОЙСТВА ГРАФЕНОСОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУР КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

В стандартной конфигурации монослой графена имеет нулевую ширину запрещенной зоны и с точки зрения проводимости является полуметаллом, что ограничивает возможности его эффективного использования в качестве элемента электронных приборов. Ряд технологических и конструктивных решений может придать графеновым пленкам свойства полупроводника, увеличив ширину запрещенной зоны.

Сформировать запрещенную зону в графене возможно путем использования графеновых нанолент, в которых из-за квантовых ограничений образуется запрещенная зона; формированием структур из нескольких слоев (гетероструктур); использованием легированного и напряженного графена; воздействием внешнего электромагнитного поля на многослойный графен [1].

Перспективным решением, которое обеспечивает формирование энергетического зазора в графене при сохранении высокого значения подвижности носителей заряда является создание гетероструктур типа «графен – цинксодержащий материал» [2].

Кроме того, особый интерес представляет зависимость электронных свойств графена от количества слоев и их взаимного расположения, а также от используемой подложки.

В стабильном монокристаллическом образце графита слои преимущественно упакованы по АВ схеме взаимного расположения.

Для упаковки по АА схеме узлы кристаллической решетки находятся точно друг под другом, в то время как типу АВ упаковки, наиболее стабильному, соответствует конфигурация, где второй слой графена повернут относительно первого на  $60^\circ$ .

Таким образом, исследование указанных особенностей обеспечит возможности эффективного управления свойствами графена, например, для применения в качестве конструктивного элемента транзистора.

Прежде, чем переходить к квантово-механическому исследованию электронных свойств слоистых структур необходимо получить структурные параметры для различных вариантов упаковки графена и количества слоев. В частности, с помощью квантово-механического моделирования в программном пакете VASP, определить межслоевое расстояние для широко изученного двухслойного графена, сравнить с имеющимися теоретическими и экспериментальными работами и обоснованно сделать выбор в пользу одного из функционалов. Далее, используя выбранные параметры моделирования, получить значения межслоевого расстояния для трехслойного графена и гетероструктур.

Ниже представлены результаты компьютерного моделирования из первых принципов для следующих систем двухслойного и трехслойного графена с различным взаимным расположением нанослоев (тип АА – узлы кристаллической решётки слоёв графена находятся точно друг под другом; тип АВ – второй слой графена развёрнут на  $60^\circ$  относительно первого), а также двухслойного графена на подложке ZnS (рисунок 1).

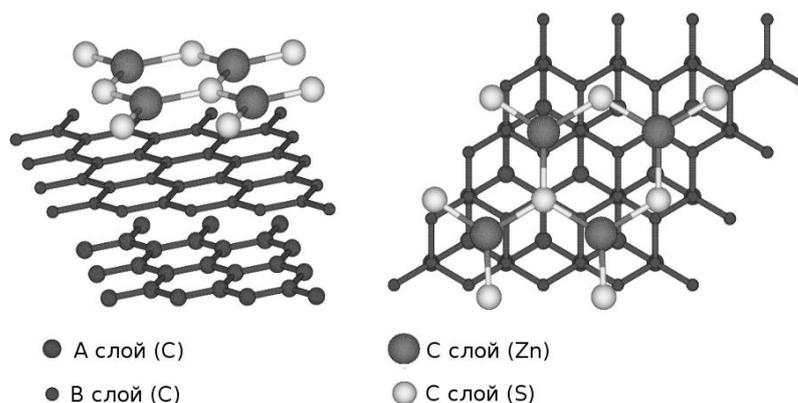


Рисунок 1– Гетероструктура ZnS – двухслойный АВ графен

Взаимодействие между атомными остовами и валентными электронами описывалось методом присоединенных плоских волн (PAW). Структурная оптимизация считалась достигнутой при разнице полной энергии менее  $1 \cdot 10^{-6}$  эВ между двумя последними шагами. Значения энергии обрезания и количества  $k$ -точек выбиралось исходя из тестовых расчетов по достижению критерия сходимости.

Интегрирование в импульсном пространстве проводилось по сетке  $k$ -точек  $8 \times 8 \times 1$  сгенерированной по Гамма схеме. Энергией обрезания составляла 450 эВ.

Рассчитана полная энергия системы для различных межслоевых расстояний. Для описания волновых функций валентных электронов были выбраны два функционала, учитывающие силы Ван-дер-Ваальса, реализованные в программном пакете VASP. Наилучшее согласие результатов моделирования с опубликованными экспериментальными данными и теоретическими исследованиями обеспечивает функционал DFT-D2 (таблица 1). Основному состоянию изучаемых систем соответствует межслоевое расстояние с минимальным значением энергии.

Использование функционала vdW-DF приводит к переоценке межслоевого расстояния, что также согласуется с другими теоретическими расчетами [3].

Для взаимного расположения слоев графена, упакованного по AA схеме, обнаружено, что энергия системы больше, чем для AB систем на 5,7 мэВ для двухслойного и на 7,9 мэВ для трехслойного графена.

Таблица 1 – значение структурных параметров

Структура	vdW-DF	DFT-D2	Экспериментальные и теоретические результаты	
2AA	3,76	3,53	3,60 (LDA) [3] 3,65 (vdW-DF)	3,55 [4] 3,706 [5]
2AB	3,63	3,27	3,35 (LDA) [3] 3,49 (vdW-DF)	3,35 [4]
3AA	3,75	3,51	–	–
3AB	3,58	3,25	–	–
Графит (AB)	3,86	3,61	3,35 (LDA) [3] 3,50 (vdW-DF)	3,35 [6]
ZnS-графен (2AB)	3,75	3,33		

Результаты проведенных исследований позволили выбрать функционал DFT-D2 в качестве наиболее адекватно описывающего взаимодействие в изучаемых системах. Данные моделирования свидетельствуют о перспективности применения структур на основе графена, упакованного по AB схеме, поскольку энергия данной системы имеет меньшее значение по сравнению с другими конфигурациями. Рассчитанное значение межслойного состояния для системы ZnS-графен позволит выполнить моделирование ее электронных и магнитных свойств.

## Литература

1. Rutter, G. Microscopic polarization in bilayer graphene / G. Rutter, S. Jung, N. Klimov // Microscopic polarization in bilayer graphene. Nature Physics – April 24, 2011.

2. Зеленина, М.С. Учет сил Ван-дер-Ваальса в слоистых структурах. Первопринципное моделирование / М.С. Зеленина, В.А. Скачкова // Материалы XIII Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2016» / НАНБ Совет мол. ученых. – Минск, 2016. – 273 с.

3. Alam, First-principles calculation of the interlayer distance of the two-layer graphene / Alam, Mohammad Shafiul; Lin // Japanese Journal of Applied Physics, 50(8 PART 1): 080213, 2011-08

4. Lee, J.K. The growth of AA graphite on (111) diamond / J. K. Lee, S. C. Lee, J. P. Ahn // J. Chem. Phys. 129 2008 P.234709

5. Dahn, J.R. Suppression of staging in lithium-intercalated carbon by disorder in the host / J.R Dahn, R. Fong, M.J. Spoon // Phys.Rev. 42 6424 – 1990.

6. Baskin, Y. Lattice Constants of Graphite at Low Temperatures / Y. Baskin, L. Meyer // Phys. Rev. 100 – 1955, 544.

**А.Н. Бегель, В.И. Гладковский** (УО «БрГТУ», г. Брест)

Науч. рук. **А.И. Пинчук**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

В качестве исходной математической модели исследуемого процесса использовалась система дифференциальных уравнений вынужденного конвективного теплообмена в турбулентном режиме, состоящая из уравнений пограничного слоя и уравнения теплоотдачи в условиях двухмерного стационарного потока при отсутствии внутренних тепловыделений и диссипации энергии, а также при постоянстве всех физических свойств теплоносителя. Для нахождения приближенных решений дифференциальных уравнений математической физики в частных производных были использованы методы, основанные на переходе к новым переменным в результате масштабирования. При этом число новых переменных в некоторых случаях удается уменьшить по сравнению с числом исходных переменных за счет использования особенностей симметрии задачи. В этом случае распределение тепловых характеристик в разные моменты времени могут быть получены одно из другого с помощью соответствующего

преобразования подобия. Такое преобразование чаще всего находится с помощью анализа размерности физических величин, входящих в уравнение, и соответствующего масштабирования.

В данном конкретном случае роль такого параметра играет число Нуссельта, которое определяет интенсивность теплоотдачи. Для горизонтально расположенного цилиндра в турбулентном режиме критерий Нуссельта равен

$$Nu_{\infty} = 0,5Ra_{\infty}^{0,25}$$

где  $Ra$  – число Релея, безразмерное число, определяющее поведение жидкости или газа под воздействием градиента температуры. В большинстве случаев такая зависимость имеет вид степенной функции  $Nu_{\infty} = cRa_{\infty}^n$ . При этом показатель степени  $n$  зависит от режима течения в среде, определяемого числом Релея, а коэффициент  $c$  зависит от геометрии рассматриваемой системы. Число Релея широко используется при описании процессов тепломассопереноса, происходящих на борту космических аппаратов при орбитальном полёте, т. е. в условиях микрогравитации.

Цель работы заключалась в компьютерном моделировании закономерностей вынужденной конвективной теплоотдачи при турбулентном режиме движения воздуха в горизонтальной трубе с применением методов теории подобия.

**Е.В. Белявский** (УО «ГГТУ имени П. О.Сухого», Гомель)

Науч. рук. **К.С. Курочка**, канд. техн. наук, доцент

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЁМКОСТНЫХ ТОКОВ В СЕТЯХ 6-10 КВ С РАЗЛИЧНЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ НЕЙТРАЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Значительные ёмкостные токи (ЕТ), протекая в месте замыкания, создают на заземленных частях оборудования опасные для людей и животных потенциалы и поддерживают горение электрической дуги. Однофазная дуга при больших токах может гореть длительно, а при малых токах, когда она носит перемежающийся характер, – вызывать опасные для изоляции перенапряжения, которые могут приводить к пробоем или перекрытию других фаз и, следовательно, к междуфазным замыканиям и аварийному отключению линии. При весьма больших токах дуга опасна своим тепловым разрушающим воздействием на изоляцию, которое, в конце концов, также приводит к междуфазным

коротким замыканиям и авариям. Поэтому при проектировании промышленных сетей электроснабжения большой протяженности ЕТ необходимо учитывать и компенсировать.

Процесс определения ЕТ в электрических сетях промышленных предприятий обуславливается особенностями построения сети электроснабжения. Без возможности изменения параметров сети крайне сложно подобрать допустимые показатели для более эффективной работы всей системы в целом. Требуется создание дополнительного средства проектирования схем расположения различных элементов сети.

Целесообразно предоставить возможность проектирования схем электроснабжения промышленного предприятия с помощью визуального редактора, использующего типовые конструктивные элементы. Использование данных о расположении и связи элементов разработанной сети, а также их характеристики дадут возможность динамически определить значение ЕТ, или иных показателей, требуемых для сопровождения работы системы.

Схемы сетей могут быть радиальные, магистральные и смешанные. Выбор схемы сетей зависит от требований, предъявляемых к степени надежности электроснабжения, а также от взаимного расположения главной понизительной подстанции и цеховых понизительных подстанций предприятия.

Построитель схем будет включать в себя такие элементы как:

1. Трансформатор;
2. Подстанция;
3. Соединительные линии (кабель, воздушные линии);
4. Реакторы различных типов;
5. Предохранители.



Рисунок 1 – Модель функционирования программного средства

Существование большого числа элементов с разным набором характеристик определяет необходимость хранения шаблонных наборов. При работе с программой пользователю предоставляется возможность использования уже имеющихся в базе данных элементов. Предусматривается добавление собственных элементов с новым набором характеристик и занесением их в хранилище данных.

Важной частью проектирования является возможность сохранения промежуточных результатов, что позволит модифицировать разработанные схемы. Разработанная программа предоставит возможность сохранения данных как о спроектированной сети, так и расчетных показателях, полученных в ходе использования.

Для решения поставленной задачи предлагается модель функционирования разрабатываемой системы, представленная на рисунке 1.

### Литература

1. Электрические системы. Электрические сети : учебник для электроэнергетических специализированных вузов / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др. : под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – 2-ое изд., пераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1998. – 511 с.: ил.

**Ю. В. Белявский** (УО «ГГТУ имени П.О. Сухого», Гомель)  
Науч. рук. **В. И. Токочаков**, канд. техн. наук, доцент

### МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО РАЙОНА

Вопросы расчёта токов коротких замыканий электрических распределённых сетях напряжением в 6–10 кВ и способы обеспечения их более надёжной работы являются актуальными с научной и практической точки зрения. Вероятность КЗ (коротких замыканий) довольно высока, так как каждое ответвление к жилому дому не имеет никакой защиты. Традиционный способ защиты – это контроль токов короткого замыкания посредством автоматического выключателя в распределительном устройстве КТП (комплектных трансформаторных подстанциях). Автоматические выключатели подбираются согласно величине токов нормального режима и коротких замыканий, поэтому создание модели системы для вычисления значений токов КЗ – важная задача.

Наиболее подходящим способом моделирования переходных процессов при коротких замыканиях и сопровождающих их перенапряжениях является математическое моделирование на ЭВМ.

Существует множество программ, которые позволяют строить схемы сети электроснабжения и производить анализ токов КЗ[1]. Среди них:

1. Project StudioCS Электрика;
2. PSupply;
3. Power system suite.

Особенностями этих программ является сложный пользовательский интерфейс, ориентированность на промышленность или определённую отрасль промышленности, платность.

Система электроснабжения сельского района не требует многочисленных расчётов, большого набора элементов сети и должна быть понятной и простой в использовании.

Рассмотрим возможную архитектуру системы моделирования коротких замыканий. В состав системы входят следующие модули:

- 1) графический интерфейс (как средство управления);
- 2) модуль построения схемы системы электроснабжения;
- 3) модуль расчёта токов короткого замыкания;
- 4) модуль анализа результатов и формирования статистики;
- 5) модуль работы с базой данных.

Схема взаимосвязей модулей между собой представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема взаимосвязей модулей в системе моделирования коротких замыканий

Проанализируем детально каждый модуль.

Графический интерфейс – это средство взаимодействия с пользователем, которое выполняет роль управления остальными модулями и предоставляет пользователю результаты их работы. В графический интерфейс должен входить элемент отображения схемы,

панель элементов схемы, меню с функциональными возможностями (печать анализа результатов и выполнение расчётов).

Модуль построения схемы электроснабжения – отвечает за формирование связей между элементами сети на программном уровне в виде, который будет понятен для остальных модулей.

Модуль расчёта токов КЗ – позволяет осуществлять расчёт величин токов КЗ на основе характеристик элементов сети и их взаимного расположения.

Модуль анализа результатов и формирования статистики – предназначен для фиксирования величин токов КЗ при различных внешних условиях (расположению элементов в сети электроснабжения, нагрузок) и формирования статистики в различных форматах. К основным форматам можно отнести файлы типа xls (MS Excel), txt.

База данных – позволяет хранить справочную информацию, необходимую для расчётов. Данные, хранимые в ней, используются остальными модулями.

Управляющие инструкции – это реакция программных модулей на действия пользователя.

Описанная архитектура является обобщённой, поэтому выбор языка программирования не ограничен. По архитектуре можно спроектировать программное средство, которое решит задачу расчёта токов КЗ в системе электроснабжения сельского района и будет проста в использовании.

## **Литература**

1. Программа Project StudioCS Электрика [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. – режим доступа: <http://pro-spo.ru/-cad-cam-windows/1316-project-studiocs-437>.

2. Программы для энергетика [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. – режим доступа: [energsoft.info/soft\\_electrotex\\_121\\_130.html](http://energsoft.info/soft_electrotex_121_130.html).

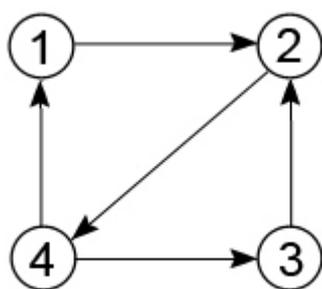
**К.Д. Бондарь** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Е.А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ГРАФОВ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ**

Графом называется структура данных, представляющая собой совокупность множества вершин и множества ребер [1–3]. Граф называется взвешенным, если его ребру поставлено в соответствие

некоторое числовое значение (весовой коэффициент). В ориентированном графе для каждого ребра указаны начальная и конечная вершины (рисунок 1).



	1	2	3	4
1	0	1	0	0
2	0	0	0	1
3	0	1	0	0
4	1	0	1	0

Рисунок 1 – Пример ориентированного графа и его матрицы смежности

Теория графов является одним из основных инструментов при решении таких задач как расчет свойств многоатомных молекул, проектирование печатных плат, планирование транспортных маршрутов. Например, схему электрической цепи, содержащей резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и источники напряжения, можно рассматривать как взвешенный ориентированный граф, в котором каждому ребру сопоставлены две переменные (напряжение и сила тока), необходимые для выполнения законов Кирхгофа и определенных физических соотношений [1]. Преимущества графов заключаются в их наглядности и естественной аналогии с реальным миром, со структурой описываемых объектов.

Основным способом описания графа в памяти компьютера является матрица смежности – квадратная матрица размером  $N*N$ , где  $N$  – число вершин в графе. Для ориентированного графа элемент матрицы  $M[i, j]$  равен единице, если направленное ребро (дуга) выходит из вершины  $i$  и заканчивается в вершине  $j$ , в ином случае на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца будет стоять ноль (рисунок 1). Такое описание соединений в графе позволяет быстро определять, связаны вершины ребром или нет. Во взвешенном графе элемент матрицы, определяющий ребро из вершины  $i$  в вершину  $j$ , равен не единице, а величине весового коэффициента [1].

В докладе рассмотрены два алгоритма нахождения кратчайшего расстояния между вершинами взвешенного графа: алгоритм Флойда-Уоршолла [1,2] и алгоритм Форда-Беллмана [3]. Для них составлены программы на языке Java и выполнено практическое исследование быстродействия при обработке модельных графов с различным числом вершин.

Алгоритм Флойда-Уоршола для нахождения кратчайших расстояний между всеми вершинами взвешенного ориентированного графа был разработан в 1962 году. На каждом шаге алгоритм рассчитывает рабочую матрицу, которая содержит длины кратчайших путей между всеми вершинами графа. В начале расчета рабочая матрица заполняется длинами рёбер графа, а если ребра нет, то бесконечно большой длиной. Далее выполняются три вложенных цикла, в ходе которых обновляется ответ для каждой пары вершин  $i$  и  $j$  способом перебора промежуточной вершины  $k$ . В итоге будет найден минимальный вес результирующего ребра [1,2].

Работа алгоритма была протестирована на трех различных матрицах смежности, отличающиеся количеством вершин графа, записанных в текстовых файлах. Это были матрицы 10x10, 25x25 и 50x50. Время обработки тестовых матриц по данному алгоритму составило 4, 12 и 38 миллисекунд соответственно (рисунок 2).

Весовые коэффициенты для матрицы смежности размером 10x10 имеет вид:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	20	0	0	15	0	0	40	0	0
2	20	0	25	10	0	0	0	0	0	0
3	0	25	0	28	0	20	0	0	30	0
4	0	10	28	0	15	24	22	0	0	0
5	15	0	0	15	0	0	0	15	0	0
6	0	0	20	24	0	0	9	0	0	8
7	0	0	0	22	0	9	0	35	0	0
8	40	0	0	0	15	0	35	0	0	0
9	0	0	30	0	0	0	0	0	0	14
10	0	0	36	0	0	8	0	0	16	0

Матрица кратчайших расстояний между вершинами имеет вид:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	20	45	30	15	54	52	30	75	62
2	20	0	25	10	25	34	32	40	55	42
3	45	25	0	28	43	20	29	58	30	28
4	30	10	28	0	15	24	22	30	48	32
5	15	25	43	15	0	39	37	15	63	47
6	54	34	20	24	39	0	9	44	24	8
7	52	32	29	22	37	9	0	35	33	17
8	30	40	58	30	15	44	35	0	68	52
9	75	55	30	48	63	24	33	68	0	16
10	62	42	28	32	47	8	17	52	16	0

Программа выполнялась 4 миллисекунд

Рисунок 2 – Результат обработки графа с 10 вершинами по алгоритму Флойда-Уоршола

Алгоритм Форда-Беллмана находит кратчайшие пути от одной вершины графа до всех остальных с предварительным поиском минимального веса среди всех вершин. Алгоритм был предложен в работе Форда 1956 года и развит в работе Беллмана в 1958 году [3]. Реализован в 1969 году как основной алгоритм маршрутизации для сети ARPANET.

Алгоритм обрабатывает взвешенный ориентированный граф из вершин и дуг. В графе могут быть как петли, так и дуги отрицательного веса, однако нет циклов отрицательного веса и между любой парой вершин не может быть более одной дуги в одном направлении. Требуется найти расстояние от первой вершины до всех остальных.

Для каждого из тестовых графов время выполнения программы составило 0.7, 2.3 и 8.6 секунд соответственно (рисунок 3).

```
Введите номер вершины, от которой необходимо найти кратчайшие расстояния
до всех остальных вершин, если такие расстояния имеются
5
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №1 равно 15
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №2 равно 25
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №3 равно 43
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №4 равно 15
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №6 равно 39
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №7 равно 37
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №8 равно 15
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №9 равно 63
Кратчайшее расстояние от вершины №5 до вершины №10 равно 47
Программа выполнялась 692 миллисекунд
```

Рисунок 3 – Результат обработки графа с 10 вершинами по алгоритму Беллмана-Форда

Тестовые расчеты показывают, что алгоритм Беллмана-Форда работает на несколько порядков медленнее. При этом он дает возможность поиска кратчайшего пути из выбранной вершины, в то время как алгоритм Флойда-Уоршола выдает все кратчайшие расстояния между всеми вершинами.

Составленные программы будут использованы при решении прикладных задач по обработке графов.

### Литература

1. Свами, М. Графы, сети и алгоритмы. / М. Свами, К. Тхуласираман. – М. : Мир, 1984. – 455 с.
2. Андерсон, Дж. Дискретная математика и комбинаторика / Дж. Андерсон. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2004. – 960 с.
3. Асанов, М.О. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы. – Изд. 2-е. / М.О. Асанов, В.А. Баранский, В.В. Расин. – СПб. : Изд-во «Лань», 2010. – 368 с.

**А. С. Грибовский, А. Ю. Кравченко**  
(УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, доцент

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ШРЁДИНГЕРА В СРЕДЕ WOLFRAM MATHEMATICA

С развитием компьютерных технологий, начали появляться программы, которые не требуют подключения специальных пакетов и включают в себя уже встроенные функции для построения графиков, моделирования процессов. Одной из таких программ является Wolfram Mathematica, с помощью данной программы можно также создавать программы.

Целью работы было реализация решения стационарного одномерного уравнения Шрёдингера численными методами с использованием встроенных функций в Wolfram Mathematica. Были рассмотрены прямоугольная потенциальная яма, гармонический осциллятор, запирающий потенциал, ангармонический осциллятор, которые имеют следующие виды соответственно:

$$U(x) = \begin{cases} U_0, & x \geq a \\ 0, & x < a \end{cases}$$
$$U(x) = \frac{1}{2} m \omega^2 x^2$$
$$U(x) = \alpha x$$
$$U(x) = m x^2 + \varepsilon x^4$$

Для решения уравнения Шрёдингера с заданными потенциалами использовался метод конечных разностей. Данный метод предполагает генерацию сетки узлов, замену производных на конечно разностных и затем получение матричных соотношений. Алгоритм реализован в программе Wolfram Mathematica приведенным на рисунке 1 кодом.

```
vecX = Table[a + i*h, {i, 0, n}];  
vecU = Table[U[vecX[[i]]], {i, n + 1}];  
mtrxH = Table[0, {i, 1, n + 1}, {j, n + 1}];  
Do[mtrxH[[i, i]] = vecU[[i]] + 1 / (h^2);  
  , {i, 1, n + 1}];  
Do[mtrxH[[i + 1, i]] = (-1) / (2. h^2);  
  mtrxH[[i, i + 1]] = (-1) / (2. h^2);  
  , {i, 1, n}];  
vecE = Table[Sort[Eigenvalues[mtrxH]][[i]], {i, 6}] / m;
```

Рисунок 1 — Программная реализация метода

Решения были получены для разного количества узлов. В приведенных ниже таблицах 1 – 3 сопоставлены собственные значения энергии, полученные с помощью численного метода, с их точными значениями.

Таблица 1 — Собственные значения энергии  $E_k$  для потенциальной ямы

n \ k	1	2	3	4	5
Точное	0,308 425	1,233 700	2,775 826	4,934 802	7,710 628
200	0,279 618	1,116 912	2,507 196	4,442 698	6,912 593
400	0,293 524	1,173 668	2,639 138	4,687 785	7,316 601
800	0,300 841	1,203 252	2,706 893	4,811 199	7,515 378
1600	0,304 591	1,218 335	2,741 146	4,872 879	7,613 330
3200	0,306 481	1,225 919	2,758 291	4,903 560	7,661 676

Таблица 2 — Собственные значения энергии  $E_k$  для гармонического осциллятора

n \ k	0	1	2	3	4
Точное	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
100	0,499 687	1,498 435	2,495 930	3,492 170	4,487 155
200	0,499 921	1,499 609	2,498 984	3,498 046	4,496 803
400	0,499 980	1,499 902	2,499 746	3,499 512	4,499 209
800	0,499 995	1,499 975	2,499 936	3,499 879	4,499 811
1600	0,499 998	1,499 993	2,499 984	3,499 970	4,499 961

Таблица 3 — Собственные значения энергии  $E_k$  для запирающего потенциала

n \ k	1	2	3	4
Точное	0,808 854	1,85 286	2,57 278	3,23 576
200	0,808 252	1,855 475	2,577 584	3,245 625
400	0,808 525	1,855 691	2,578 089	3,246 474
800	0,808 593	1,855 745	2,578 220	3,246 739
1600	0,808 610	1,855 759	2,578 255	3,246 832

Анализируя данные из таблицы 1, можно сделать вывод, что при уменьшении размера сетки в два раза погрешность уменьшалась так же в среднем в два раза. Видно, что при увеличении плотности сетки удаётся достигнуть точности порядка  $10^{-3}$ , однако с увеличением уровней энергии точность падает.

В случае гармонического осциллятора такая точность достигается уже при  $n = 50$ . Увеличив количество узлов до 1600 можно получить точность порядка  $10^{-6}$ .

Из данных таблицы 3 для запирающего потенциала следует, что при увеличении количества узлов сетки происходит уменьшение точности.

Точное решение задачи о спектре энергии такого осциллятора довольно трудоёмкое, поэтому для данного потенциала был проведён анализ сходимости при изменении количества узлов сетки.

Таблица 4 — Собственные значения энергии  $E_k$  для ангармонического осциллятора

n \ k	1	2	3	4	5
50	0,920 737	3,021 992	5,524 771	8,265 869	11,17 056
100	0,924 880	3,048 992	5,611 190	8,462 125	11,53 946
200	0,925 914	3,055 709	5,632 621	8,510 620	11,63 025
400	0,926 172	3,057 386	5,637 968	8,522 710	11,65 287
800	0,926 236	3,057 806	5,639 304	8,525 730	11,65 851
1600	0,926 253	3,057 910	5,639 638	8,526 485	11,65 993
3200	0,926 257	3,057 936	5,639 722	8,526 674	11.66 028

Анализируя данные, можно заметить, что значения энергий сходятся к определённым величинам. График сходимости значения первого энергетического уровня приведён на рисунке 2.

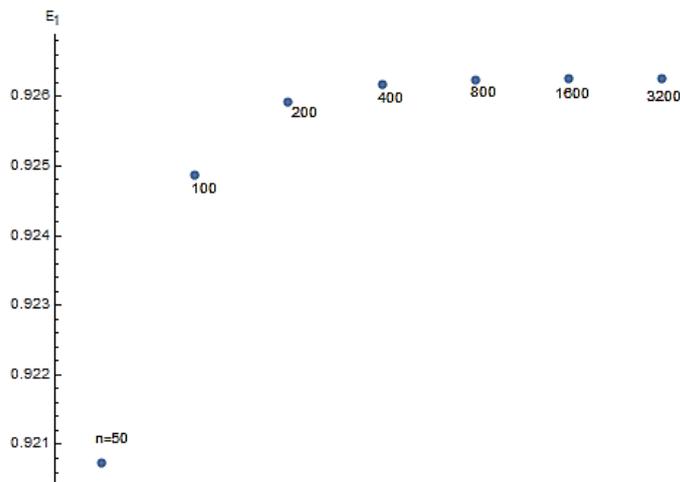


Рисунок 2 – Сходимость значения энергии

Из проведенной работы можно сделать вывод, что использование конечных разностей при численном решении уравнения Шрёдингера дает удовлетворительную для практических задач точность. Для гармонического осциллятора и прямоугольной потенциальной ямы, метод позволяет добиться высокой точности, а для запирающего потенциала использование данного метода приводит к тому, что при увеличении узлов сетки происходит потеря точности. В случае ангармонического осциллятора можно так же сказать, что метод применим, так как явно видна сходимость к некоторому значению.

## Литература

1. Флюгге, З. Задачи по квантовой механике / З. Флюгге. – Москва : Мир, 1974. – Т. 2. – 341 с.
2. Sakurai, J.J. Modern Quantum Mechanics, 2nd Edition / J.J. Sakurai; Jim J. Napolitano – Pearson, 2011. – 550 с.

**И.А. Зуев** (УО «ГГТУ имени П.О. Сухого», Гомель)  
Науч. рук. **Ю.Л. Бобарикин**, канд. техн. наук, доцент

### **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОКАТА И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ СТАНА 150 ОАО «БМЗ – УКХ «БМК»**

В настоящее время одними из приоритетных задач сортопрокатного производства является повышение эффективности производства и снижение брака, которые могут быть достигнуты снижением рабочей температуры прокатки, оптимизацией скоростных режимов и калибровок валков.

Проблемы существующие в настоящее время связаны с отсутствием универсальной методики анализа, позволяющей на стадии проектирования определять форму калибра для получения готового продукта с наименьшими энергозатратами, с равномерным распределением напряжений, как по сечению проката, так и на рабочем инструменте (прокатных валках) с целью увеличения его срока службы.

В связи с изложенным, остро стоит необходимость в разработке и проектировании оптимальных калибровок валков для снижения энергозатрат прокатного производства, а также высокоточных методик расчета формоизменения полосы при прокатке.

Цель данной работы заключается в совершенствовании калибровки прокатных валков проволочного прокатного стана 150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», с целью повышения качественных характеристик получаемого проката.

В данной работе, анализируется эффективность перехода с системы калибровки овал – круг, на систему калибровки овал – ребровый овал.

Для решения данной задачи было проведено численное моделирование в пакете Simufact Forming. Были построены две адекватные математические модели процесса прокатки катанки по двум калибровкам, базовой (применяемой) и проектной (предлагаемой). За основу процесса были выбраны прокатные клетки № 7–8, первой промежуточной группы клеток из технологической схемы производства катанки диаметром 5,5 мм, так как представляют наибольший интерес вследствие того, что испытывают одновременно термоциклический и механический износ.

По результатам моделирования была проведена оценка выходных данных, а так же проанализировано напряженно-деформированное, пластическое и температурное состояние полосы, при прокатке катанки по двум различным калибровкам.

Результаты численного моделирования напряженнодеформированного состояния системы калибровки овал-круг приведены на рисунке 1а.

Из приведенной картины видно, что происходит неравномерное распределение внутренних напряжений в поперечном сечении катанки. Центральная область имеет меньшее значение напряжений по сравнению с краевой (периферийной) зоной. Данное явление с неравномерностью напряжений по сечению приводит к неблагоприятным последствиям при применении данной катанки в последующих переделах в метизном производстве.

Результаты численного моделирования напряженнодеформированного состояния системы калибровки овал-круг приведены на рисунке 1б.

По сравнению с распределением напряжений в круглом калибре системы калибровки овал-круг, в ребровом овальном калибре можно увидеть, что градиент напряжений практически равномерно распределен по всей площади сечения.

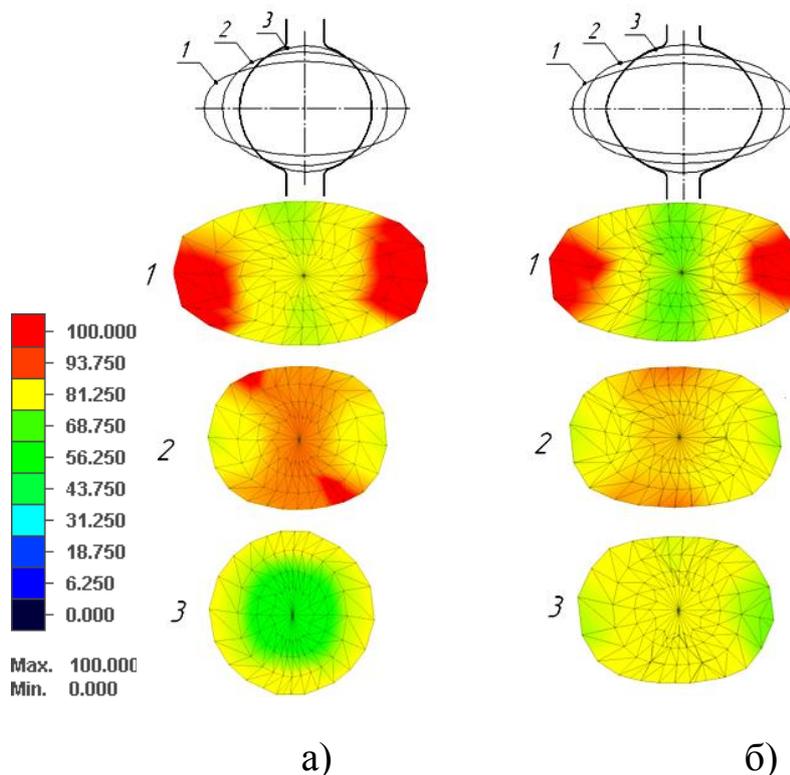


Рисунок 1 – Распределение напряжений в прокатываемом металле:

а – система калибровки овал – круг;

б – система калибровки овал – ребровый овал

Данное явление связано с благоприятной формой калибра ребрового овала позволяющей достигать более равномерного перемешивания прокатываемого металла и получать равномерную картину распределения напряжений по сечению.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Применение системы калибровки овал – ребровый овал, позволяет достичь более равномерного распределения напряжений и температуры в прокатываемой полосе.

2. Позволяет получить более равномерную структуру металла, что повышает качество и механические характеристики проката.

3. Равномерное распределение напряжений способствует более равномерному износу калибра валков, что позволяет увеличить их срок службы.

### **Литература**

1. Кинзин, Д.И. Оптимизация формы вытяжных калибров // Калибровочное бюро. 2013. Выпуск 1. – С. 20–28.

2. Эффективность деформации сортовых профилей / С.А. Тулупов, Г.С. Гун, В.Д. Онискив, В.А. Курдюмова, К.Л. Радюкевич. М. : Металлургия, 1990. – 280 с.

3. Совершенствование существующих технологических схем прокатки на основе оптимизации форм калибров с целью повышения качества сортовой продукции /С.А. Левандовский, А.Б. Моллер, Д.В. Назаров, А.А. Зайцев // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением : сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск : МГТУ, 2006. – С.129–137.

4. Харитонов В.А., Таранин И.В. Направления развития калибровок валков для прокатки заготовки под волочение // Калибровочное бюро. 2014. Выпуск 3. – С. 34–51 с.

**Е.В. Каюкало, П.Г. Иванчиков**

(УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **О.М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **РАЗРАБОТКА САЙТА НА ТЕМУ «ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ»**

Научно-технический прогресс не стоит на месте, а пребывает в постоянном развитии, поиске, совершенствовании. Пожалуй, самое полезное изобретение человеческого гения – Интернет, было придумано

сравнительно не так давно, по меркам развития цивилизации. По своей сути он представляет собой уникальный инструмент обмена данными.

Интернет (Сеть, Internet) – виртуальная среда, гарантирующая доступ к информационным ресурсам, элементами которой выступают персональные компьютеры. Они объединены в единую схему и наделены неповторимыми признаками адресации, использующие высокоскоростные линии связи с главными компьютерами [1].

Интернет – это огромная сеть, объединяющая бесчисленное количество устройств. Она служит для обмена информацией, которая существует в этой сети в различных формах. В наше время уже не только компьютеры могут подключаться к интернету. Мобильные телефоны, планшеты, игровые консоли, прочие гаджеты и даже телевизоры могут без труда выходить в сеть в любой момент.

Значимость данного информационного пространства бесспорна и по причине потрясающих возможностей коммуникации, между пользователями всех устройств, подключенных к Сети.

В техническом плане, онлайн пространство сформировано за счет бесчисленного множества компьютерных устройств соединенных друг с другом проводами. Миллиарды пользователей ПК, проживающие в разных странах, ежедневно общаются между собой, передают и принимают полезную информацию, скачивают массивы цифровых данных в виде приложений, программ, утилит; смотрят видео, слушают музыку.

Онлайн среда обладает еще одним важным свойством: безграничными возможностями хранения информации. Через Internet передается личный опыт, кроме того, это уникальная площадка информирования масс для современных СМИ и колоссальное хранилище мировых знаний.

Однако, не смотря на то, что «Всемирная Паутина» обладает многими плюсами, она все же содержит в себе и некоторые минусы. Так, из-за бесчисленного количества различной интернет-литературы, порой бывает трудно найти нужную полезную информацию. Именно поэтому, большинству людей, приходится тратить огромное количество личного времени, на поиск действительно правдивой информации.

Проведя анкетирование среди студентов физического факультета, мы обнаружили, что будущие специалисты тратят примерно около 3–4 часов в день на поиск нужной для них информации и достоверных источников. В связи с этим, мы и решили разработать свой web-сайт, в котором будут располагаться действительно нужные публикации и полезные статьи в такой сфере как «Оптические явления». В этом случае, такой проект поможет без труда находить всю нужную



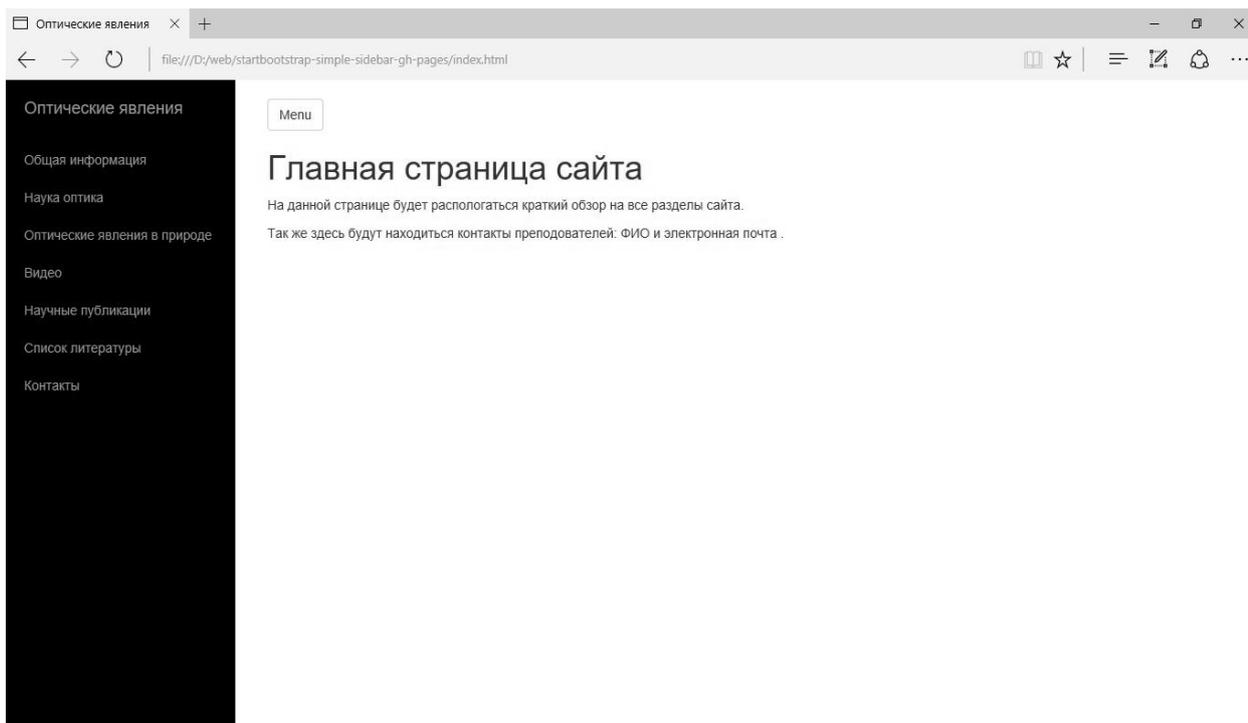


Рисунок 2 – Код программы в действии

Таким образом «тело» нашего сайта уже построено. Мы специально расположили всю информацию таким образом, чтобы студентам было проще находить полезные материалы, и они с легкостью смогли сориентироваться на карте сайта. Дальнейшие действия состоят в наполнении сайта необходимой информацией и присвоении ему домена.

В качестве полезной информации для студентов, в такой науке, как «Оптика», было решено использовать научные статьи преподавателей ГГУ им. Ф.Скорины и других вузов. Так же, для наполнения будут использованы видеоролики с лекциями Нобелевских Лауреатов и профессоров многих стран мира. Это поможет студентам получить еще больше информации в данной области. Карта сайта построена таким образом, чтобы начинать изучение материалов по принципу «от простого к сложному». Таким образом, читателям будет легче сориентироваться в программе.

Дополнением, стал раздел «Контакты», где мы предлагаем преподавателям оставлять свои личные данные (электронную почту, контактный телефон). Это необходимо для того, чтобы в случае возникновения вопросов или предложений о сотрудничестве, читатель мог с легкостью обратиться с интересующей его проблемой.

Данная разработка, является достаточно актуальной в данный момент, так как на факультете открылось несколько новых специальностей, связанных с данной наукой. Такой простой и удобный

доступ к необходимой информации поможет сократить время на поиск необходимых материалов.

Так же, в качестве реализации научного потенциала студентов, мы планируем ввести раздел с добавлением других материалов. В нем, читатели смогут обсуждать интересующую их литературу и выставлять на всеобщее обозрение, свои работы или документы, которые не были опубликованы на сайте. Это, в свою очередь поможет расширить кругозор студентов не только нашего вуза, но и других университетов страны.

### **Литература**

1. Барысов, Р. Постройте профессиональный сайт сами. – Санкт-Петербург, 2009.
2. Вильямсон, Х. Универсальный Dynamic HTML. Библиотека программиста. – Санкт-Петербург, 2001.

**Н.И. Копачев** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Е.А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **УЧЕТ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ТРЕХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ АНИМАЦИИ**

Вычислительные мощности современных персональных компьютеров растут с каждым годом, что позволяет решать все более сложные задачи, в том числе и выполнять компьютерную анимацию физических явлений (динамика твёрдых и мягких тел, движение жидкостей, диффузия примесей в газах, оптические эффекты и т. д.).

В данный момент на рынке программного обеспечения существует ряд программных продуктов, позволяющих работать в данном направлении: 3Ds Max, Maya, Cinema 4D, Blender, SideFx Houdini. Безусловно, каждый программный продукт имеет свои преимущества и недостатки.

3Ds Max – в настоящее время бесспорно занимает лидирующую позицию среди программ трехмерного моделирования и широко используется в различных областях компьютерной графики и анимации. Является промышленным стандартом во многих сферах: архитектура, промышленность, наука, реклама, игры, спецэффекты.

Преимуществами данного продукта являются: богатый базовый функционал в бесплатной версии для студентов, множество обучающей информации на русском языке.

Однако программа обладает слабой стабильностью работы, медленным и перегруженным интерфейсом. Специфические задачи реализуются исключительно за счет сторонних плагинов, зачастую платных.

Maya – инструментальная система трёхмерной графики и компьютерной трёхмерной анимации, обладающая также функционалом мощного редактора трёхмерной графики.

В качестве положительных особенностей программы можно отметить богатый функционал и возможности, но только в полноценной программе. Однако как программный продукт, развитый на базе 3Ds Max, содержит те же проблемы: усложнение интерфейса и недостаточную стабильность работы.

Cinema 4D – относительно новая универсальная комплексная программа для создания и редактирования трёхмерных эффектов и объектов. Главными достоинствами этого продукта, безусловно, являются простой интерфейс, тесная связь с такими программами, как Adobe After Effects, Houdini. При этом у программы неотлаженная система перехода между версиями, небогатый и слабый функционал по сравнению с конкурирующими продуктами на рынке, малая поддержка продукта сторонними разработчиками.

Blender – свободный пакет для создания трёхмерной компьютерной графики, включающий в себя средства моделирования, анимации и рендеринга. Положительными моментами является то, что это бесплатный программный продукт с простым интерфейсом и хорошей стабильностью работы. Впрочем, программа обладает небогатым и слабым функционалом по сравнению с другими программными продуктами, кроме того, отсутствует поддержка продукта сторонними разработчиками.

SideFx Houdini – профессиональный программный пакет для работы с трёхмерной графикой. Главное отличие данного пакета в том, что он является средой визуального программирования и дает неограниченные возможности по контролю всех параметров и хода работы программы. Программа обладает стабильной работой и хорошей оптимизацией, что предполагает рациональное использование мощностей компьютера.

Осложняет ее освоение иная специфика работы программы, к которой сложно привыкнуть (нодовая структура, основы программирования на синтаксисе Python) и недостаточный объем учебной литературы.

По нашему мнению, с точки зрения создаваемых возможностей, для разработки демонстрационных видеоматериалов по отдельным темам разделов физики лучше всего подходит программный продукт SideFx Houdini.

В докладе представлены результаты разработки демонстрационных видеоматериалов по отдельным темам раздела «Механика».

Все физические формулы, по которым производится расчет, уже заложены в код программы. Есть возможность менять основные параметры: скорость, массу, силу и т. д.

Для симуляции центрального упругого соударения были созданы и настроены: бесконечная плоскость (terrain), к ней был применен тег статичного динамического объекта, который участвует в просчете, но не деформируется. Параметры плотности, отскока, трения и другие не изменялись. В качестве соударяющихся объектов созданы два шара радиусами 0,1 метр, к которым были присвоены динамические теги. Плотность шаров –  $1000 \text{ кг/м}^3$ , также была назначена начальная скорость 1 м/с.

Для отображения процесса в системе реализована физическая камера с фокусным расстоянием 50 мм, источник света – полуденное солнце, окружающая среда – атмосфера.

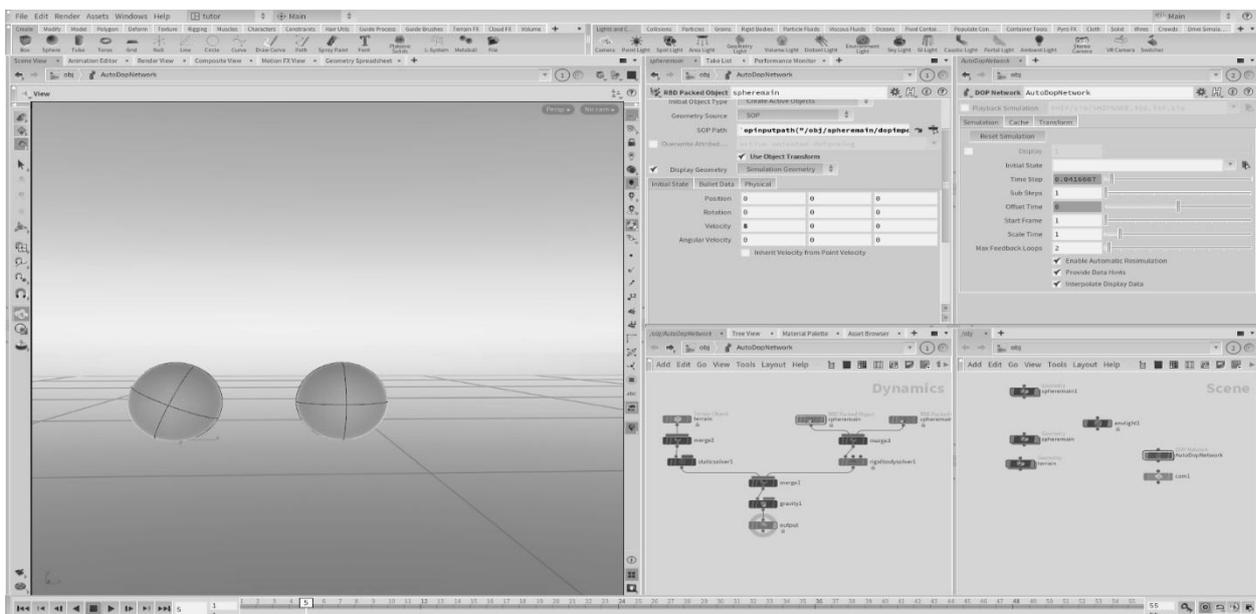


Рисунок 1 – Фрагмент готовой сцены упругого соударения (лобовое центральное) в рабочем окне SideFx Houdini

Кроме того, были реализованы следующие симуляции: упругое соударение (лобовое нецентральное), неупругое соударение (лобовое центральное), свободное падение шара в емкость с жидкостью.

Следует отметить, что используемая программа позволяет создавать реалистичные анимации, имеющие цвет, текстуру, поведение реальных физических объектов.

Таким образом, освоена методика создания трехмерных анимаций, которые можно использовать в учебном процессе для наглядности представления различных физических явлений.

## Литература

1. Горелик, А.Г. Самоучитель 3ds Max 2012 / А.Г. Горелик / СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 544 с.
2. Киан Би Нг Цифровые эффекты в MAYA. Создание и анимация / М. : ДМК Пресс 2010. – 356 с.
3. Craig Zerouni Houdini On the Spot: Power User Tips and Techniques / Focal Press, 2007. – 320 с.
4. Кожухарь, А. Houdini 3D&VFX. Процедурная магия / А. Кожухарь/ СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 572 с.

**А.С. Кравцов** (УО «ГГТУ имени П.О. Сухого», Гомель)

Науч. рук. **В.Ю. Гавриш**, ст. преподаватель

### ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА БИСПИНОРОВ ДИРАКА

**Введение.** Известно, что квантово-полевые уравнения частиц целого и полуцелого спинов строятся в соответствии с требованиями лоренц-инвариантности. В частности, уравнения частиц целых спинов, Клейна-Гордона или Прока, очевидно, удовлетворяют указанным требованиям.

Для частиц с полуцелыми спинами  $\frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar$  установление лоренц-инвариантности затруднено спиновой структурой волновых функций.

В данной работе продемонстрирована процедура получения преобразования волновых функций частиц спина  $\frac{1}{2}\hbar$  исходя из требования лоренц-инвариантности уравнения Дирака.

**Преобразования Лоренца.** Обобщим преобразования Галилея [1] на случай четырехмерного пространства времени, требуя чтобы интервал между двумя событиями был инвариантен.

Рассмотрим две инерциальные системы отсчета  $K$  и  $K'$ , координатные оси  $x$  и  $x'$  которых направлены вдоль скорости движения штрихованной системы  $\vec{V}$  [2]. Матрица коэффициентов преобразования  $\Lambda^{\mu\nu}$  устанавливает в рассматриваемом случае следующие соотношения между компонентами 4-векторов [2]:

$$x' = x \cdot ch\chi - ct \cdot sh\chi, \quad ct' = ct \cdot ch\chi - x \cdot sh\chi \quad (1)$$

для которых очевидно

$$(ct)^2 - x^2 = (ct')^2 - x'^2. \quad (2)$$

Когда начала координат систем  $K$  и совпадают, то  $x' = 0$  и

$$x \cdot ch\chi = ct \cdot sh\chi, \quad (3)$$

откуда  $th\chi = \frac{|\vec{V}|}{c}$ .

Проводя элементарные преобразования получаем формулы связи компонент 4-векторов [2]:

$$t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad x' = \frac{x - V \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z. \quad (4)$$

Формулы (4) называют преобразованиями Лоренца. В общем случае движения систем отсчета  $K$  и  $K'$ , (4) приобретают достаточно громоздкий вид, поэтому явно записаны не будут.

Установим некоторые свойства матрицы преобразований  $\Lambda^{\mu\nu}$ . Требование инвариантности интервала в различных инерциальных системах отсчета налагает условие

$$(x \cdot x) = (x' \cdot x'), \quad (5)$$

где  $x'^{\mu} = \Lambda^{\mu\nu} x_{\nu}$ , откуда

$$((\Lambda x) \cdot (\Lambda x)) = (x \Lambda^T \cdot \Lambda x) = (x \cdot x) \quad (6)$$

из чего следует, что

$$\Lambda_{\beta}^{\alpha} \Lambda_{\alpha}^{\nu} = \delta_{\beta}^{\nu}. \quad (7)$$

**Инвариантность уравнения Дирака относительно преобразований Лоренца.** Установим связь между волновыми функциями частиц спина  $\frac{1}{2}\hbar$ , в исходной и штрихованной системах координат посредством выражения

$$\psi'_{\sigma'}(x') = L_{\sigma'\sigma} \psi_{\sigma}(x), \quad (8)$$

где матрица  $L_{\sigma'\sigma}$  зависит от  $\Lambda^{\mu\nu}$ .

Подставим теперь в уравнение Дирака [3]

$$(i\gamma^{\mu} \partial_{\mu} - m)\psi(x) = 0 \quad (9)$$

соотношение  $\psi(x) = L^{-1}\psi'(x')$  и перейдем к переменной  $x'$ . Опуская спинорные индексы из (9) получаем

$$i\Lambda_{\nu}^{\mu} L \gamma^{\nu} L^{-1} \partial'_{\mu} \psi'(x') - m\psi'(x') = 0, \quad (10)$$

откуда следует что уравнение Дирака инвариантно относительно преобразований Лоренца, если матрица  $L$  удовлетворяет соотношению

$$\Lambda_{\nu}^{\mu} L \gamma^{\nu} L^{-1} = \gamma^{\mu} \quad (11)$$

или

$$L^{-1} \gamma^{\nu} L = \Lambda_{\mu}^{\nu} \gamma^{\mu}. \quad (12)$$

Определим явный вид такой матрицы. Используя (1) и (12)

$$L^{-1} \gamma^0 L = \gamma^0 ch\chi - \gamma^1 sh\chi, \quad L^{-1} \gamma^1 L = \gamma^1 ch\chi - \gamma^0 sh\chi \quad (13)$$

после некоторых преобразований находим, что [4]

$$L = ch\chi/2 - \gamma^0\gamma^1 sh\chi/2. \quad (14)$$

Рассмотрим преобразование системы, в которой скорость частицы равна  $|\vec{p}|/p^0$  к системе покоя частицы. В данном случае имеем

$$ch\chi = \frac{p^0}{m}, \quad ch\chi/2 = \sqrt{\frac{p^0 + m}{2m}}, \quad sh\chi/2 = \sqrt{\frac{p^0 - m}{2m}}, \quad (15)$$

где  $m$  - масса частицы,  $p^0$  - её энергия. Тогда, с учетом выражения (13) получаем

$$L = \sqrt{\frac{p^0 + m}{2m}} \left( 1 - \gamma^0\gamma^1 \frac{|\vec{p}|}{p^0 + m} \right). \quad (16)$$

В последнем выражении ось направлена вдоль вектора  $|\vec{p}|/p^0$ .

Отметим, что при произвольной ориентации осей имеем

$$L = \sqrt{\frac{p^0 + m}{2m}} \left( 1 - \gamma^0\gamma^1 \frac{\vec{p}\vec{\gamma}}{p^0 + m} \right). \quad (17)$$

Для сопряженной волновой функции  $\bar{\psi}(x)$  уравнение Дирака

$$i\partial_\mu \bar{\psi}(x)\gamma^\mu + m\bar{\psi}(x) = 0 \quad (18)$$

после аналогичных выкладок приводит к следующему выражению для связи между волновыми функциями частиц:

$$\bar{\psi}'(x') = \bar{\psi}(x)L^{-1}. \quad (19)$$

**Заключение.** В работе изложена процедура получения матрицы буста для биспиноров Дирака. Отметим, что полученные соотношения преобразований Лоренца справедливы для матриц Дирака в стандартном представлении [5].

## Литература

1. Савельев И.В. Основы теоретической физики : учебник : в 2 томах. Т. 1. Механика. Электродинамика / И.В. Савельев. – Спб. : Издательство «Лань».–2005. – 496 с.
2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособ. для вузов : в 10 т. Т. 2. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Москва : Физматлит. – 2006. – 586 с.
3. Хелзен Ф. Кварки и лептоны: Введение в физику частиц: Пер. с англ. / Ф. Хелзен –Москва : Мир ,1987. – 456 с.
4. Биленький, С.М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия / С.М. Биленький. – Москва : Энергоатомиздат , 1990. – 327 с.

5. Borodulin, V.I. CORE: COmpendium of RElations: Version 2.1/ V.I. Borodulin, R.N. Rogalyov, S.R. Slabospitsky // CORE. [Electronic resource]. Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9507456v1>– Date of access: 03.03.2017.

**А. Ю. Кравченко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУВИТКОВЫХ ФРАГМЕНТОВ ДВОЙНОЙ ДНК-ПОДОБНОЙ СПИРАЛИ И СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ**

С развитием компьютерных технологий появилась возможность моделировать структуры с заданными свойствами. Одной из программ, в которых можно производить моделирование, является HFSS. Она предназначена для анализа трехмерных СВЧ структур, в том числе антенн и невзаимных устройств, содержащих ферриты. Электродинамическое моделирование в HFSS основано на использовании метода конечных элементов. Решение граничной задачи ищется в частотной области. Использование метода конечных элементов обеспечивает высокую степень универсальности численных алгоритмов.

Целью данной работы является моделирование полувитковой двойной ДНК-подобной спирали, которая обеспечивает преобразование падающей плоско поляризованной волны в циркулярно поляризованную, и, в дальнейшем, использование данной спирали для моделирования покрытия с минимальным коэффициентом отражения.

Рассматриваемый фрагмент ДНК-подобной спирали имеет следующие параметры (рисунок 1):  $N_B = \frac{1}{2}$ ,  $L = 0,04954$  м,  $r_0 = 0.1941 \cdot 10^{-3}$  м,  $\alpha = 27.22^\circ$ ,  $r = 14.023 \cdot 10^{-3}$  м,  $h = 45.32 \cdot 10^{-3}$  м, где  $N_B$  – число витков спирали,  $L$  – длина спирали в выпрямленном состоянии,  $r_0$  – радиус сечения проволоки, из которой изготовлена спираль,  $\alpha$  – угол подъема спирали относительно плоскости, перпендикулярной оси спирали,  $r$  – радиус витка,  $h$  – шаг спирали.

Спираль возбуждается плоской электромагнитной волной. Волновой вектор направлен против оси ОХ, а вектор напряженности направлен вдоль оси ОZ (рисунок 2).

На рисунке 3 представлен график зависимости коэффициента эллиптичности излучаемой волны от частоты. Из данного рисунка видно, что при падении плоско поляризованной волны на данную структуру в направлении, обратном оси ОХ, происходит формирование

циркулярно поляризованной волны в направлении  $OY$ . Коэффициент эллиптичности равен 0.9929.

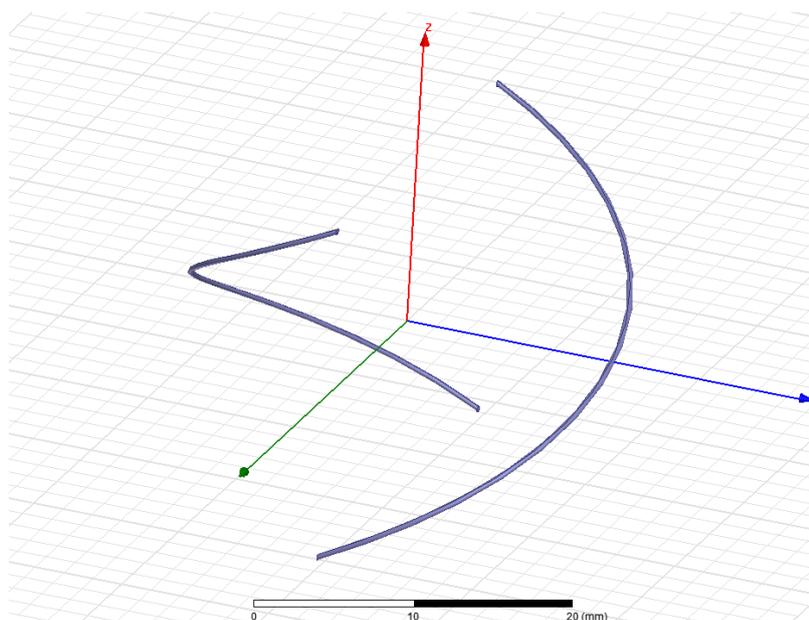


Рисунок 1 – Фрагмент ДНК-подобной спирали

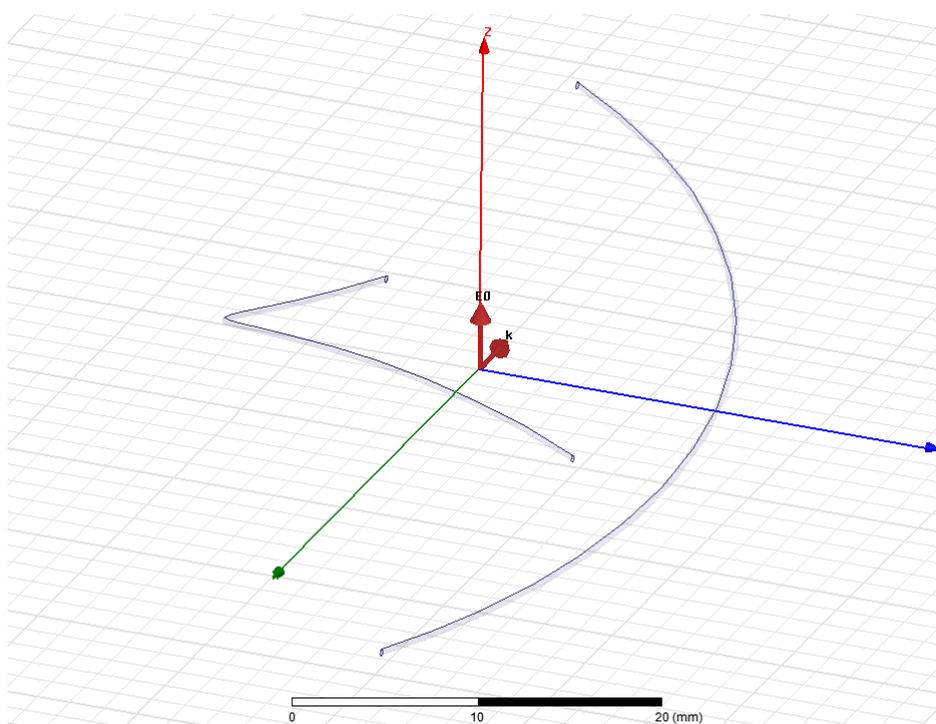


Рисунок 2 – Направление волнового вектора и вектора напряжённости падающей волны

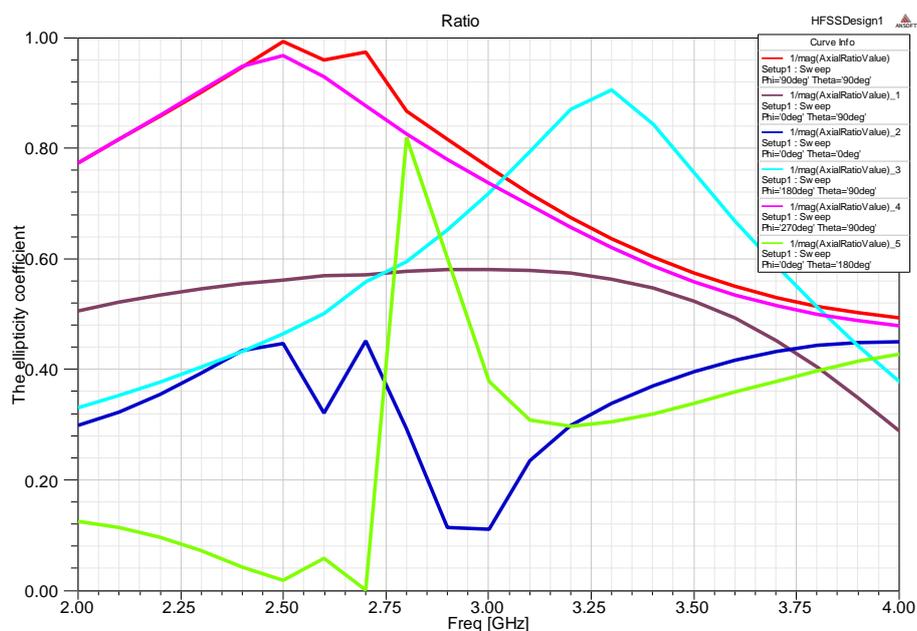


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента эллиптичности для волн, излучаемых в направлении различных осей координат

На основании полученных данных для одного фрагмента ДНК-подобной спирали была смоделирована элементарная ячейка, состоящая из комбинации блоков правозакрученных и левозакрученных двойных ДНК-подобных спиралей (рисунок 4).

Структуры сделаны из нихрома и располагаются на пенопластовой подложке. Для данной структуры были найдены значения коэффициента поглощения, коэффициента прохождения и коэффициента отражения.

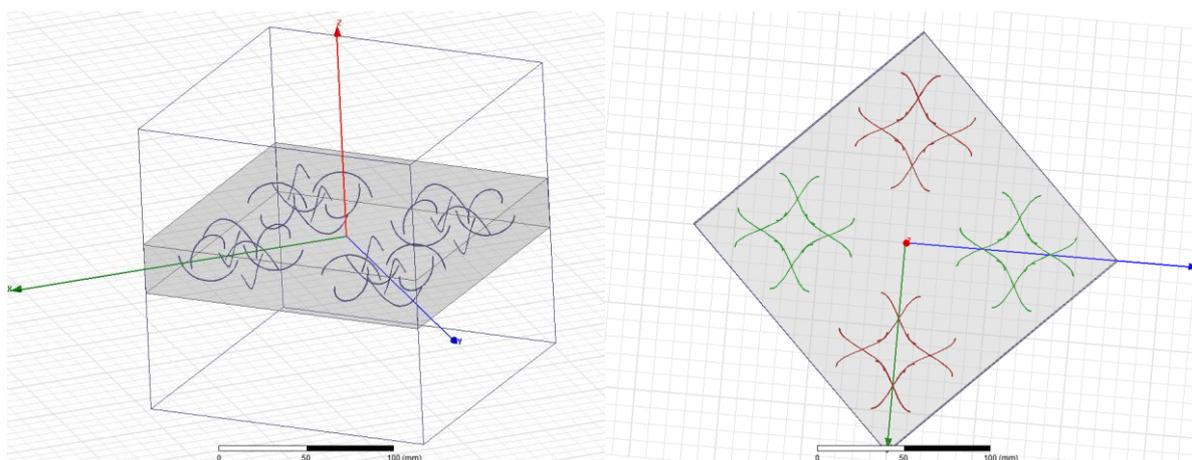


Рисунок 4 – Элементарная ячейка, состоящая из блоков правозакрученных и левозакрученных ДНК-подобных спиралей

Структура элементарной ячейки имеет следующие параметры:

$$D = 92.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}, d = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где  $D$  – расстояние между центрами блоков спиралей,  $d$  – расстояние от центра блока до оси спирали, то есть до центра спирали.

На рисунке 5 представлены зависимости коэффициента поглощения, коэффициента прохождения и коэффициента отражения от частоты. Из этого рисунка видно, что на частоте 2.6 ГГц, которая близка к резонансной частоте, наблюдается значительное поглощение СВЧ волн, при этом коэффициент поглощения достигает 0,5333. Это приводит к существенному уменьшению коэффициента прохождения до 0,3384.

В то же время коэффициент отражения является низким не только вблизи резонанса, но и в широком диапазоне частот, и не превышает 0,0820. Следовательно, рассмотренная структура на основе полувитковых фрагментов двойной ДНК-подобной спирали является поглощающей и слабо отражающей. Это свойство может быть использовано при создании «совершенных» поглотителей СВЧ волн.

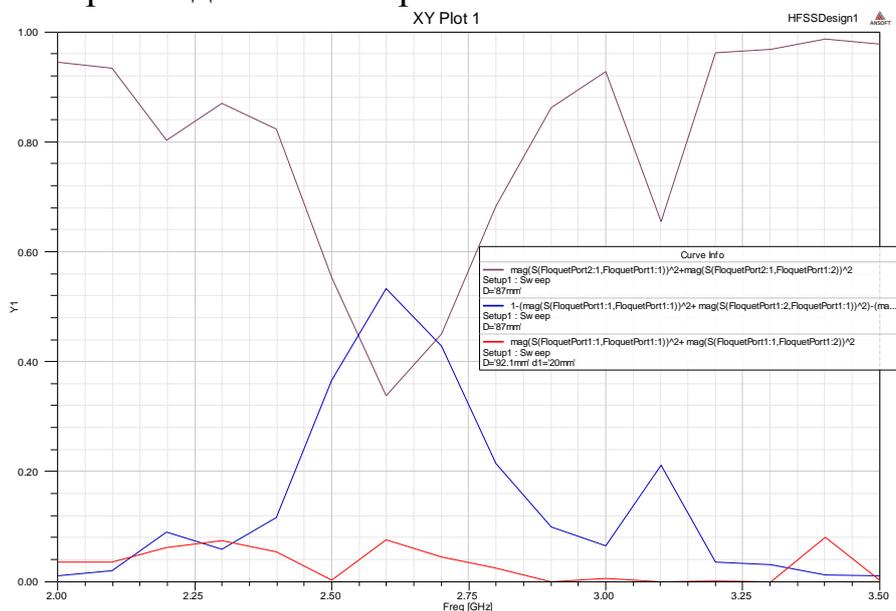


Рисунок 5 – График зависимости коэффициентов поглощения, отражения и прохождения для поглощающей слабо отражающей структуры на основе ДНК-подобных спиралей

## Литература

1. Investigation of electromagnetic properties of a high absorptive, weakly reflective metamaterial-substrate system with compensated chirality / I.V. Semchenko, S.A. Khakhomov, V.S. Asadchy, S.V. Golod, E.V. Naumova, V.Ya. Prinz, A.M. Goncharenko, G.V. Sinitsyn, A.V. Lyakhnovich, V.L. Malevich – Journal of Applied Physics. – 2017. – Vol. 121. – P. 015108-1 – 015108-8.

2. Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Наука, 1988. – Т. 2. – 512 с.

**Д.В. Ларочкин** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Е.А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСА ПО ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ**

При изучении такого сложного курса как численные методы большую помощь студентам может оказать представление учебного и справочного материала в форме сайта (интернет-ресурса). Для создания такого сайта мною была использована облачная платформа Wix.com.

Wix.com – международная облачная платформа для создания и развития интернет-проектов, которая позволяет строить профессиональные сайты и их мобильные версии. Это один из ведущих конструкторов сайтов с технологией drag-and-drop, в котором предложена функциональность использования HTML5. Онлайн-конструктор сайтов позволяет вставлять элементы по различным категориям. Шрифты, заголовки, цветовую палитру, размер и начертание текста, оформление фотографий, – всё можно настроить по своему усмотрению (рисунок 1).

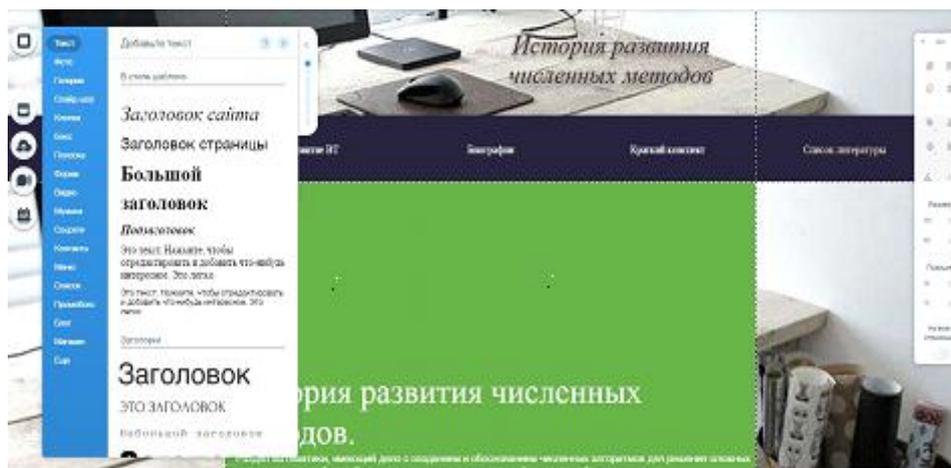


Рисунок 1 – Выбор типа заголовка при оформлении страницы сайта

Удобным образом реализуется загрузка собственных или использование коллекций изображений от Wix. Предусмотрено добавление галерей разнообразных стилей, панорам, слайдеров и подборок фото с эффектом 3D. Имеется обширный набор разнообразных по форме и стилю кнопок, а также такие элементы оформления как набор контейнеров, в которых можно размещать другое содержимое (тексты, фото и т. д.), или форма (разнообразные геометрические фигуры).

Редактор Wix позволяет форматировать статьи, добавляя в них элементы любого типа: анимации, графики, диаграммы, видео, фото, списки и прочее. Расширять функциональность сайтов можно за счет

приложений, разработанных Wix или сторонними компаниями. Например, добавлять плагины социальных сетей, инструменты для онлайн – электронных рассылок, контактные формы, блоги и др. Wix работает по бизнес – модели freemium, предлагая возможность создавать сайты бесплатно и развивать их, приобретая полезные улучшения.

Разработанный с применением Wix интернет-ресурс по истории развития численных методов имеет простую и удобную структуру. На главной странице имеется заставка и горизонтальная полоса меню для выбора разделов: развитие ВТ, биографии, краткий конспект, список литературы.

В разделе, посвященном истории развития вычислительной техники, приведена хронология создания и применения средств для выполнения вычислений начиная с 17-го века и до нашего времени.

В разделе, содержащем биографии, размещены портреты и биографии ученых, именами которых названы основные численные методы, изучаемые студентами (рисунок 2).

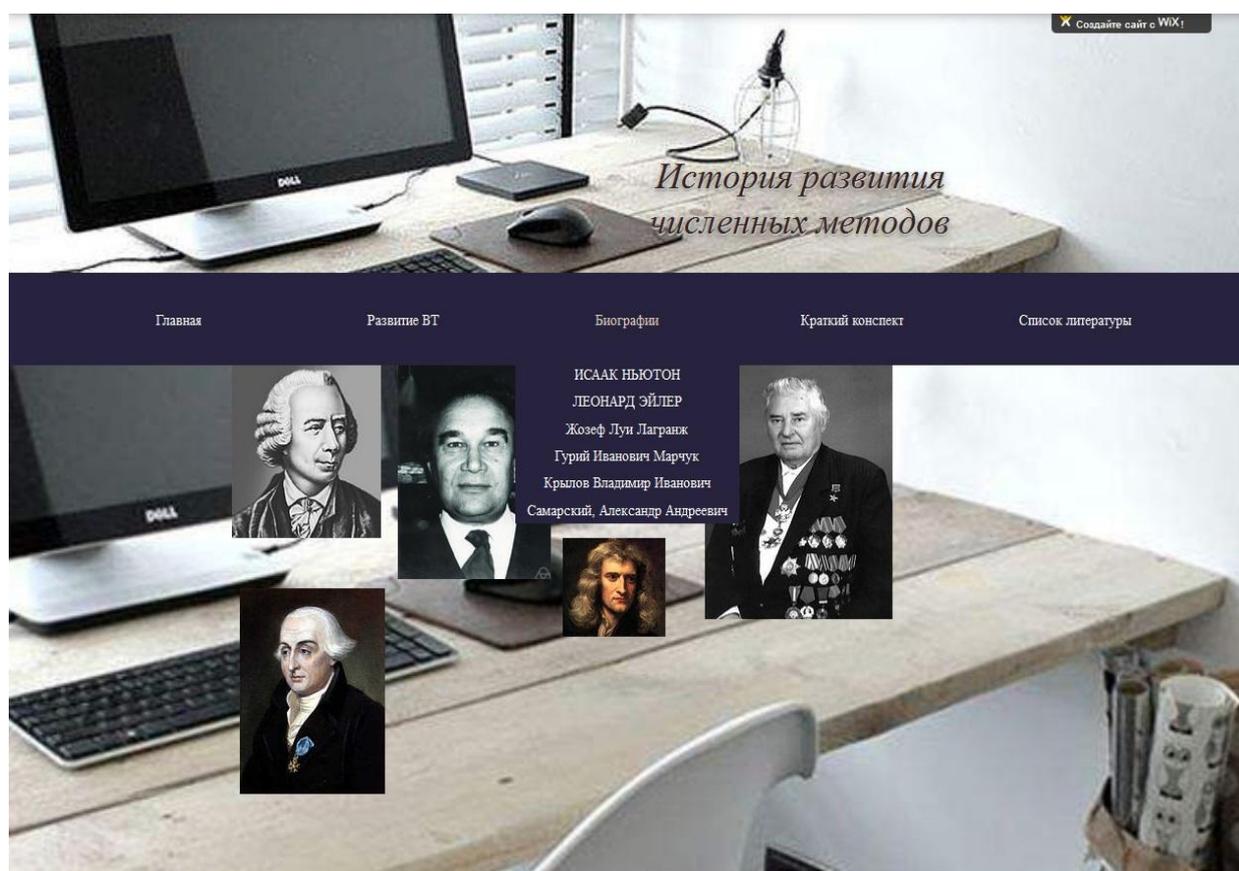


Рисунок 2 – Страница сайта, содержащая биографии ученых

Раздел «Краткий конспект» содержит презентации по отдельным численным методам, а также словесное описание методов, и запись алгоритмов вычислений.

В разделе «Список литературы» приведен список учебников, которые используются в учебе студентами.

В целом можно отметить, что разработка сайта по истории развития численных методов с применением онлайн-инструмента Wix.com в основном выполнена. Созданный сайт доступен по адресу <https://larochkin16.wixsite.com/methods> и может быть использован в учебном процессе при изучении курсов «Программирование и математическое моделирование» и «Численные методы».

### Литература

1. Вержбицкий, В. М. Численные методы. / В.М. Вержбицкий. – М. : Высшая школа, 2005. – 841 с.
2. Зализняк, В. Е. Основы научных вычислений. Введение в численные методы для физиков. / В.Е. Зализняк. – М. : Едиториал, 2002. – 296 с.
3. Ращиков, В.И. Численные методы решения физических задач / В.И. Ращиков, А.С. Рошаль. – СПб. : Лань, 2005. – 208 с.
4. Турчак, Л.И. Основы численных методов. / Л.И. Турчак, П.В. Плотников. – М. : Физматгиз, 2005. – 301 с.
5. Обзор и отзывы о конструкторе сайтов Wix – URL: <http://uguide.ru/konstruktor-sajtov-wix-obzor-otzyvy-primery-sajtov> (дата обращения: 23.03.2017).
6. Wix – популярный бесплатный онлайн-конструктор сайтов с богатыми возможностями – URL: [http://internetno.net/category/obzoryi/wix\\_besplatnyj\\_onlajn\\_konstruktor\\_sajtov/](http://internetno.net/category/obzoryi/wix_besplatnyj_onlajn_konstruktor_sajtov/) (дата обращения: 24.03.2017).

**Лю Имин** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Е.А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДВУМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ МАТЛАВ**

При исследовании практически важных случаев точное решение двумерного уравнения Шредингера можно получить только в отдельных случаях [1,2]. Для получения численного решения в настоящее время имеется возможность использовать готовые специализированные программы. Система Matlab содержит встроенное приложение `pdetool`, позволяющее решать различные уравнения в частных производных на плоскости методом конечных элементов [3,4].

В литературе подробно описано применение этого приложения для решения уравнения Пуассона, уравнения колебаний, уравнения теплопроводности [3,4]. Однако отсутствуют примеры применения этого приложения для решения уравнения Шредингера.

В данной работе приложение `pdetool` применяется для численного решения уравнения Шредингера с потенциалом двумерного гармонического осциллятора в системе единиц  $\hbar = 1, m = 1$  [2]

$$-\frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{2} x^2 + y^2 \psi(x, y) = E \psi(x, y). \quad (1)$$

Точное решение для собственных значений энергии имеет вид  $E_n = n + 1$ , где квантовое число  $n = n_x + n_y$ ,  $n_x, n_y = 0, 1, 2, \dots$ . Известно, что для каждого  $n=0, 1, 2, \dots$  значение  $E_n$  является  $n$ -кратно вырожденным [2].

Такая задача выбрана как тестовая, чтобы на практике исследовать точность решения, которую может обеспечить приложение `pdetool` и выбрать оптимальный подход к решению стационарного уравнения Шредингера.

Для численного решения использовалась квадратная область  $-L_x \leq x \leq L_x, -L_y \leq y \leq L_y$  на границах которой волновая функция считается равной нулю (граничные условия Дирихле)  $\psi(x, y)|_{x=\pm L_x, y=\pm L_y} = 0$ .

При выполнении расчетов в `pdetool` была создана квадратная область в пределах  $L_x, L_y = 6$ , на границах заданы нулевые граничные условия, в режиме `<PDE Specification>` выбран тип задачи `<Eigenmodes>` и заданы коэффициенты уравнения (1).

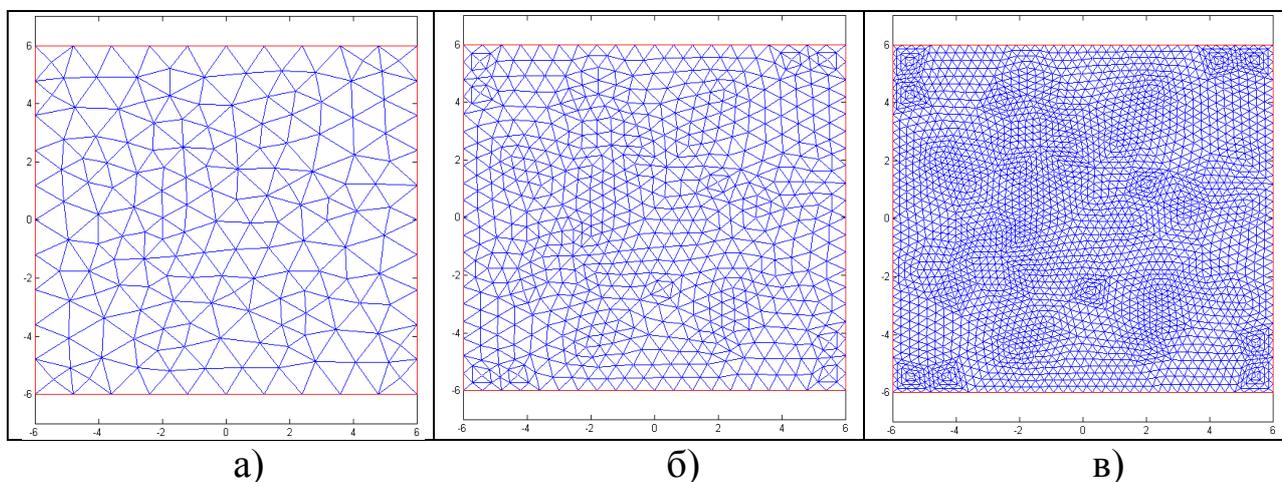


Рисунок 1 – варианты последовательного сгущения сетки треугольных конечных элементов (а – сетка 1, б – сетка 2, в – сетка 3)

При получении результатов использовались различные способы разбиения области на треугольные конечные элементы с уменьшением их размеров (рисунок 1). Эта возможность заложена в `pdetool` [3,4].

В таблице 1 приведены значения  $E_n$ , причем из  $n$  вырожденных значений приводится только одно, первое в массиве результатов.

Таблица 1 – Собственные значения энергии двумерного квантового гармонического осциллятора, вычисленные с применением приложения `pdetool`

$n = n_x + n_y$	$E_n$	Сетка 1	Сетка 2	Сетка 3
0	1	1,105	1,026	1,006
1	2	2,215	2,055	2,014
2	3	3,362	3,098	3,025
3	4	4,552	4,154	4,04
4	5	5,794	5,229	5,06
5	6	7,001	6,317	6,084
6	7	8,165	7,423	7,112
7	8	9,459	8,537	8,144
8	9	10,7	9,652	9,177
9	10	12,07	10,84	10,23
10	11	13,48	11,99	11,27

Результаты расчетов, выполненных с помощью приложения `pdetool`, показывают: 1) первоначальное разбиение области на конечные элементы не позволяет получить приемлемые результаты при решении двумерного стационарного уравнения Шредингера; 2) наиболее точные результаты получены после двукратного сгущения первоначальной сетки (рисунок 1, в); 3) дальнейшее сгущение сетки не приводит к улучшению численных результатов, возможно, в силу накопления погрешностей при обработке большого числа конечных элементов.

Таким образом, с использованием `pdetool` получено численное решение уравнения Шредингера для потенциала гармонического осциллятора методом конечных элементов при различных способах разбиения области на треугольные конечные элементы.

Результаты проведенных тестовых расчетов показывают, что приложение `pdetool` позволяет получать достаточно точные результаты при решении двумерного стационарного уравнения Шредингера. Удобство и простота работы с `pdetool` позволяют использовать это приложение в учебном процессе при изучении студентами свойств квантовых частиц в двумерных потенциалах.

## Литература

1. Гольдин, Л.Л. Квантовая физика. Вводный курс / Л. Л. Гольдин, Г.И. Новикова. – М. : ИКИ, 2002. – 496 с.
2. Kalogiratos, Z. Numerical Solution of the two-dimensional time independent Schrödinger equation with Numerov-type methods / Z. Kalogiratos, Th. Monovasilis, T.E. Simos // Journal of Mathematical Chemistry. – 2005. – V. 37. – No. 3. – P. 271–279.
3. Ануфриев, И.Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x. / И.Е. Ануфриев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 736 с.
4. Рындин, Е.А. Решение задач математической физики в системе MatLab / Е.А. Рындин, И.Е. Лысенко. – Таганро : Изд-во ТРТУ, 2005. – 62 с.

**А.Д. Мельникова** (УО «ГГТУ имени П.О. Сухого», Гомель)  
Науч. рук. **В.М. Мурашко**, ст. преподаватель

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ РЕЗАНИЯ**

Процессы обработки материалов резанием являются сложными многофакторными процессами. В этих процессах исследуемая величина часто является случайной величиной, зависящей от большого числа контролируемых и неконтролируемых факторов. Поэтому процессы резания все чаще стали рассматривать с вероятностно-статистических позиций, а при экспериментальных исследованиях применять методы планирования эксперимента, базирующиеся на идеях математической статистики.

Целью данной работы является разработка методики получения математической модели, характеризующей зависимость температуры резания от основных факторов резания средствами Microsoft Excel.

При исследовании процессов резания многие зависимости традиционно представляют уравнениями степенного вида, в частности, эмпирические температурные зависимости:

$$\theta = cv^{\alpha} s^{\beta} t^{\gamma}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость резания м/мин;  $s$  – подача мм/об;  $t$  – глубина резания мм;  $c, \alpha, \gamma, \beta$  – постоянные величины.

Уравнение (1) в результате логарифмирования линеаризуется:

$$\ln \theta = \ln c + \alpha \ln v + \beta \ln s + \gamma t. \quad (2)$$

Так как температура в зоне резания измерялась в миллиметрах длины кривой на диаграммной ленте потенциометра в качестве функции отклика решено было принять  $y = \ln \theta$ , а математическую модель представить в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2, \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – кодированные значения факторов  $v, s, t$ .

В качестве плана эксперимента предлагается использовать центральный композиционный ротатабельный план второго порядка [1], а кодирование независимых переменных проводить с помощью соотношений:

$$x_i = \frac{2 (\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{i\epsilon})}{\ln \tilde{x}_{i\epsilon} - \ln \tilde{x}_{i\eta}} + 1, \quad (4)$$

где  $\tilde{x}_i$  – натуральное значение;  $\tilde{x}_{i\epsilon}, \tilde{x}_{i\eta}$  – натуральные значения верхнего и нижнего уровней соответственно.

С целью определения коэффициентов регрессии проводится полный факторный эксперимент по следующему алгоритму:

1. Построение матрицы планирования эксперимента.
2. Построение матрицы с результатами проведения эксперимента.
3. Расчет коэффициентов регрессии по формулам [2].
4. Определение значимости коэффициентов регрессии. Рассчитывается доверительный интервал  $\Delta b$  [2], одинаковый для всех коэффициентов. Коэффициент регрессии можно считать значимым, если его абсолютная величина превышает величину доверительного интервала.
5. Проверка адекватности математической модели по критерию Фишера. Условие принятия гипотезы об адекватности математической модели по критерию Фишера:  $Fp \leq Ft$ , где  $Fp$  – расчетное значение критерия Фишера [1], а  $Ft$  – табличное значение критерия Фишера для выбранного уровня значимости  $\alpha$  и чисел степеней свободы  $f_1$  и  $f_2$ .
6. Перевод математической модели из кодированных значений факторов в натуральные (4).

Решение вручную поставленной интерполяционной задачи требует очень много временных затрат и не исключает случайных ошибок, которые может допустить разработчик.

Предлагается методика реализации представленного алгоритма для получения математической зависимости температуры резания от скорости, подачи и глубины резания при обработке точением стали 20 цельными проходными резцами из быстрорежущей стали P18 в Microsoft Excel.

Принятые уровни факторов представлены в таблице 1. Рисунок 1 содержит фрагмент расчетов в Excel – рабочую матрицу с результатами проведения эксперимента 2-го порядка, содержащую натуральные значения.

Таблица 1 – Уровни факторов

Наименование факторов	Значения факторов				
	кодированные для $x_1, x_2, x_3$				
	-1,6 812	-1	0	1	1,6 812
	натуральные для $v, s, t$				
Скорость резания $v$ , м/с	0,072	0,115	0,228	0,454	0,725
Подача $s$ , мм/об	0,082	0,11	0,169	0,26	0,3 486
Глубина резания $t$ , мм	0,251	0,36	0,612	1,04	1,493

В результате было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 2,0677 + 0,2056 \cdot x_1 + 0,0935 \cdot x_2 + 0,0466 \cdot x_3 - 0,0292 \cdot x_1^2 - 0,0083 \cdot x_2^2 - 0,0084 \cdot x_3^2. \quad (5)$$

N	v	s	t	$\theta$	$Y_j = \ln \theta$
1	0,115	0,11	0,36	5,408111737	1,6879
2	0,454	0,11	0,36	7,986079791	2,0777
3	0,115	0,26	0,36	6,359183572	1,8499
4	0,454	0,26	0,36	9,812921131	2,2837
5	0,115	0,11	1,04	5,922152614	1,7787
6	0,454	0,11	1,04	8,738163135	2,1677
7	0,115	0,26	1,04	7,013942824	1,9479
8	0,454	0,26	1,04	10,80598341	2,3801
9	0,072011446	0	0	5,150531947	1,6391
10	0,72502363	0	0	10,28925349	2,3311
11	0	0,082042782	0	6,598220556	1,8868
12	0	0,348598615	0	9,039465079	2,2016
13	0	0	0,250750039	7,136339715	1,9652
14	0	0	1,493120405	8,352826629	2,1226
15	0	0	0	7,807618595	2,0551
16	0	0	0	7,951813374	2,0734
17	0	0	0	7,958973227	2,0743
18	0	0	0	7,820902835	2,0568
19	0	0	0	7,852249098	2,0608
20	0	0	0	8,05102973	2,0858

Рисунок 1 – Рабочая матрица проведения эксперимента

Проверка гипотезы об адекватности модели, представленной уравнением (5), показала, что модель адекватна при 5%-ном уровне значимости.

Коэффициенты при квадратичных членах значимы. Это свидетельствует о том, что исследуемый процесс не может быть описан уравнением (2). Уравнение (5) для рассматриваемой области изменения факторов дает возможность предложить другую модель процесса. Эту модель получим, подставив в уравнение (5) вместо кодированных натуральное значение факторов, используем для этого соотношение (4):

$$\theta = 14,224 \cdot V^{0,1162-0,062 \ln V} \cdot S^{0,0571-0,45 \ln S} t^{0,1138-0,03 \ln t} \quad (6)$$

Зависимость (6) позволяет определить температуру резания в достаточно широком диапазоне, не изменяя режимов резания при обработке точением стали 20. По уравнению (6) может быть построена номограмма, которая позволит в практических условиях определять температуру резания при выбранных значениях элементов режима резания.

### Литература

1. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М. : Машиностроение, 1981. –184 с.

2. Пучков, А.А., Щербаков, С.А. Применение теории планирования эксперимента для математического моделирования элементов технологических процессов. – Гомель, ГПИ, 1993. – 72 с.

**И.С. Михалко** (УО «ГГУ им. Ф.Скорины», Гомель)  
 Науч. рук. **И.В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ В ДВОЙНОЙ ДНК-ПОДОБНОЙ СПИРАЛИ

В настоящее время разнообразные виды спиральных элементов находят широкое применение в различных областях физики, в том числе и при создании метаматериалов, что и обуславливает актуальность их всестороннего изучения. Интерес представляет ДНК-подобная спираль, в которой спирали взаимно смещены друг относительно друга вдоль оси вращения. Случай симметричной спирали рассмотрен в работе [1].

Рассмотрим две спирали, параметрические уравнения которых в декартовых координатах имеют следующий вид. Первая спираль характеризуется координатами:  $x_1 = \frac{\varphi}{q}$ ,  $y_1 = r \cos \varphi$ ,  $z_1 = r \sin \varphi$ . Вторая спираль имеет координаты:  $x_2 = \frac{\varphi}{q} + x_s$ ,  $y_2 = -r \cos \varphi$ ,  $z_2 = r \sin \varphi$ .

Здесь  $r$  – радиус спирали,  $\varphi$  – угол, отсчитываемый от оси  $y$  по направлению против часовой стрелки от начала координат,  $x_s$  – величина взаимного спиралей смещения по оси  $x$ .

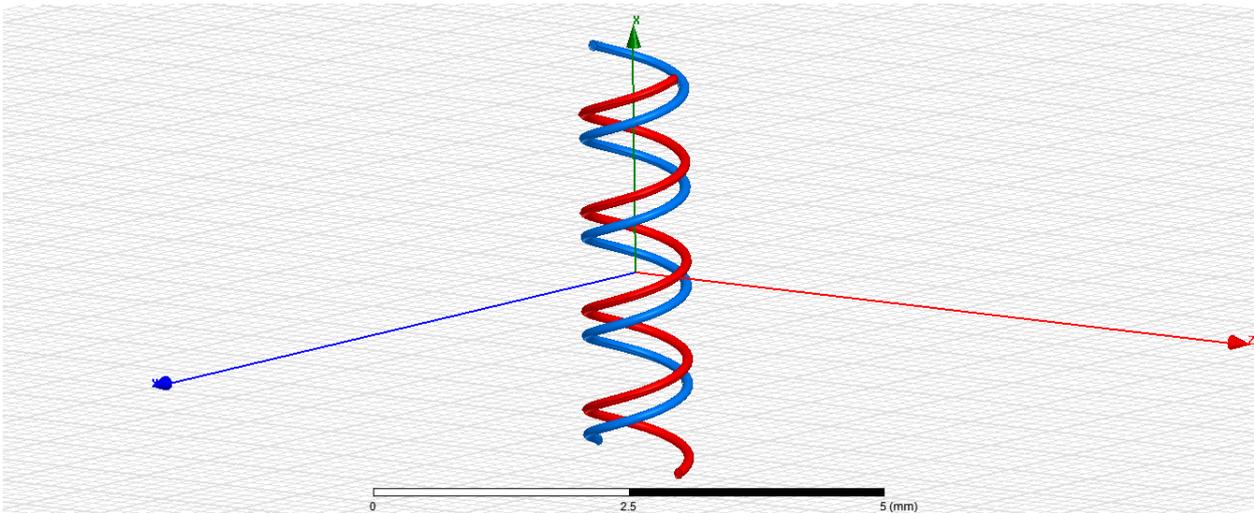


Рисунок 1 – Схематическое изображение несимметричной ДНК-подобной спирали (без соблюдения масштаба)

Предположим, что в спиралях протекают постоянные токи, идущие в одном направлении относительно оси спиралей. Между двумя спиралями возникает магнитная индукция и сила Ампера. Рассмотрим силу Ампера, которая действует со стороны первой спирали на физический малый элемент второй спирали с координатами  $(x_s, 0, -r)$ . В случае симметричных спиралей существовала только z-компонента силы Ампера, компоненты x и y были равны нулю в силу нечетности интегралов, их выражавших [1].

В случае смещенной спирали появляются компоненты сил вдоль осей x и y, и несколько видоизменяется выражение для компоненты силы вдоль оси z.

В случае смещенных витков зависимость компоненты z силы Ампера от угла подъема спирали приобретает следующий вид:

$$dF_{1zs} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} dx_1 q^2 r \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1 - q^2 r^2 + 1 + \cos u - (u_s - u) \sin u}{((u_s - u)^2 + 2q^2 r^2 (1 + \cos u))^{3/2}} du \quad (1)$$

В этом выражении сделана замена:  $u = qx$ ,  $q$  – удельное кручение спирали;  $u_s = qx_s$ ,  $x_s$  – постоянная величина;  $dx_2 = dl_1 \sin \alpha$ ,  $dl_1$  – физически малый элемент длины второй спирали;  $r$  – радиус спирали,  $I_1$  и  $I_2$  – токи на первой и второй спиралях.

На следующем графике отражена зависимость компоненты z силы Ампера от угла подъема спирали в случае смещенной спирали (на этом и всех последующих графиках все функции нормированы на общий множитель  $k = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} dx_2$ ):

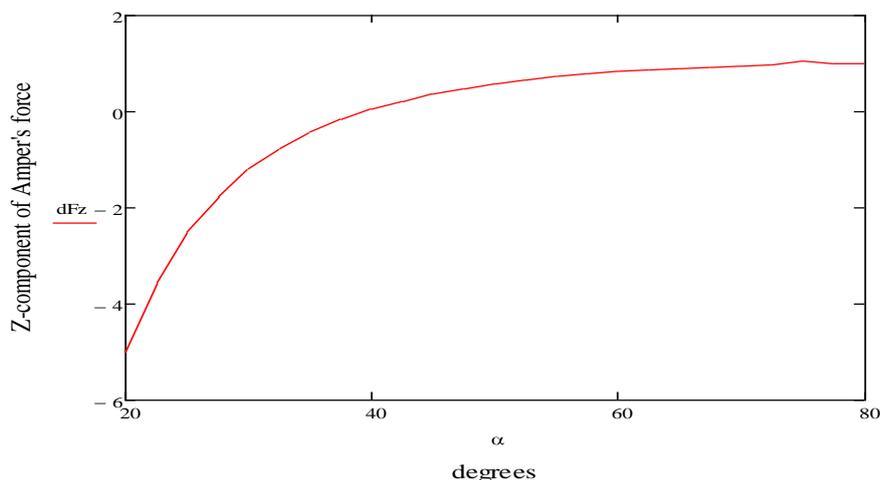


Рисунок 2 – Зависимость Z-компоненты силы Ампера, действующей на элемент второй смещенной спирали, от угла подъема спирали

В этом случае функция Z-компоненты силы имеет подобный с случаем несмещенных спиралей вид, хотя и несколько отличается числовыми значениями. Она обращается в нуль при том же угле подъема, примерно равном 38,4 градуса. Таким образом, как видно из графика, при угле подъема, меньшем  $\alpha_0 = 38,4$  градуса знак силы отрицательный, при большем  $\alpha_0$  – положительный. При угле подъема, равном  $\alpha_0$ , компонента силы z равна нулю. Данная сила направлена вдоль радиуса спирали и при положительном значении имеет место притяжение спиралей, а при отрицательных значениях – их отталкивание.

Функция для компоненты x силы Ампера в случае смещенных витков имеет следующий вид:

$$dF_{1xs} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} dx_2 q^3 r^2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin u + (u_s - u) \cos u}{((u_s - u)^2 + 2q^2 r^2 (1 + \cos u))^{3/2}} du \quad (2)$$

График зависимости x-компоненты силы от угла подъема спирали в случае смещенных спиралей:

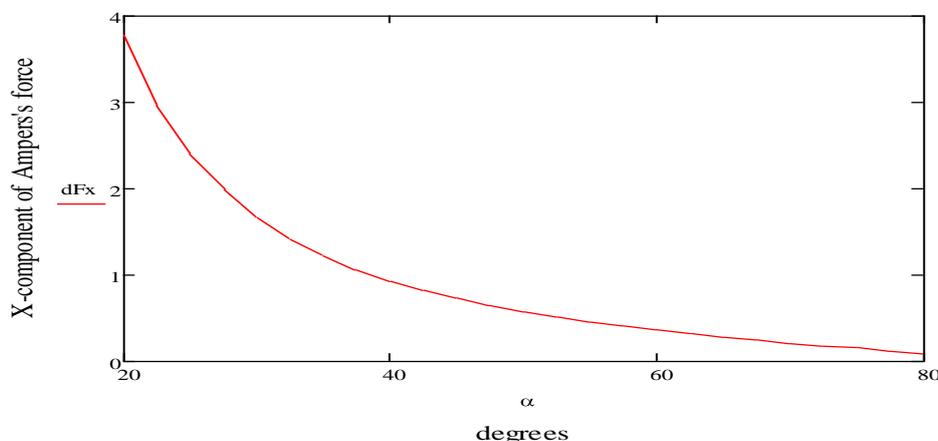


Рисунок 3 – Зависимость X-компоненты силы Ампера, действующей на элемент второй смещенной спирали, от угла подъема спирали

Функция для у компоненты силы Ампера в случае смещенных витков имеет следующий вид:

$$dF_{1ys} = -\frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} dx_2 q^2 r \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin u + (u_s - u) \cos u}{((u_s - u)^2 + 2q^2 r^2 (1 + \cos u))^{3/2}} du \quad (3)$$

График зависимости компоненты у силы Ампера в случае несмещенных витков имеет следующий вид:

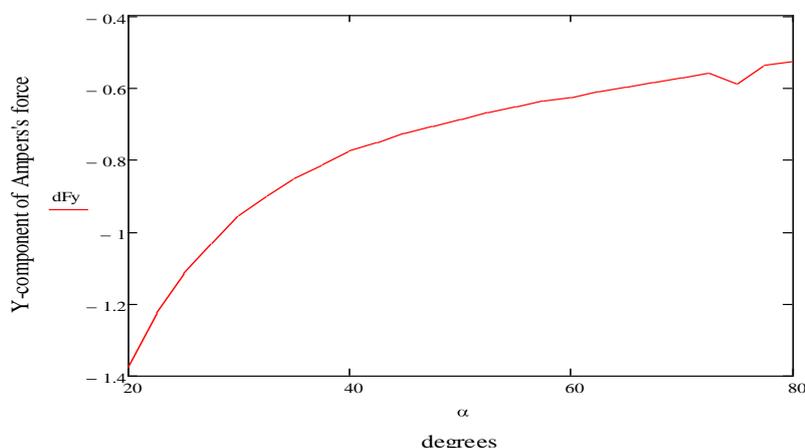


Рисунок 4 – Зависимость Y-компоненты силы Ампера, действующей на элемент второй смещенной спирали, от угла подъема спирали

Из соотношений (4) и (5) между компонентами x и y выполняется соотношение:

$$\frac{dF_{1xs}}{dF_{1ys}} = -qr = -\cot \alpha . \quad (4)$$

### Литература

1. Михалко И.С. Взаимодействие постоянного тока в двухзаходной спирали / И.С.Михалко, И.В.Семченко // Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс]: V Республиканская научная конференция студентов и аспирантов (Гомель, 21 апреля 2016 г.): материалы: в 3 ч. Ч. 2. – Электрон. дан. – Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2016.

2. Калашников С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. – М. :Физматлит, 2003. – 624 с.

**С.С. Михеев** (УО «МГУ имени А.А. Кулешова» Могилев)  
 Науч. рук. **А.Б. Сотский** д-р физ.-мат. наук, профессор

### ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИНАРНОЙ МОДУЛЯЦИИ ЧАСТИЧНО КОГЕРЕНТНОГО СВЕТА

Стандартное математическое обеспечение метода спектральной эллипсометрии поверхности основывается на когерентном

приближении. Но в серийно выпускаемых спектральных эллипсометрах в качестве источников света обычно используются газоразрядные лампы, снабженные монохроматорами. В результате зондирующее исследуемую пленку излучение является частично когерентным. Исследования, выполненные нами на спектральном эллипсометре ES-2, показали, что применительно к наноразмерным структурам на диэлектрических подложках и структурам микронной толщины на диэлектрических и полупроводниковых подложках когерентное приближение приводит к существенным погрешностям при расчете поляризационных углов  $\psi$ ,  $\Delta$  и последующем решении обратных задач спектральной эллипсометрии. В докладе рассматривается уточненный алгоритм вычисления функций углов  $\psi$  и  $\Delta$ , учитывающий частичную временную когерентность света.

Основные расчетные соотношения алгоритма имеют вид

$$\operatorname{tg} \psi = \sqrt{(\sin^2 A - B_1 B_2 \cos^2 A + C)(B_1 B_2 \sin^2 A - \cos^2 A + C)^{-1}}, \quad (1)$$

$$\cos \Delta = [B_1(\cos^2 A \sin^2 P + \operatorname{tg}^2 \psi \sin^2 A \cos^2 P) - \sin^2 A \sin^2 P - \operatorname{tg}^2 \psi \cos^2 A \cos^2 P][0.5 \operatorname{tg} \psi \sin(2A) \sin(2P)(1 + B_1)]^{-1}, \quad (2)$$

$$C = B_1(\sin^2 A \cos^2 P - \cos^2 A \sin^2 P) + B_2(\sin^2 A \sin^2 P - \cos^2 A \cos^2 P), \quad (3)$$

$$B_1 = S_1 S_2^{-1}, \quad B_2 = S_3 S_4^{-1}, \quad (4)$$

$$S_1(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} |R_s \sin A \sin P + R_p \cos A \cos P|^2 G(\lambda - \lambda') d\lambda', \quad (5)$$

$$S_2(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} |R_s \cos A \sin P - R_p \sin A \cos P|^2 G(\lambda - \lambda') d\lambda', \quad (6)$$

$$S_3(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} |R_s \sin A \cos P - R_p \cos A \sin P|^2 G(\lambda - \lambda') d\lambda', \quad (7)$$

$$S_4(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} |R_s \cos A \cos P + R_p \sin A \sin P|^2 G(\lambda - \lambda') d\lambda'. \quad (8)$$

При выводе (1)–(8) предполагалось, что используется бинарная модуляция состояния поляризации света с исходными азимутами поляризатора и анализатора  $A$  и  $P$ ;  $R_s(\lambda')$  и  $R_p(\lambda')$  – коэффициенты отражения плоских волн  $s$  и  $p$  поляризации от исследуемой поверхности на длине волны  $\lambda'$ ;  $G(\lambda - \lambda')$  – аппаратная функция монохроматора.

Эллипсометру ES-2 адекватна функция

$$G(\lambda - \lambda') = \exp[-(\lambda - \lambda')^2 \lambda_0^{-2}]. \quad (9)$$

В пределе при  $\lambda_0 \rightarrow 0$  (9) вырождается в дельта-функцию Дирака. Тогда выражения (1)–(8) переходят в стандартные формулы когерентного приближения из программного обеспечения эллипсометра ES-2. Однако реально в рассматриваемом приборе  $\lambda_0 \approx 2$  нм, поэтому если подынтегральные функции в (5)–(8) являются быстропеременными в масштабе  $\lambda_0$ , как это имеет место в указанных выше ситуациях, данное приближение становится не корректным.

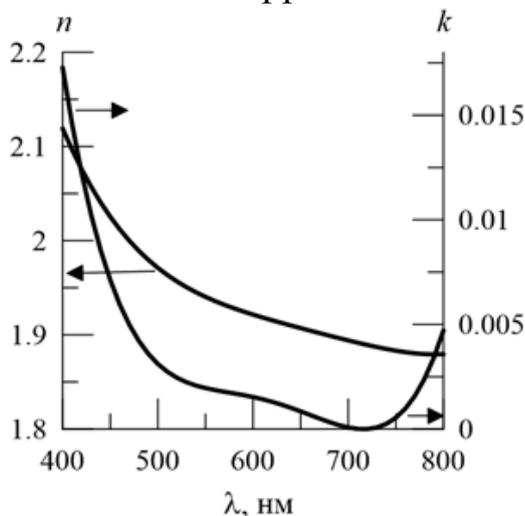


Рисунок 1 – Восстановленные спектры показателей преломления и поглощения пленки ZnO

На основании (4)–(9) исследована наноразмерная пленка ZnO, нанесенная на плоско-параллельную подложку из стекла К8 толщиной 2,14 мм. Измерения выполнены на эллипсометре ES-2 при  $A=10^0$ ,  $P=30^0$  и угле падения света на пленку  $65.22^0$ . При решении обратной задачи использован метод наименьших квадратов с целевой функцией

$$I = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^2 [B_l^{(e)}(\lambda_k) - B_l^{(t)}(\lambda_k)]^2, \quad (10)$$

где  $m$  – число длин волн, на которых измерены отношения (4), обозначенные через  $B_l^{(e)}(\lambda_k)$ ;  $B_l^{(t)}(\lambda_k)$  – теоретическая модель этих отношений, в которой используется представление спектров показателей преломления и поглощения пленки многочленами Лагранжа – Чебышева с коэффициентами, определяемыми из условия минимума функции (10).

Решение обратной задачи при  $m = 41$  привело к толщине пленки 357 нм. Восстановленные спектры показателя преломления  $n(\lambda)$  и показателя поглощения  $k(\lambda)$  представлены на рис.1.

На рисунке2 сопоставлены спектры поляризационных углов, рассчитанные в когерентном и частично-некогерентном приближениях

с использованием найденных  $n(\lambda)$  и  $k(\lambda)$ . Кривые, рассчитанные в частично-когерентном приближении в масштабах рисунка неотличимы от экспериментальных данных. Вместе с тем, когерентное приближение имеет мало общего с действительностью. Это объясняется образованием в подложке, представляющей собой интерферометр Фабри-Перо, монохроматических стоячих волн.

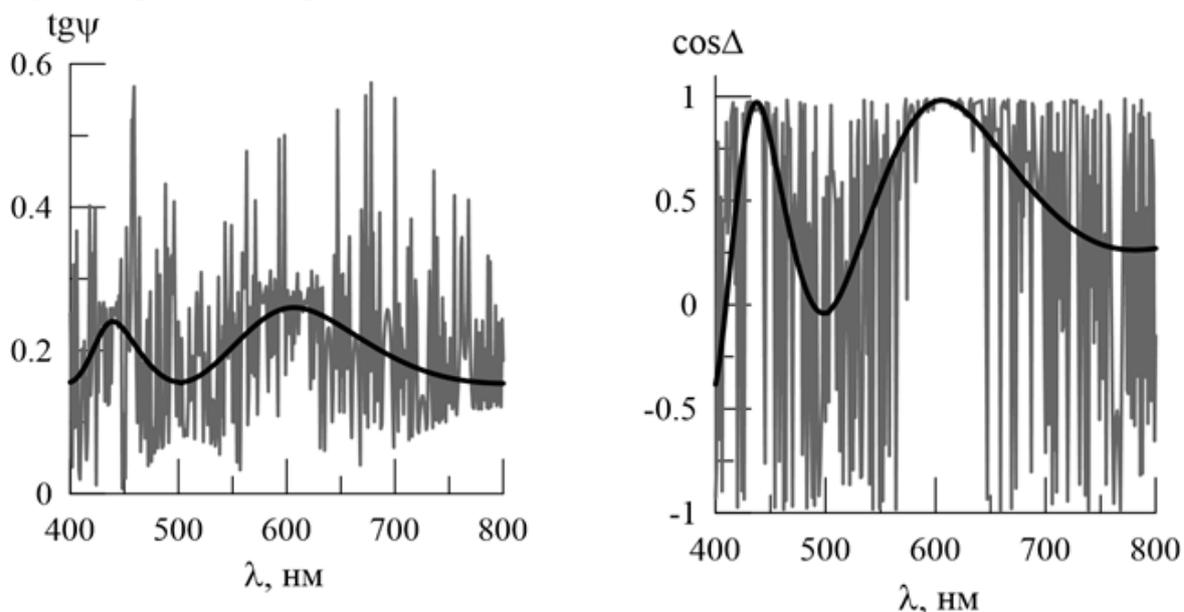


Рисунок 2 – Спектры поляризационных углов для пленки ZnO.  
Черные кривые: частично когерентное приближение и эксперимент,  
серые быстропеременные кривые: когерентное приближение

Таким образом, частичная когерентность света (или, что эквивалентно, конечность ширины его спектра) может существенно влиять на спектры поляризационных углов. Корректная обработка таких спектров может быть проведена на основании разработанного подхода.

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Фотоника, опто- и микроэлектроника 1.3.03» (2016–2017гг.).

**А.С. Парахневич** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **О.М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ЯДРАХ С ПОМОЩЬЮ БАНКОВ ДАННЫХ**

Ведущим мировым лидером научно-технического сотрудничества в области мирного использования ядерных технологий является Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). В настоящее

время его услугами в области ядерных данных пользуются ученые из более чем 70 государств-членов. Основной целью программы МАГАТЭ по ядерным данным является предоставление необходимых ядерных и атомных числовых данных научным сообществам во всех государствах-членах.

Изучение ядерных реакций связано с целым рядом специфических трудностей. Важной задачей является разработка методов комбинированного анализа различных экспериментов и оценка систематических погрешностей. Такая задача требует для своего решения одновременного доступа к результатам различных экспериментов. Эта задача не может быть эффективно решена без свободного доступа к базам экспериментальных данных. Эти базы данных являются основой для детального и системного анализа накопленной информации [1].

Рассмотрим работу одного из калькуляторов системы реляционных баз данных. Он дает возможность рассчитать энергию всех возможных распадов для известных ядер и построить график зависимости энергии распада от полного числа нуклонов  $A$ . Для этого необходимо задать числа протонов  $Z$ , нейтронов  $N$  и нуклонов  $A$  на оси абсцисс и выбрать необходимые варианты расчета.

В качестве исследуемого ядра выберем молибден. Как химический элемент он принадлежит к VI группе периодической системы. Атомный номер – 42, атомный вес – 95,94. Имеет очень высокую точку плавления – 2623°C. Активно используется для производства легированных сталей, а также применяется в тех случаях, когда необходимо сохранение прочности при высоких температурах. Новые стали HPSS, содержащие до 7,5% молибдена, в состоянии утроить срок службы теплообменных труб (ТОТ) парогенераторов атомного реактора. По данным международной молибденовой ассоциации (ИМОА), реакторам нового поколения могут потребоваться десятки тысяч тонн молибдена. В эту величину не входят потребности в молибдене, возникающие у создателей хранилищ отработанного ядерного топлива (ОЯТ).

Из молибдена-99 получают короткоживущий изотоп – технеций-99m, который используется в 80% всех диагностических процедур в ядерной медицине. В силу сложности и дороговизны его получения, он широко доступен лишь в немногих развитых странах.

Рассмотрим ядерные свойства молибдена. На рисунке 1 приведена поисковая форма БД «Калькулятор энергии распада ядер» для определения энергии распада выбранного ядра, а также выходная форма запроса. Энергии возможных видов распада ( $\alpha$ -распад,  $\beta$ -распад или электронный,  $\beta^+$ -распад или позитронный, электронный захват) определены для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$ , где  $Z = 42$ ,  $A = 99$ .

### 3. Энергии распадов

Энергии распадов рассчитаны на основании значений атомных масс по [следующим формулам](#).  
 Каждое поле формы может быть пустым. [\[ Помощь... \]](#)

Входные параметры	
Z:	<input type="text" value="42"/> Пример: 20, 40-60
N:	<input type="text"/> Пример: 20, 40-60
A:	<input type="text" value="99"/> Пример: 20, 40-60
Тип распада:	<input checked="" type="checkbox"/> $\alpha$ (альфа-распад) <input checked="" type="checkbox"/> $\beta^-$ (бета-распад) <input checked="" type="checkbox"/> $\beta^+$ (позитронный бета-распад) <input checked="" type="checkbox"/> $\epsilon$ (электронный захват)
На оси абсцисс:	<input type="radio"/> Z <input type="radio"/> N <input checked="" type="radio"/> A
<input type="button" value="Вычислить"/> <input type="button" value="Построить график"/> <input type="button" value="Очистить"/>	

Result -  $Q\alpha(A,Z)$ ,  $Q\beta^-(A,Z)$ ,  $Q\beta^+(A,Z)$ ,  $Q\epsilon(A,Z)$ :

Elem	Z	N	A	$Q\alpha$	$Q\beta^-$	$Q\beta^+$	$Q\epsilon$
Mo	42	57	99		1.3581		

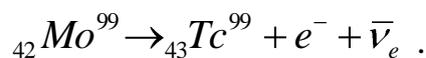
Рисунок 1 – Входная и выходная форма запроса по определению энергии распада ядер для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$

Result -  $Q\alpha(A,Z)$ ,  $Q\beta^-(A,Z)$ ,  $Q\beta^+(A,Z)$ ,  $Q\epsilon(A,Z)$ :

Elem	Z	N	A	$Q\alpha$	$Q\beta^-$	$Q\beta^+$	$Q\epsilon$
Mo	42	41	83			10.2780	11.3000
Mo	42	42	84			5.0780	6.1000
Mo	42	43	85			7.0280	8.0500
Mo	42	44	86			4.2080	5.2300
Mo	42	45	87			5.4680	6.4900
Mo	42	46	88			2.3480	3.3700
Mo	42	47	89			4.6240	5.6460
Mo	42	48	90			1.4670	2.4890
Mo	42	49	91			3.4060	4.4280
Mo	42	51	93				0.4050
Mo	42	57	99	1.3581			
Mo	42	59	101	2.8240			
Mo	42	60	102	1.0090			
Mo	42	61	103	3.7470			
Mo	42	62	104	2.1600			
Mo	42	63	105	4.9500			
Mo	42	64	106	3.5200			
Mo	42	65	107	6.1600			
Mo	42	66	108	4.6500			
Mo	42	67	109	7.3300			
Mo	42	68	110	5.4600			
Mo	42	69	111	8.1200			
Mo	42	70	112	7.2000			
Mo	42	71	113	9.6000			
Mo	42	72	114	8.4000			
Mo	42	73	115	10.8000			

Рисунок 2 – Выходная форма запроса по определению энергии распада ядер для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$

Из таблицы выходной формы запроса следует, что  $\alpha$ -распад,  $\beta^+$ -распад и  $e$ -захват для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$  не наблюдаются в природе, но можно определить энергию существующего  $\beta$ -распада. При этом молибден  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$  превращается в  ${}_{43}\text{Tc}^{99}$ :



Рассмотрим случай, когда поля  $N$  и  $A$  можно не задавать. Если ввести значение  $Z = 42$ , а других два поля оставить пустыми, то таблица заполнится автоматически возможными значениями энергий для всех изотопов данного элемента (рисунок 2).

Из рисунка 2 видно, что  $\alpha$ -распад для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$  не существует. При этом  $\beta$ -распаду подвержены 16 из 26 изотопов  ${}_{42}\text{Mo}$  ( $A = 99-115$ ), а  $\beta^+$ -распаду – 9 изотопов ( $A = 83-91$ ), для 10 изотопов ( $A = 83-93$ ) наблюдается электронный захват. Видно, что  $\beta^+$ -распад и  $e$ -захват конкурирующие процессы, при этом энергия, выделяющаяся в результате  $e$ -захвата больше, чем при  $\beta^+$ -распаде. Это свидетельствует о том, что  $e$ -захват для изотопов молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$  является более энергетически выгодным.

На основе полученных численных данных можно построить график зависимости трех видов энергии распада от полного числа нуклонов  $A$ , например, также для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$  (смотри рисунок 3). Из графика зависимости видно, что энергия  $\beta^+$ -распада и  $e$ -захвата для изотопов  ${}_{42}\text{Mo}$  резко уменьшается с ростом числа нуклонов. Энергия для  $\beta^+$ -распада лежит в интервале примерно 3,5–10,2 МэВ, а энергия  $e$ -захвата – 0,5–11,2 МэВ. При этом энергия  $\beta$ -распада увеличивается с ростом числа  $A$  и находится в пределах 1,5–11 МэВ.

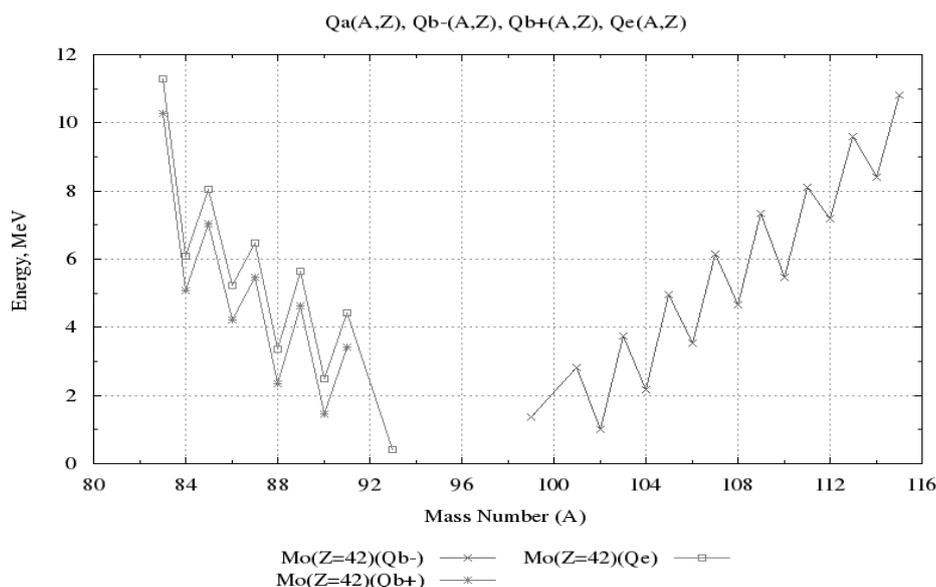


Рисунок 3 – График зависимости энергии распада от полного числа нуклонов  $A$  для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$

Использование данного калькулятора позволяет точно рассчитать энергетические распады ядер. При этом точность решения гораздо выше, а погрешности сведены к минимуму.

### Литература

1. Лоренц А., Шмидт Дж.Дж. Центр ядерных данных: удовлетворение насущных потребностей науки и техники // Бюллетень МАГАТЭ, 1986.

**К.Д. Поляков** (УО «ГГТУ имени П.О. Сухого», Гомель)  
 Науч. рук. **В.Ю. Гавриш**, ст. преподаватель

### ИНТЕГРИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ДВУХЧАСТИЧНОГО РАСПАДА

**Введение.** Задача о вычислении наблюдаемых на опыте величин, помимо вычисления матричного элемента процесса, включает в себя и интегрирование по фазовому пространству конечных частиц. Подобные расчеты требуют определенных приемов вычислений, которые мы и продемонстрируем.

В данной работе будут вычислены интегралы по фазовому пространству двухчастичного распада в случае, когда начальная частица покоится. Помимо этого, продемонстрируем как общее выражение преобразуется для различных случаев масс конечных частиц.

**Процесс распада  $1 \rightarrow 2$ .** Рассмотрим процесс распада в системе покоя исходной частицы. Используя закон сохранения энергии-импульса, получаем [1]

$$M = E_1 + E_2 \quad (1)$$

и

$$0 = \vec{k}_1 + \vec{k}_2. \quad (2)$$

После некоторых преобразований, с учетом того, что

$$|\vec{k}_1| = \sqrt{E_1^2 - m_1^2}, \quad |\vec{k}_2| = \sqrt{E_2^2 - m_2^2} \quad (3)$$

выражения для энергий конечных запишутся в виде [1]

$$E_1 = \frac{M^2 + m_1^2 - m_2^2}{2M}, \quad E_2 = \frac{M^2 - m_1^2 + m_2^2}{2M}. \quad (4)$$

Для импульса конечных частиц, в силу выражения (2), получаем

$$|\vec{k}| = |\vec{k}_1| = |\vec{k}_2| = \sqrt{\frac{M^2 + m_1^2 - m_2^2}{2M}^2 - 4M^2 m_1^2}. \quad (5)$$

Типичный интеграл по импульсу конечных частиц имеет вид [2,3]

$$I_2 = \int \frac{d^3k_1}{2E_1} \frac{d^3k_2}{2E_2} \delta^{(4)} P - (k_1 + k_2) , \quad (6)$$

где  $P = \{M, 0, 0, 0\}$ , а  $\delta^4 P - (k_1 + k_2)$  – дельта-функция Дирака, выражающая закон сохранения энергии-импульса.

Интегрирование по  $d^3k_2$  устраняет трехмерную часть дельта-функции Дирака, после чего выражение (6) принимает вид:

$$I_2 = \int \frac{d^3k_1}{2E_1} \delta M - (E_1 + E_2) . \quad (7)$$

Для дальнейшего вычисления воспользуемся тем, что

$$\begin{aligned} \frac{dM}{d|\vec{k}|} &= \frac{d(E_1 + E_2)}{d|\vec{k}|} = \frac{d}{d|\vec{k}|} \sqrt{\vec{k}_1^2 + m_1^2} + \sqrt{\vec{k}_2^2 + m_2^2} = \\ &= \frac{|\vec{k}_1|}{\sqrt{\vec{k}_1^2 + m_1^2}} + \frac{|\vec{k}_2|}{\sqrt{\vec{k}_2^2 + m_2^2}} = |\vec{k}| \frac{M}{E_1 E_2} , \end{aligned} \quad (8)$$

откуда, с учетом того, что  $|\vec{k}| = |\vec{k}_1| = |\vec{k}_2|$ , получаем

$$d|\vec{k}| = \frac{E_1 E_2}{|\vec{k}| M} . \quad (9)$$

Преобразование  $d^3k = |\vec{k}|^2 d|\vec{k}| d\Omega$ , где  $d\Omega$  – элемент телесного угла, в выражении (7) с учетом выражения (9) приводит к окончательному ответу [2]:

$$I_2 = \frac{|\vec{k}|}{4M} d\Omega . \quad (10)$$

**Явный вид интеграла для различных спектров масс конечных частиц.** Из формулы (10) следует, что выражение для интеграла по фазовому пространству зависит от импульсов конечных частиц  $|\vec{k}| = |\vec{k}_1| = |\vec{k}_2|$ .

Рассмотрим случай, когда обе конечные частицы имеют одинаковую массу  $m = m_1 = m_2$ . В этом случае выражение (5) упростится до [4]

$$|\vec{k}| = \sqrt{\frac{M^2 + m_1^2 - m_2^2}{4M^2}} = \frac{1}{2} M \sqrt{1 - \frac{4m^2}{M^2}} \quad (11)$$

и выражение (10) примет вид:

$$I_2 = \frac{1}{8} \sqrt{1 - \frac{4m^2}{M^2}} d\Omega . \quad (12)$$

В случае, когда одна из масс равна нулю, выражение (5) примет вид

$$|\vec{k}| = \frac{1}{2} \left( \frac{M^2 - m^2}{M} \right), \quad (13)$$

а выражение (10) в таком случае упростится до

$$I_2 = \frac{1}{8} \left( \frac{M^2 - m^2}{M^2} \right) d\Omega. \quad (14)$$

Если же масса обеих конечных частиц равна нулю, то выражение (5) примет вид

$$|\vec{k}| = \frac{1}{2} M, \quad (15)$$

а формула (10) запишется в виде

$$I_2 = \frac{1}{8} d\Omega. \quad (16)$$

**Заключение.** В данной работе была продемонстрирована схема вычисления интегралов по фазовому пространству в случае двухчастичного распада. Полученные выражения для различных масс конечных частиц полностью совпадают с известными выражениями [4], что подтверждает методику вычисления.

### Литература

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика : Том 2. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Москва : Физматлит, 2006. – 536 с.
2. Биленький, С.М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия / С. М. Биленький. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 327 с.
3. Хелзен, Ф. Лептоны и кварки: введение в физику частиц / Ф. Хелзен, А. Мартин. – Москва: Мир, 1987. – 456 с.
4. Borodulin, V.I. CORE: COmpendium of RELations: Version 2.1 / V.I. Borodulin, R.N. Rogalyov, S.R. Slabospitsky // CORE. [Electronic resource]. Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9507456v1>– Date of access: 03.03.2017.

**В.А. Прохоренко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **В.С. Смородин**, д-р техн. наук, профессор

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ В ЗАДАЧЕ ПОИСКА ПУТИ

Искусственные нейронные сети успешно применяются для решения задач классификации, прогнозирования, аппроксимации, сжатия данных

и управления. Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщение.

Целью работы было исследование возможности применения нейросетевых архитектур для решения задач поиска пути. В качестве примера задачи поиска пути рассмотрена задача поиска выхода из лабиринта. В процессе работы были поставлены и решены следующие задачи:

- разработка действующей модели нейронной сети, а также программная реализация алгоритмов обучения;
- формализация задачи и приведение входных данных к виду, в котором они могут быть обработаны нейронной сетью;
- подготовка обучающего множества и обучение нейросети.

Модели нейронных сетей реализованы на языке C++ в среде Visual Studio.

Задача поиска пути представлена как последовательное перемещение управляемого объекта по полю, на котором имеются непроходимые участки. Перемещение происходит до тех пор, пока не будет достигнут выход.

Нейронная сеть принимает в качестве входных данных контекстное окно, состоящее из соседних с управляемым объектом клеток, а также текущее направление движения. Выходные сигналы нейронной сети определяют направление следующего движения объекта.

Все нейронные сети обучались с использованием метода сопряжённых градиентов. Производные вычислялись с помощью обратного распространения ошибки. Коррекции настраиваемых параметров осуществлялись после предъявления в произвольном порядке всех последовательностей из обучающего множества. Обучающее множество представляет собой пары входных и требуемых выходных векторов в случае многослойного персептрона и последовательности пар векторов в случае рекуррентной нейросети. В качестве минимизируемой ошибки использовалась среднеквадратичная ошибка по обучающему множеству.

В рассматриваемой задаче были протестированы две нейросетевые архитектуры: однонаправленная полносвязная нейронная сеть типа многослойный персептрон и рекуррентная нейронная сеть на базе многослойного персептрона. Схемы нейронных сетей приведены на рисунке 1.

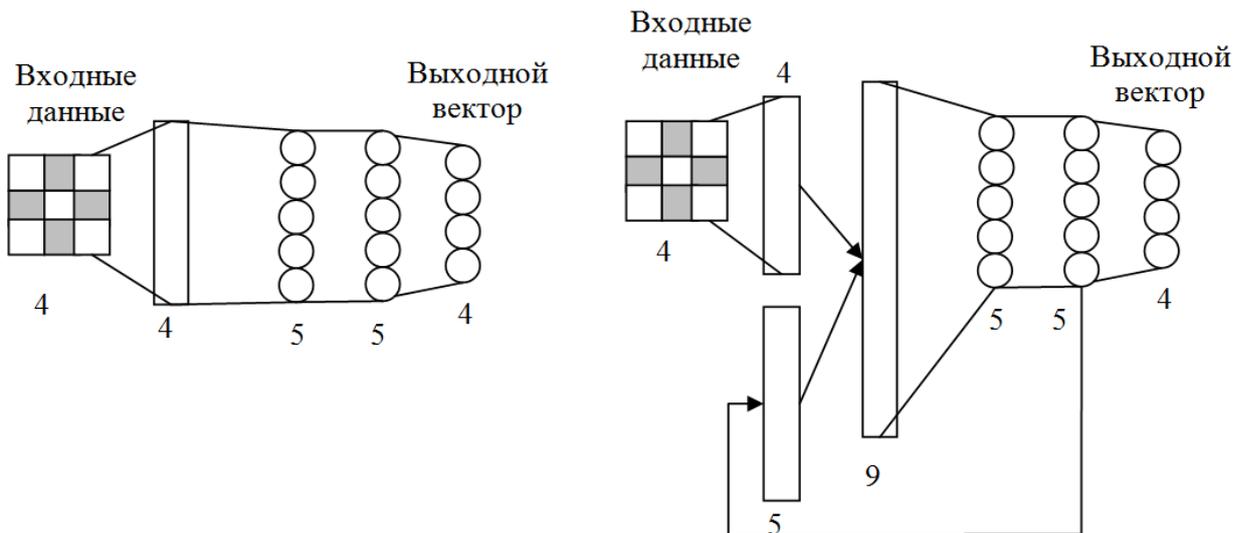


Рисунок 1 – Схемы использованных нейронных сетей.  
 Слева – многослойный персептрон, справа – рекуррентная сеть на базе многослойного персептрона

В силу своей структуры, многослойный персептрон не может принимать во внимание входные и выходные данные в предыдущие моменты времени. По этой причине нейронная сеть такого типа может быть успешно применена в рассматриваемой задаче в очень ограниченном наборе ситуаций и плохо подходит для её решения.

Рекуррентная сеть характеризуется наличием связей между слоями в форме элементов запаздывания. Это позволяет сети накапливать память о своих предыдущих состояниях и воспроизводить последовательности реакций.

Для обучения рекуррентной нейронной сети использованы последовательности из 2 и 3 ходов, что позволило успешно находить путь с её помощью в гораздо более широком кругу задач.

Примеры нахождения пути с помощью рекуррентной нейросети по описанной методике приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Примеры нахождения пути с использованием рекуррентной нейросети

Проведенные эксперименты показали, что рекуррентная нейронная сеть может успешно применяться в задачах нахождения пути. Эффективность применения этого метода может быть повышена, если включить в обучающее множество последовательности из большего количества ходов.

### Литература

1 Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссермен. – М. : Мир, 1992. – 240 с.

2 Заенцев, И.В. Нейронные сети: основные модели / И.В. Заенцев – Воронеж : ВГУ – 1999 г. – 76 с.

3 Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский – Москва, Финансы и статистика – 2002 г. – 345 с.

**Г.Г. Рабатуев, Е.А. Масленикова** (УО «БГУИР», Минск)

Науч. рук. **Д.А. Циркунов**, м.т.н.

### **РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИТ ПРИ АНОДИРОВАНИИ**

В последние годы активно исследуются процессы электрохимического анодирования вентильных металлов в связи с их использованием при формировании наноразмерных структур [1]. Простота воспроизведения и множество возможностей – это уникальные свойства электрохимического анодирования. В зависимости от состава электролита, электрических режимов и температуры растущей пленки можно получать структуры с размерами от одного до сотен нанометров.

На температуру и перенос тепла от растущей пленки очень важное влияние оказывает состав электролита. Рост температуры в зависимости от количества передаваемого тепла от растущего пористого анодного оксида алюминия (ПАОА) в электролит определяется коэффициентом теплопередачи (КТП).

Согласно теории подобия [2] конвекционный КТП определяется как:

$$h = Nu \cdot Km / L, \quad (1)$$

где:  $Nu$  – число Нуссельта;  $Km$  – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·С);  $L$  – характерный размер нагретой поверхности, м (отношение площади к периметру, для круга – четверть диаметра).

Число Нуссельта выражает соотношение между интенсивностями конвекционного и теплопроводного механизмами теплопередачи

(соответственно всегда не менее единицы) [2]. Для плоской поверхности (алюминиевой фольги) расположенной вертикально число Нуссельта определяется как [4]:

$$Nu = 0,68 + 0,67 \cdot \left( gL^3 \beta \cdot \frac{t_c - t_0}{\nu \cdot \delta} \right)^{1/4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,492\delta}{\nu} \right)^{9/16} \right]^{-4/9}, \quad (2)$$

где:  $g$  – ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м/с}^2$ );  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения жидкости (электролита),  $\text{С}^{-1}$ ;  $t_c$  – температура теплоотдающей поверхности,  $\text{С}$ ;  $t_0$  – температура охлаждающей жидкости,  $20^\circ\text{С}$ ;  $\nu$  – динамическая вязкость,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\delta$  – температуропроводность,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Нами были рассчитаны числа Нуссельта для нескольких жидкостей, входящих в состав электролитов для анодирования. Также мы рассчитали КТП в зависимости от температуры нагрева поверхности для различного состава электролитов (рисунок 1). Из графика видно, что наибольший КТП, примерно  $1500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$ , демонстрируют электролиты на основе воды, тогда как для электролитов на органической основе он составляет примерно  $700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$ . Следовательно, температура в зоне роста ПАОА будет меньше для водных электролитов благодаря их лучшему теплоотводу. Эта же температура для органических электролитов будет в 2–3 раза больше [3].

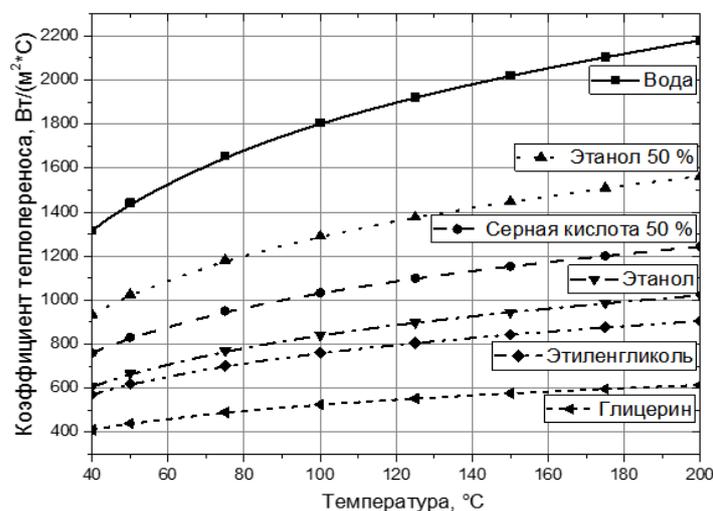


Рисунок 1 – Зависимость КТП от температуры разогрева поверхности (растущей ПАОА) при анодировании для различных электролитов

Форма анодируемой поверхности (поверхности нагрева) учитывается в характерном размере, который имеет максимальное значение для круглой формы. Такая форма общепринята для кремниевых пластин в технологии микроэлектроники. Нами было рассчитано влияние диаметра круглой анодируемой поверхности на значение КТП. Расчеты проводили для двух водных электролитов

с содержанием серной кислоты 1 и 50 % (рисунок 2). Результаты показывают, что максимальное значение КТП наблюдается для меньших значений диаметра. Таким образом, для диаметра области анодирования менее 10 мм, рост ПАОА будет происходить при меньших температурах, чем при большем диаметре. Из графиков видно, что с ростом температуры образующейся ПАОА растет и КТП, т.е. увеличивается теплоотдача и температура нагретой поверхности уменьшается, что является механизмом саморегуляции температуры растущей ПАОА. Такой механизм саморегуляции температуры очень важен при анодировании при высоких напряжениях [4]. Кроме того, увеличение содержания серной кислоты с 1 % до 50 % приводит к уменьшению КТП. Таким образом, КТП может достигать значения 10 000 Вт/(м<sup>2</sup>·С) для электролита с содержанием серной кислоты 1 % и диаметром области анодирования 1 мм.

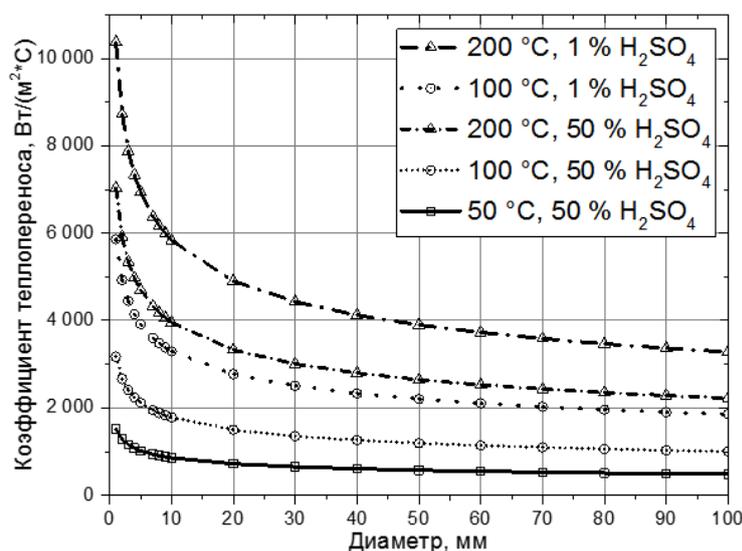


Рисунок 2 – Зависимость КТП от диаметра области анодирования для водных электролитов с содержанием H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 % и 50 % для различных температур нагретой поверхности

КТП определяет температуру в зоне роста ПАОА. Выбор состава электролита и диаметра области анодирования позволяет контролировать эту температуру. Таким образом, можно управлять теплоотводом при анодировании и обеспечивать стабильность процесса даже при очень высоких температурах разогрева, при которых имеет место формирование упорядоченных гексагональных наноструктур [4].

### Литература

1. С.Т. Sousa, D.C. Leitaо, M.P. Proenca, et al. / Nanoporous alumina as templates for multifunctional applications // Citation: Applied Physics Reviews. – Vol. 1. – 2014. – p. 031102.

2. М.А. Михеев, И.М. Михеева / Основы теплопередачи. Учебное пособие для вузов 3-е изд., репринтное. – М.: ООО «ИД БАСТЕТ», 2010 г. – 344 с.

3. С.К. Лазарук, В.В. Дудич, Д.Н. Завальный и др. / Исследование джоулева разогрева оксида алюминия в процессе электрохимического анодирования // Доклады БГУИР. – 2016. – Т. 100. – С. 5–10.

4. S. Chu, K. Wada, S. Inoue, et al. / Fabrication of ideally ordered nanoporous alumina films and integrated alumina nanotubule arrays by high-field anodization // Adv. Mater. – Vol. 17. – 2005. – p. 2115.

**В. А. Скачкова** (УО «БГУИР», Минск)

Науч. рук. **В. Р. Стемпицкий**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКАНСИИ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ФОСФОРЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ**

В области изучения материалов большое внимание уделяется двумерным (2D) материалам, таким как графен, дихалькогениды переходных металлов, силицен и германен, благодаря их уникальным свойствам. Однако, такие приборы микро- и наноэлектроники, как МОП-транзисторы, требуют наличие запрещенной зоны, шириной которой можно управлять. В последнее время наблюдается рост интереса к фосфорену – 2D-материалу, который представляет собой монослой черного фосфора, наиболее устойчивого аллотропа фосфора, обладающего высокой подвижностью носителей заряда и наличием конечной ширины запрещенной зоны.

В отличие от графена, фосфорен обладает прямой запрещенной зоной, величина которой 1-2 эВ, в зависимости от количества слоев [1]. Кроме того, он обладает высоким значением полевой подвижности носителей заряда (экспериментальное значение –  $10^3$  см<sup>2</sup>/В·с [2], предсказанное значение подвижности дырок –  $10^5$  см<sup>2</sup>/В·с [3]). Таким образом, важно исследовать влияние точечных дефектов на механизмы захвата носителей заряда, что приводит к ограничению их полевой подвижности.

Представлены результаты изучения влияния единичной вакансии на электронные свойства фосфорена. Теоретические исследования проводились в рамках теории функционала электронной плотности, реализованной в программе VASP [4]. Взаимодействие между атомными остовами и валентными электронами описывалось методом

присоединенных плоских волн (PAW). Структурная оптимизация достигалась при разнице полной энергии между двумя последними шагами менее  $1 \cdot 10^{-6}$  эВ. Энергией обрезания составила 400 эВ. Интегрирование в импульсном пространстве проводилось по сетке  $k$ -точек  $6 \times 6 \times 1$ , сгенерированной по Гамма-схеме. Зонная структура рассчитывалась по контуру  $\Gamma$ - $\Gamma$ - $X$ - $\Gamma$  первой зоны Бриллюэна. Исследование вакансии проводилось с использованием суперячейки, состоящей из  $4 \times 4 \times 1$  элементарных ячеек (рисунок 1), для минимизации влияния вакансий друг на друга. Вакуумный слой между слоями фосфора равен  $17 \text{ \AA}$ .

Удаление атома из структуры однослойного фосфора ведет к образованию трех разорванных связей. Поскольку фосфорен обладает механической гибкостью, релаксация структуры приведет к перестроению вакансии. Ниже представлена идеальная структура фосфорена с вакансией (без реконструкции) (рисунок 2, а), и реконструированная структура фосфорена с нейтральной вакансией (рисунок 2, б).

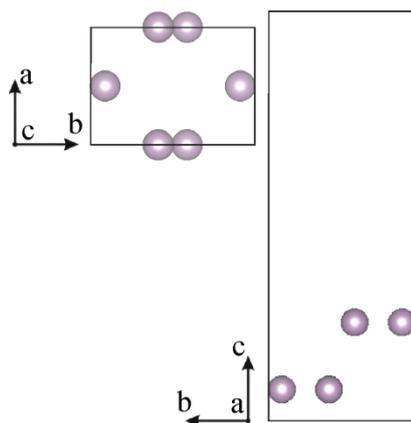


Рисунок 1 – Элементарная ячейка фосфорена

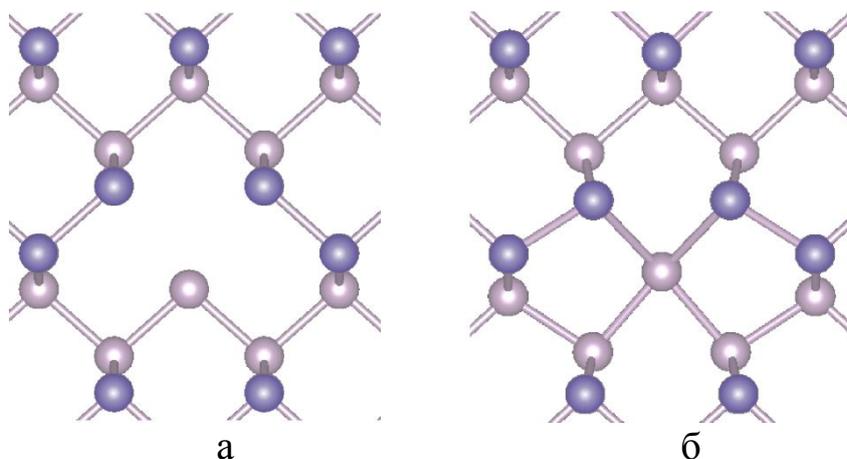


Рисунок 2 – Идеальная (а) и реконструированная (б) структура фосфорена с единичной нейтральной вакансией

Значение энергии образования вакансии  $E_v$  может быть получено из выражения

$$E_v = E_t - \frac{N-1}{N} E_b,$$

где  $E_t$  – полная энергия ячейки, содержащей вакансию;  $N$  – число атомов в идеальной суперячейке;  $E_b$  – полная энергия идеальной суперячейки. Энергия образования вакансии такого типа равна 1,95 эВ, что соответствует значениям в 2 и 1,96 эВ, полученным в работах [5] и [6].

Исследование влияния данной вакансии на зонную структуру показало, что наличие вакансии ведет к тому, что фосфорен становится непрямозонным полупроводником (рисунок 3). Кроме того, одна из валентных зон пересекает уровень Ферми, который смещен в ноль, что говорит о появлении в запрещенной зоне разрешенных состояний, ~0,1 эВ выше валентной зоны.

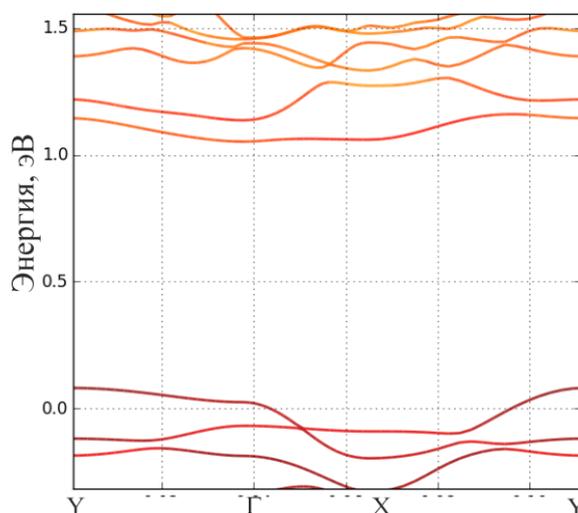


Рисунок 3 – Зонная структура фосфорена с реконструкцией нейтральной вакансии

Проведенные исследования показывают, что наличие дефекта в структуре фосфорена приводит к значительному изменению его электронных свойств и появлению разрешенных состояний в запрещенной зоне, что влечет уменьшение подвижности носителей заряда.

### Литература

1. Du, Y. Ab Initio Studies on atomic and electronic Structures of Black Phosphorus // Y. Du, C. Ouyang, S. Shi, M. Lei // J. Appl. Phys. – 2010. – №107. – 093718-4.
2. Li, L. Black Phosphorus field-effect transistors / L. Li, Y. Yu, G. J. Ye, Q. Ge, X. Ou, H. Wu, D. Feng, X. H. Chen, Y. Zhang // Nat. Nanotechnol. – 2014. – № 9. – P. 372–377.

3. Rodin, A. S. Strain-Induced Gap Modification in Black Phosphorus / A. S. Rodin, A. Carvalho, A. H. Castro Neto // Phys. Rev. Lett. – 2014. – №112. – 176801-5.

4. Kresse, G. VASP the guide: tutorial / G. Kresse, M. Marsman, J. Furthmüller – Vienna: University of Vienna, 2014 – 209 p.

5. Li, X.-B. Structures, stabilities, and electronic properties of defects in monolayer black phosphorus / X.-B. Li, P. Guo, T.-F. Cao, H. Liu, W.-M. Lau, L.-M. Liu // Scientific Reports. – 2015. – №5. – 10848-11.

6. Guo, Y. Vacancy and Doping States in Monolayer and bulk Black Phosphorus / Y. Guo, J. Robertson // Scientific Reports. – 2015. – № 5. – 14165-10.

**А.И. Толкачёв** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **В.Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## ЗАДАЧИ НА СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ

1. Как известно, многие задачи акустики, электродинамики и квантовой механики для звуковых, электромагнитных и других полей сводятся к решению уравнения Гельмгольца в ограниченных областях:

$$\Delta + k^2 \Psi(\vec{x}) = 0; \quad \vec{x} \in G. \quad (1)$$

При этом на поверхности  $\Sigma$ , ограничивающей область  $G$ , должны выполняться граничные условия (ГУ), например Дирихле или Неймана:

$$(ГУ)_1 \quad U(\vec{x})|_{\vec{x} \in \Sigma} = 0; \quad (ГУ)_2 \quad \partial U(\vec{x}) / \partial \vec{n}|_{\vec{x} \in \Sigma} = 0, \quad (2)$$

где  $\vec{n}$  – внешняя нормаль к поверхности  $\Sigma$ . Такие задачи являются задачами на собственные значения (СЗ), – они имеют решения не при всех значениях параметра  $k^2$ , а только при некоторых:  $k_n^2$ . Например, для заключённой внутри поверхности  $\Sigma$  квантовой частицы массы  $m_0$ , которая описывается стационарным уравнением Шрёдингера [1,2]

$$-(\hbar^2/2m_0)\Delta + U(\vec{x}) \Psi(\vec{x}) = E \cdot \Psi(\vec{x}); \quad U(\vec{x}) = 0; \quad \vec{x} \in G; \quad U(\vec{x}) = \infty; \quad \vec{x} \notin G, \quad (3)$$

имеем ГУ Дирихле, а СЗ энергии  $E_n = \hbar^2 k_n^2 / 2m_0$ . В данной работе сконцентрируем внимание на задачах для областей, которые удобно рассматривать в цилиндрических координатах.

Для решения уравнения Гельмгольца воспользуемся методом разделения переменных. Для оператора Лапласа и функции  $\Psi(\vec{x})$  имеем

$$\Delta = \Delta_\rho + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}; \quad \Psi(\vec{x}) = \Psi(\rho, \varphi, z) = R(\rho)\Phi(\varphi)Z(z), \quad (4)$$

поэтому нетрудно получить равенство

$$\frac{\Delta_\rho R(\rho)}{R(\rho)} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\Phi''(\varphi)}{\Phi(\varphi)} + \frac{Z''(z)}{Z(z)} + k^2 = 0. \quad (5)$$

Из (5) следуют три обыкновенных дифференциальных уравнения:

$$Z''(z) = -\kappa^2 Z(z); \quad \Phi''(\varphi) = -\nu^2 \Phi(\varphi), \quad (6)$$

$$\rho^2 \Delta_\rho - \nu^2 + \gamma^2 \rho^2 R(\rho) = 0, \quad (7)$$

где  $\gamma^2 = k^2 - \kappa^2$ , а  $\kappa^2$  и  $\nu^2$  – константы разделения переменных.

Общие решения уравнений (6)-(7) имеют вид

$$Z(z) = A_\kappa \cos \kappa z + B_\kappa \sin \kappa z, \quad (8)$$

$$\Phi(\varphi) = A_\nu \cos \nu \varphi + B_\nu \sin \nu \varphi, \quad (9)$$

$$R(\rho) = C_\nu J_\nu(\gamma \rho) + D_\nu N_\nu(\gamma \rho), \quad (10)$$

где  $J_\nu(z)$  ( $N_\nu(z)$ ) – функции Бесселя (Неймана). Таким образом, имеем решения уравнения Гельмгольца в цилиндрических координатах в виде

$$\Psi(\vec{x}) = C_\nu J_\nu(\gamma \rho) + D_\nu N_\nu(\gamma \rho) A_\nu \cos \nu \varphi + B_\nu \sin \nu \varphi A_\kappa \cos \kappa z + B_\kappa \sin \kappa z. \quad (11)$$

Далее рассмотрим конкретные области и найдём к каким следствиям приводят граничные условия.

**2.** Начнём с цилиндрической области (рис. 1)

$$G = 0 \leq \rho \leq \rho_0; \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi; \quad 0 \leq z \leq z_0. \quad (12)$$

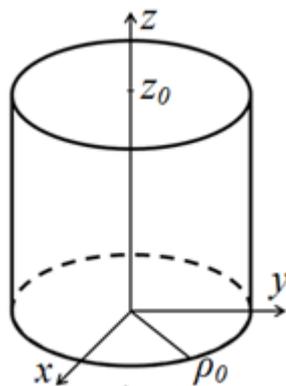


Рисунок 1 – Системы координат в цилиндрической области

Из ГУ Дирихле имеем для функций  $Z(z)$ ;  $\Phi(\varphi)$  и  $R(\rho)$  условия

$$Z(0) = 0; Z(z_0) = 0; \Phi(2\pi) = \Phi(0); \Phi'(2\pi) = \Phi'(0); |R(\rho)| < \infty; R(\rho_0) = 0. \quad (13)$$

Из условий (13) для функции (8), нормируя её на единицу, имеем:

$$\kappa = \kappa_l = l\pi/z_0; \quad A_l = 0; \quad Z_l(z) = \sqrt{2/z_0} \sin l\pi z/z_0; \quad l = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

Для описывающих азимутальную зависимость функций  $\Phi(\varphi)$  имеем  $\nu = \nu_m = m$ ,  $m = 1, 2, 3, \dots$  и две возможности (при  $\nu = 0$  – одну):

$$\Phi_m^{(c)}(\varphi) = \sqrt{1/\pi} \cos m\varphi; \quad \Phi_m^{(s)}(\varphi) = \sqrt{1/\pi} \sin m\varphi. \quad (15)$$

Условию  $|R(\rho)| < \infty$  в начале координат удовлетворяют только функции Бесселя (функции Неймана имеют логарифмическую особенность), поэтому (при  $\nu = m$ )  $D_m = 0$  и  $R(\rho) = C_m J_m(\gamma\rho)$ , причём должно выполняться условие Дирихле на боковой поверхности цилиндра

$$R(\rho_0) = C_m J_m(\gamma\rho_0) = 0. \quad (16)$$

Это условие означает, что

$$\gamma = \gamma_n^{(m)} = \mu_n^{(m)} / \rho_0, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (17)$$

где  $\mu_n^{(m)}$  – корни функций Бесселя индекса  $m$ , для больших значений номеров корней  $n$  их приближённые значения [3]

$$\mu_n^{(m)} \cong 3\pi/4 + \pi m/2 + n\pi. \quad (18)$$

Константы  $C_m$  определяются из условия нормировки

$$\int_0^{\rho_0} |R(\rho)|^2 \rho d\rho = 1. \quad (19)$$

Таким образом, волновые функции квантовомеханической частицы, находящейся внутри цилиндрического ящика, имеют вид

$$\Psi_{nml}^{(c,s)}(\rho, \varphi, z) = C_n^{(m)} J_m(\mu_n^{(m)} \rho / \rho_0) \Phi_m^{(c,s)}(\varphi) Z_l(z). \quad (20)$$

Соответствующие собственные значения энергии таковы:

$$E_{nml} = \hbar^2 k_{nml}^2 / 2m_0; \quad k_{nml}^2 = l\pi/z_0^2 + \mu_n^{(m)} / \rho_0^2. \quad (21)$$

3. Рассмотрим теперь область  $G$  в виде клина (рис. 2):

$$G = 0 \leq \rho \leq \rho_0; \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_0; \quad 0 \leq z \leq z_0. \quad (22)$$

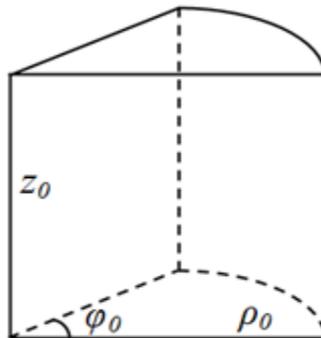


Рисунок 2 – Клиновидная область в цилиндрических координатах

Для такой области из ГУ Дирихле для функций (8)–(10) имеем

$$Z(0) = 0; \quad Z(z_0) = 0; \quad \Phi(0) = 0; \quad \Phi(\varphi_0) = 0; \quad |R(\rho)| < \infty; \quad R(\rho_0) = 0. \quad (23)$$

Функции  $Z(z)$  будут иметь тот же вид  $Z_l(z)$  (14). Для описывающих азимутальную зависимость функций  $\Phi(\varphi)$  имеем  $\nu = \nu_m = m\pi/\varphi_0$ ,  $m = 1, 2, \dots$  и одну возможность

$$\Phi_{\nu_m}^{(s)}(\varphi) = \sqrt{2/\varphi_0} \sin \nu_m \varphi = \sqrt{2/\varphi_0} \sin m\pi \varphi / \varphi_0. \quad (24)$$

Радиальная зависимость теперь будет описываться функциями Бесселя индексов  $\nu_m$ , корни которых  $\mu_n^{(\nu_m)}$ , а приближённые значения корней

$\mu_n^{(\nu_m)} \cong 3\pi/4 + \pi\nu_m/2 + n\pi$ . При этом волновые функции имеют вид

$$\Psi_{nml}^{(s)}(\rho, \varphi, z) = C_n^{(\nu_m)} J_{\nu_m} \mu_n^{(\nu_m)} \rho / \rho_0 \Phi_{\nu_m}^{(s)}(\varphi) Z_l(z). \quad (25)$$

Соответствующие СЗ энергии описываются формулами (21), в которых  $\mu_n^{(m)}$  заменяется на  $\mu_n^{(\nu_m)}$ .

Рассмотрим некоторые частные случаи клина (рисунок 3).

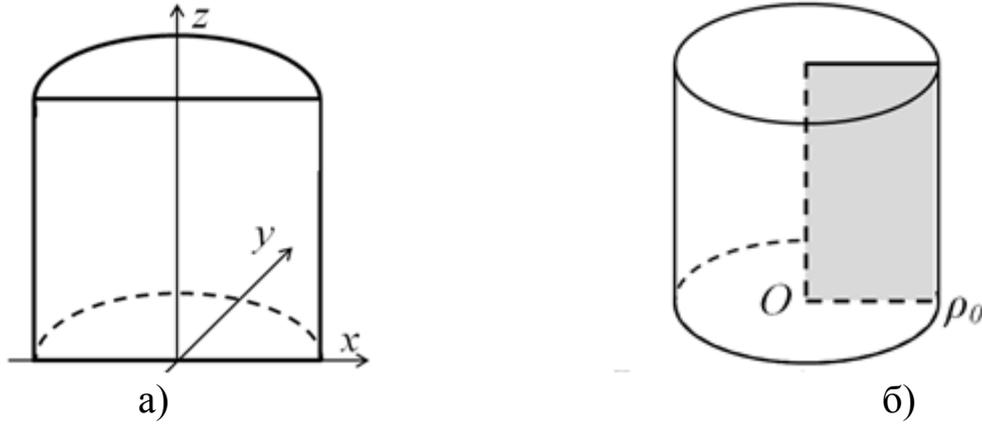


Рисунок 3 – Частные случаи клина  
а) – полуцилиндр; б) – цилиндр с перегородкой

При  $\varphi_0 = \pi$  область  $G$  имеет вид полуцилиндра (рисунок 3 а). Для функций  $\Phi(\varphi)$  в этом случае имеем

$$\nu = \nu_m = m\pi/\pi = m, \quad m = 1, 2, \dots, \quad (26)$$

$$\Phi_{\nu_m}^{(s)}(\varphi) = \sqrt{2/\pi} \sin \nu_m \varphi.$$

СЗ энергии даются формулами (21), а волновые функции имеют вид

$$\Psi_{nml}^{(s)}(\rho, \varphi, z) = C_n^{(m)} J_m \mu_n^{(m)} \rho / \rho_0 \Phi_{\nu_m}^{(s)}(\varphi) Z_l(z). \quad (27)$$

Подчеркнём, что спектры энергий квантовой частицы в цилиндре и частицы в полуцилиндре одинаковы.

В случае цилиндра с перегородкой имеем область  $G$  в виде (рисунок 3 б):

$$G = 0 \leq \rho \leq \rho_0; \quad 0 < \varphi < 2\pi; \quad 0 \leq z \leq z_0. \quad (28)$$

Поскольку  $\varphi_0 = 2\pi$ , то  $\nu = \nu_m = m/2$ ,  $m = 1, 2, \dots$ , азимутальные функции  $\Phi_{m/2}^{(s)}(\varphi) = \sqrt{1/\pi} \sin m\varphi/2$ , а волновые функции и СЗ энергии таковы:

$$\Psi_{nml}^{(s)}(\rho, \varphi, z) = C_n^{(m/2)} J_{m/2} \mu_n^{(m/2)} \rho / \rho_0 \Phi_{m/2}^{(s)}(\varphi) Z_l(z), \quad (29)$$

$$E_{nml} = \hbar^2 k_{nml}^2 / 2m_0; \quad k_{nml}^2 = l\pi/z_0^2 + \mu_n^{(m/2)} / \rho_0^2. \quad (30)$$

Здесь  $\mu_n^{(m/2)}$  – корни функций Бесселя полуцелых индексов, их приближённые значения таковы:  $\mu_n^{(m/2)} = 3\pi/4 + m\pi/4 + n\pi$ . Отметим, что в случае значения  $m = 1$  формула

$$\mu_n^{(1/2)} = 3\pi/4 + \pi/4 + n\pi = (n+1)\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (31)$$

для корней функции Бесселя и формула для СЗ энергии являются точными.

### Литература

1. Мессиа, А. Квантовая механика: в 2-х т. / А. Мессиа. – М. : Наука, 1978. – Т. 1. – С. 79–81.
2. Коэн-Таннуджи, К. Квантовая механика: в 2-х т. / К. Коэн-Таннуджи, Б. Диу, Ф. Лалое. – М. : УРСС: ЛЕНАНД, 2015. – Т. 1. – С. 861–866.
3. Владимиров, В.С. Уравнения математической физики / В.С. Владимиров. – М. : Наука, 1988. – С. 332–365.

**А.Г.Трафименко (УО «БГУИР», Минск)**

Научн. рук. А.Л. Данилюк, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ПРОВОДЯЩИХ КАНАЛАХ ДИОКСИДА ГАФНИЯ, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ**

В настоящее время наноструктуры на основе диоксида гафния перспективны для применения в энергонезависимой резистивной памяти с произвольной выборкой (RRAM). Однако, остается еще много нерешенных задач, наиболее важными из которых являются выявление механизма переключения диоксида гафния из высокоомного в низкоомное состояние, идентификация механизмов токопереноса при наличии высокой концентрации ловушек, определение вклада тепловых процессов. В данной работе, исходя из механизма формирования проводящих каналов (филаментов) при электрическом пробое, рассмотрена модель эмиссии электронов в них. Проводящие каналы формируются путем сильного разогрева вещества в них при электрическом пробое, последующем остывании и формировании вакуумных и метастабильных областей [1]. При этом часть материала катода попадает в канал, образуя заостренный катод. Токоперенос осуществляется путем эмиссии электронов из катода в вакуумный промежуток и последующего взаимодействия их с метастабильной областью у анода.

Для моделирования автоэлектронной эмиссии обычно применяют известную модель Фаулера-Нордгейма. Условием ее применимости является малость длины волны электрона по сравнению с областью, в которой происходит заметное изменение потенциальной энергии электронов. Для потенциалов достаточно сложного вида, меняющихся на длине волны де Бройля эта модель не применима для расчетов коэффициента автоэлектронной эмиссии из-за ограничения на форму потенциального барьера. В данной работе для моделирования автоэлектронной эмиссии с катода в вакуумный промежуток используется метод фазовых функций [2], в котором вычисляется не сама волновая функция, а ее изменение вследствие действия потенциала. Простота метода состоит в решении обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка (уравнения Риккати).

Физический смысл фазовой функции заключается в том, что она является фазой рассеяния на соответствующей части потенциального рельефа. Уравнение для функции отражения  $B(z)$  для определенного потенциального барьера  $U(z)$  имеет вид [2]:

$$\frac{dB(z)}{dz} = -\frac{U(z)}{2ik} [\exp(ikz) + B(z)\exp(-ikz)]^2 \quad (1)$$

где  $z$  координата направления туннелирования,  $k=(8\pi^2 m^* E/h^2)^{1/2}$  – волновой вектор туннелирующего электрона, эффективный потенциал имеет вид:  $U(z) = (8\pi^2 m^*/h^2)[U_0 - qV(z) - q\phi(z)]$ . Здесь  $q$  – заряд электрона,  $m^*$  – эффективная масса электрона для соответствующей спиновой компоненты,  $E$  – энергия туннелирующего электрона,  $h$  – постоянная Планка,  $U_0$  – начальная высота потенциального барьера,  $V(z)$  – потенциал внешнего поля,  $\phi(z)$  – потенциал сил зеркального отображения.

Величина квадрата модуля функции отражения имеет смысл коэффициента отражения от потенциального барьера:  $R(z)=|B(z)|^2$ . Принимая, что  $B(z)=a(z)+ib(z)$  и разлагая  $\exp(\pm ikz)$ , получим следующую систему уравнений для нахождения компонент функции отражения:

$$\frac{da(z)}{dz} = \frac{U(z)}{2k} [-\sin(2kz) - 2b + (a^2 - b^2)\sin(2kz) - 2ab\cos(2kz)] \quad (2)$$

$$\frac{db(z)}{dz} = \frac{U(z)}{2k} [\cos(2kz) + 2a + (a^2 - b^2)\cos(2kz) - 2ab\sin(2kz)] \quad (3)$$

Коэффициент туннельной прозрачности барьера при этом равен:

$$T = \exp\left[\frac{1}{k} \int_0^d U(z) b(z)\cos(2kz) - a(z)\sin(2kz) dz\right] \quad (4)$$

где  $d$  – ширина потенциального барьера.

Система уравнений (2)–(4) позволяет рассчитать зависимость коэффициента туннельного прозрачности от волнового вектора (энергии электрона  $E$ ) для барьера, описываемого эффективным потенциалом  $U(z)$ . В данном случае для рассматриваемой системы величина  $T(E)$  определяет плотность тока автоэлектронной эмиссии катода в канал пробоя.

На рисунке 1 показана такая зависимость для металлического заостренного катода в канале пробоя диоксида гафния для различных значений напряженности электрического поля  $F$ . Для моделирования выбирались следующие параметры:  $R = 5–7$  нм,  $r = 15–20$  нм. Здесь  $r$  – радиус катода,  $R$  – расстояние от вершины катода до анода (метастабильной области проводящего канала). Высота поверхностного барьера (работа выхода)  $U_0 = 100–120 k_B T$ , температура  $T = 300–500$  К. Здесь  $k_B$  – постоянная Больцмана.

При превышении определенной величины энергии, ниже полной высоты барьера, наблюдается существенный рост коэффициента туннельной прозрачности поверхностного барьера катода. Однако существенные токи электронной эмиссии возникают только в области энергии Ферми эмиттера. Таким образом, в данном случае преобладает автоэлектронная эмиссия на уровне Ферми катода, рисунок 1.

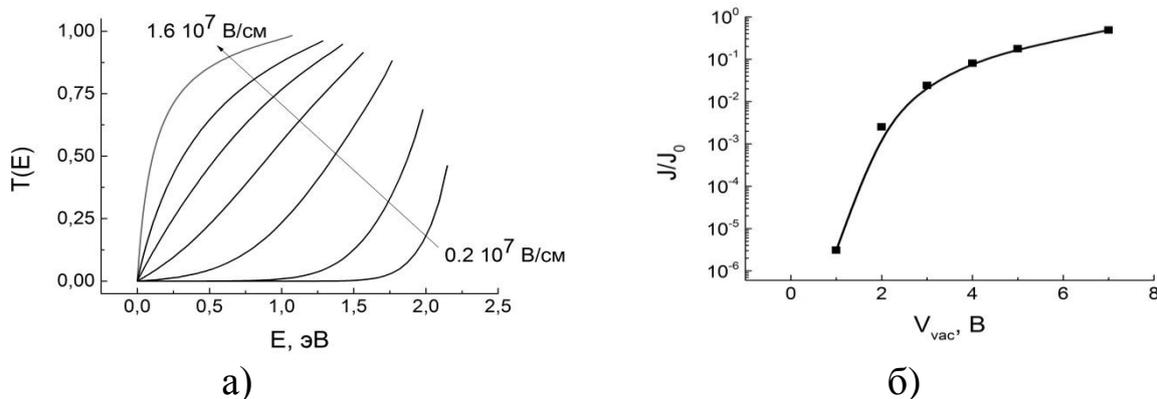


Рисунок 1 – Коэффициент туннельной прозрачности катода в канале пробоя диоксида гафния в зависимости от энергии туннелирующего электрона и величины внешнего электрического поля  $F = (0.2–1.6)10^7$  В/см (а). Ток автоэлектронной эмиссии катода в канале пробоя диоксида гафния,  $J_0 = (4\pi q m^* k_B^2 T^2)/h^3$  (б).

Таким образом, в результате проведенного моделирования показано, что в рассматриваемых условиях в канале пробоя диоксида гафния может возникать существенные токи автоэлектронной эмиссии при потенциалах на вакуумном промежутке  $V_{vac}$  выше 2 В. Для области стеклообразного диоксида гафния они являются горячими, так как инжектируются в свободную зону с энергией на 2–3 эВ выше дна зоны проводимости. Эти электроны, облучая метастабильную область канала пробоя, вызывают в ней изменение механизма проводимости за счет

переходов метастабильных ловушечных центров в другое зарядовое состояние. В этом случае механизм токопереноса в метастабильной области канала пробоя состоит в захвате электронов на ловушечные центры и их освобождении в результате изменения энергии ионизации, при переходе из одного бистабильного состояния в другое.

### Литература

1. Воробьев, Г.А. Электрический пробой твердых диэлектриков / Г.А. Воробьев, С.Г. Еханин, Н.С. Несмелов // ФТТ. – 2005. – Т. 47, № 6. – С.1048–1052.

2. Бабинов, В.В. Метод фазовых функций/ В.В. Бабинов. – Москва : Наука, 1976. – 288 с.

**А.Б. Усатов** (УО «ГГТУ имени П.О.Сухого», Гомель)  
Науч. рук. **В.В. Комраков**, канд. техн. наук, доцент

### **ФОРМИРОВАНИЕ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА**

Задача измерения и визуализации микрорельефа поверхности является актуальной для различных областей науки, промышленности и техники. Кроме известных задач в машиностроении, решение проблемы построения топологической карты поверхности микронной маски также важно для контроля процесса фотолитографии при производстве полупроводниковых интегральных схем [1].

Большая часть методов анализа рельефа (растровая, атомно-силовая и зондовая микроскопия) хорошо работает только в случае мезоскопически плоских поверхностей. В случае сложного субмиллиметрового мезорельефа определение характеристик микроскопической (микронной) шероховатости весьма проблематична и требует специального оборудования и разработки отдельных методик.

В последние годы быстро развиваются методы реконструкции рельефа поверхности с помощью оптических приборов. Основные методы используют несколько изображений, полученных при различных расстояниях до наблюдаемого объекта, которые принято называть положениями фокуса [2]. Такие методы основаны на том, что изображение области объекта наиболее четко, когда область находится в фокусе. В качестве меры четкости области изображения, которая называется мерой фокуса, используют дисперсию яркости или наличие высокочастотной составляющей в пространственном спектре изображения [3].

Таким образом, для каждой области изображения можно построить функцию измерения фокуса, аргументом которой является расстояние до объекта, а значением – мера фокуса. Используя функцию измерения фокуса, можно определять высоту рельефа поверхности любой области изображения. Стандартные методы указывают точку максимума кривой измерения фокуса в качестве высоты рельефа поверхности. Однако часто из-за наличия шума на кривой измерений фокуса реальное значение высоты рельефа поверхности не совпадает с положением максимума. В этом случае существующие методы бесполезны, так как они не могут указать погрешность определения высоты рельефа поверхности.

Предлагается строить микрорельеф поверхности, основываясь на фотографиях рассматриваемой области, полученных с помощью оптического микроскопа. При этом на каждой фотографии присутствуют области резкого и размытого изображения. Области резкого изображения возникают в тех местах рельефа поверхности, которые располагаются на расстоянии наилучшего видения относительно объектива микроскопа. При изменении расстояния между объективом и предметным столиком микроскопа другие области объекта располагаются на этом расстоянии и становятся резкими. Получив несколько фотографий с частично резкими изображениями различных участков, и зная шаг перемещения предметного столика микроскопа, можем построить карту высот микрорельефа рассматриваемой поверхности.

### **Литература**

1. Пытьев, Ю.П. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем. – М. : Физматлит, 2002. – 400 с.
2. Мирошников М.М. Теоритические основы оптико-электронных приборов. – Л. : Машиностроение, 2010 – 704 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М. : Наука, 1970. – 720 с.

**М.В. Федоренко** (МГПУ им. И.П. Шамякина, Мозырь)  
Науч. рук. **В.В. Шепелевич**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЛГОРИТМА МЕТОДА FDTD И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ**

Метод конечных разностей во временной области (FDTD – Finite Difference Time Domain) является простым в применении. Он содержит не очень сложный алгоритм для численного решения прикладных задач оптики и фотоники. Этот метод может быть эффективно использован на электронно-вычислительных машинах, обладающих высоким быстродействием и сравнительно большой оперативной памятью.

В основе метода FDTD лежит преобразование уравнений Максвелла с применением типичной дискретизации переменных  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и  $t$  по конечно-разностной схеме Yee [1]. Приращения координат и времени должны быть связаны между собой критерием стабильности

$$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} > c_{max} \Delta t, \text{ впервые установленным Курантом [2].}$$

Уравнения Максвелла показывают, что направления электрического и магнитного векторов оказываются взаимно перпендикулярными и перпендикулярными к направлению распространения электромагнитной волны [5].

В связи с тем, что ниже рассматривается диэлектрическая среда, плотность тока можно полагать равной нулю.

Запишем систему уравнений Максвелла

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} H = \frac{\partial D}{\partial t}, \quad (2)$$

где  $E$  – вектор напряженности электрического поля;  $H$  – вектор напряженности магнитного поля;  $B$  – вектор магнитной индукции;  $D$  – вектор электрической индукции.

Дополним систему уравнений Максвелла материальными уравнениями, которые устанавливают соотношения между векторами  $E$ ,  $H$ ,  $B$  и  $D$ ,

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon E, \quad (3)$$

$$B = \mu_0 \mu H, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость;  $\mu$  – магнитная проницаемость;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Уравнение (1) есть дифференциальное выражение закона электромагнитной индукции, согласно которому изменяющееся во времени магнитное поле приводит к появлению вихревого электрического поля.

Из уравнения (2) следует, что изменяющееся во времени электрическое поле порождает вихревое магнитное поле.

Уравнения Максвелла решаются дискретно во времени, причем шаг по времени пропорционален пространственному шагу и скорости света [3].

Пространственно-временная дискретизация позволяет перейти от непрерывного континуума пространства и времени к дискретному. Это означает, что все пространство вычисления покрыто равномерной сеткой пространственных координат  $x$ ,  $y$ , и  $z$ , а также времени  $t$ .

Приближенные значения производных в каждом узле сетки вычисляются, используя информацию о значениях искомой компоненты поля в соседних узлах. Конфигурацию расположения таких узлов на равномерной прямоугольной сетке называют шаблоном. Один из простых шаблонов на прямоугольной сетке является шаблон типа «крест» (рисунок 1) [4].

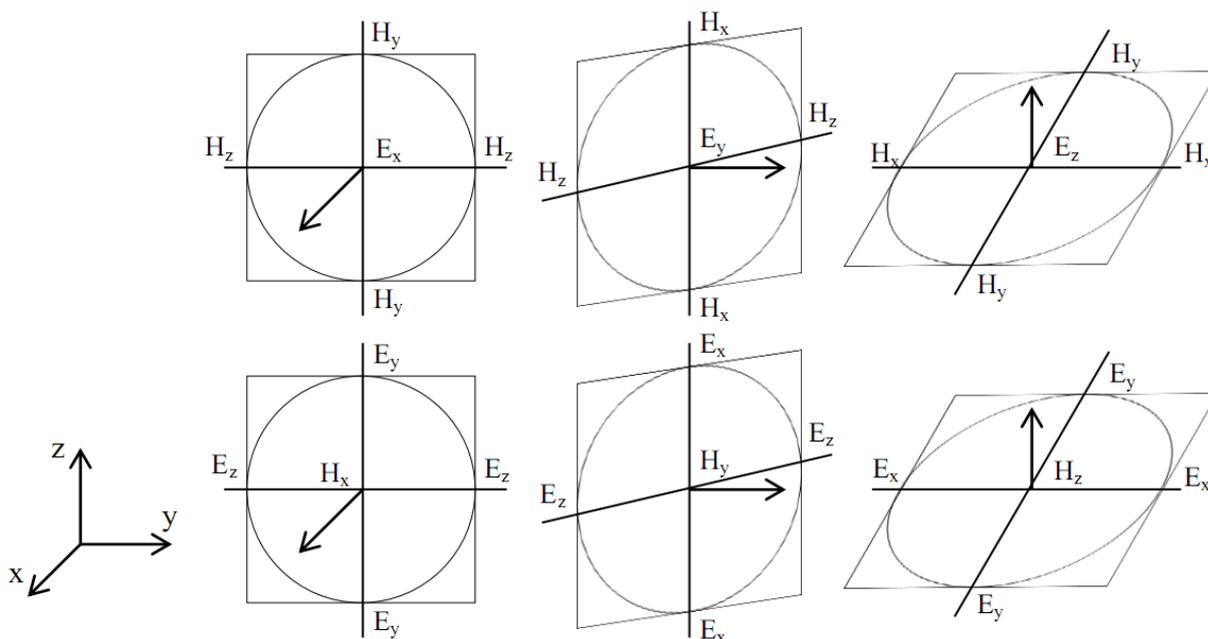


Рисунок 1 – Двухмерные шаблоны типа «крест»

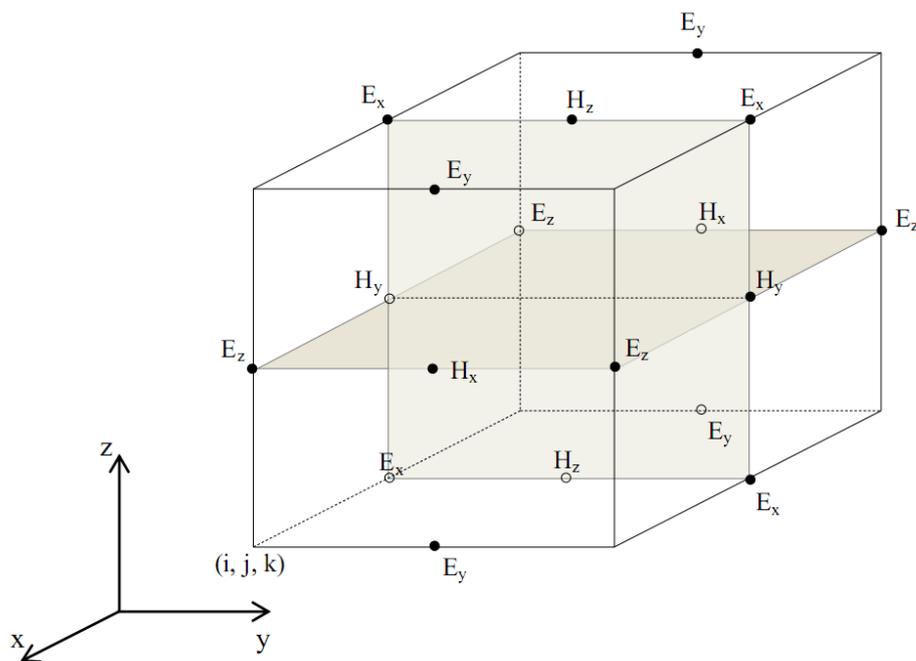


Рисунок 2 – Схематическая диаграмма Yee

Построим шаблон разностной схемы для фиксированного момента времени (рисунок 2). Отметим, что такой шаблон накладывает ограничения на граничные условия: граница области вычисления должна быть плоскостью, которая параллельна одной из осей координат.

Используя вышеуказанные обозначения, запишем конечно-разностное представление для одного из уравнений Максвелла  $-\frac{\partial B_x}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}$  в прямоугольной декартовой системе координат:

$$\begin{aligned} & \frac{B_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}) - B_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2})}{\Delta t} = \\ & = \frac{E_y^n(i, j + \frac{1}{2}, k) - E_x^n(i, j + \frac{1}{2}, k)}{\Delta z} - \frac{E_z^n(i, j + 1, k + \frac{1}{2}) - E_z^n(i, j, k + \frac{1}{2})}{\Delta y} \end{aligned}$$

### Литература

1. Yee, K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media / K.S. Yee // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1966. – Vol. AP-14. – P. 302–307.
2. Курант, Р. / Википедия [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Р.\\_Курант](https://ru.wikipedia.org/wiki/Р._Курант). – Дата доступа: 10.01.2017.
3. Bellanca, G. FDTD modelling of spatial soliton propagation / G. Bellanca, R. Semprini, P. Bassi // Opt. and Quant. Electr. – 1997. – Vol. 29. – P. 233–241.
4. Калиткин, Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М. : Наука, 1978. – 512 с.
5. Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – М. : Наука, 1976. – 928 с.

**А.В. Фельшерук** (УО БГУИР, Минск)

Научн. рук. **А.Л. Данилюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ГРАФЕНОВОЙ НАНОСТРУКТУРЕ

За последнее десятилетие исследователи пришли к выводу, что на границе между металлом (проводником) и диэлектриком возможно получить поверхностные плазмоны с той же частотой, что и внешние электромагнитные волны, но с намного меньшей длиной волны. Это позволит использовать плазмоны в наноструктурах для переноса информации внутри чипа. Плазмонные межсоединения стали бы для

микросхем настоящим прорывом в области повышения рабочих частот интегральных микросхем. В этом плане перспективным направлением для решения подобной задачи является использование эффекта плазмонных колебаний в терагерцевом диапазоне частот и, в частности, с использованием графена на диэлектрической подложке. Однако на этом пути еще предстоит решить ряд не только технологических, но и физических задач по возбуждению, распространению и детектированию плазмонных колебаний с контролируруемыми параметрами.

В данной работе представлены результаты моделирования плазмонных эффектов в однослойной графеновой наноструктуре в зависимости от величины химического потенциала  $\mu$  и температуры в терагерцевом диапазоне. Ключевую роль в этом случае играет динамическая проводимость графена. В качестве модели проводимости графена было использовано следующее выражение [1]:

$$\sigma(\omega) = \frac{e^2}{4\hbar} \frac{8kT\tau}{\pi\hbar(1-i\omega\tau)} \ln \left( 1 + \exp \frac{\mu}{kT} \right) + \tanh \frac{\hbar\omega - 2\mu}{4kT} - \frac{4\hbar\omega}{i\pi} \int_0^{\infty} \frac{G(\varepsilon, \mu) - G(\hbar\omega/2, \mu)}{(\hbar\omega)^2 - 4\varepsilon^2} d\varepsilon \quad (1)$$

где  $\tau$  – время релаксации электронов,  $\hbar$  – редуцированная постоянная Планка,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $c$  – скорость света, функции

$$G(\varepsilon, \varepsilon') = \frac{\sinh\left(\frac{\varepsilon}{kT}\right)}{\cosh\left(\frac{\varepsilon}{kT}\right) + \cosh\left(\frac{\varepsilon'}{kT}\right)} \quad (2)$$

Уравнения, характеризующие взаимодействие электромагнитного излучения (ЭМИ) с графеном, выводятся из уравнений Максвелла, а дисперсионное соотношение, содержащее коэффициенты поглощения и прохождения, из условия нетривиальности решений для таких уравнений [1]:

$$\overline{n^2 - \rho^2} + n^2 \overline{1 - \rho^2} + \frac{4\pi}{c\varepsilon_0} \sigma \omega \overline{n^2 - \rho^2} \overline{1 - \rho^2} = 0 \quad (3)$$

где  $n$  – показатель преломления на границе среды и образца,  $\rho$  – комплексный коэффициент прохождения (распространения) волны ЭМИ,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная. При  $n = 1$  уравнение (3) упрощается:

$$\rho = 1 - \frac{c^2 \varepsilon_0^2}{4\pi^2 \sigma \omega^2} \quad (4)$$

Величина коэффициента поглощения ЭМИ определяется в виде  $\text{Im}(\rho\omega/c)$ , а величина коэффициента распространения (прохождения) ЭМИ определяется в виде  $\text{Re}(\rho)$ .

На рисунке 1 приведена частотная зависимость коэффициента поглощения при различных значениях химического потенциала при температуре 300 К. Как видно из рис. 1, его величина немонотонно изменяться в данном частотном диапазоне, принимая как положительные значения, так и отрицательные. Это говорит о том, что в зависимости от соотношений параметров наноструктуры и частоты, могут реализоваться режимы как поглощения ЭМИ, так и его усиления за счет плазмонных колебаний.

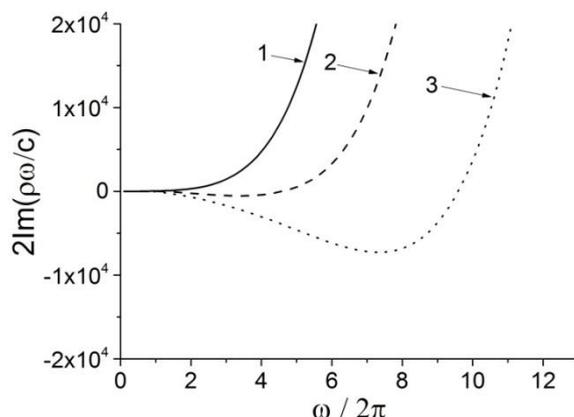


Рисунок 1 – Частотные зависимости коэффициента поглощения ЭМИ при различных химических потенциалах (1 –  $\mu = 0$  мэВ; 2 —  $\mu = 10$  мэВ; 3 –  $\mu = 20$  мэВ ) и при температуре 300 К

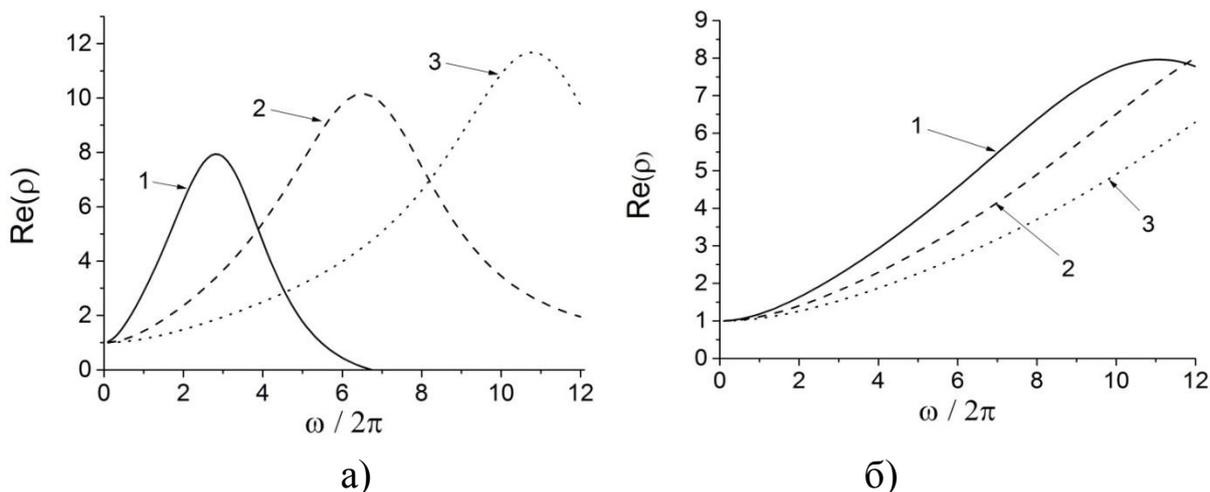


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициента распространения ЭМИ при различных химических потенциалах (1 –  $\mu = 0$  мэВ; 2 –  $\mu = 10$  мэВ; 3 –  $\mu = 20$  мэВ ) и различных температурах а) 300 К и б) 77К

На рисунке 2 приведена частотная зависимость коэффициента прохождения при различных значениях химического потенциала и температуры. Как можно видеть, его величина может, как возрастать с частотой, так и немонотонно изменяться в данном частотном диапазоне.

Таким образом, проведено моделирование плазмонных эффектов в однослойной графеновой наноструктуре в зависимости от химического потенциала и температуры. Полученные частотные зависимости коэффициентов распространения и поглощения ЭМИ показали, что в рассмотренном диапазоне частот ЭМИ может не только распространяться за счет плазмонных колебаний, но и усиливаться за счет них.

### Литература

1. Dubinov, A.A. Terahertz surface plasmons in optically pumped graphene structures / A.A. Dubinov, V. Mitin, T. Otsuji // J. Phys. : Condens. Matter. – 2011. – Vol. 23, No. 14. – P. 145302 (8 pp).

**С.И. Фиалка** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)<sup>1</sup>  
Науч. рук. **Dr. Maria Bardosova** (Tyndall, Cork, Ireland)<sup>2</sup>  
Науч. рук. **В.Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент<sup>1</sup>

### СВЕРХРЕШЁТКИ И АПЕРИОДИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Фотонные кристаллы десятилетиями привлекают внимание учёных и их потенциал ещё далеко не исчерпан. Новые структуры фотонных кристаллов и способы их применения появляются регулярно. Например, с помощью покрытий на основе сферических частиц диоксида кремния и полистирола можно увеличить эффективность солнечных батарей [1], концентраторов солнечного света [2], органических [3] и неорганических светодиодов [4], создавать просветляющие покрытия [5].

Существует несколько методов получения покрытий на основе фотонных кристаллов и один из них – синтез сферических частиц диоксида кремния по методу Штобера, придание им гидрофобности и затем послойное нанесение полученных частиц по технологии Ленгмюра-Блоджет [6]. Этот метод позволяет наносить монослои наночастиц разного размера и материала с заданным порядком слоёв и получать сверхрешётки и аперриодические структуры фотонных кристаллов. Характеристики таких покрытий очень разнообразны и практически не изучены в настоящее время. В отличие от структур на основе частиц одного размера, когда условие Вульфа-Брэгга в сочетании с законом преломления света хорошо применимо для определения максимумов отражения, структуры из частиц разного размера имеют более сложную природу взаимодействия с электромагнитным излучением.

FDTD метод [7] хорошо зарекомендовал себя как численный метод для оптических симуляций, что подтверждается тысячами научных публикаций. На основе этого метода, мы исследовали некоторые (2+1)D структуры фотонных кристаллов на основе частиц диоксида кремния, учитывая специфику Ленгмюра-Блоджет метода – неидеальная FCC структура фотонных кристаллов. Возможные сильные дефекты и несовершенства готового покрытия не учитывались и в результате получены «эталонные» характеристики (чем лучше качество покрытия, тем лучше согласие с результатами FDTD симуляции).

На рисунке 1 представлены спектры отражения ABC структуры фотонных кристаллов (10-кратное повторение последовательности 199нм-226нм-271нм SiO<sub>2</sub> частиц) на кварцевой подложке при нормальном падении света для реального образца и компьютерной модели. Наглядно видно, что теоретические расчёты дают хорошее качественное представление о характеристиках реального покрытия.

На рисунке 2 представлены спектры отражения других вариантов структур на основе частиц SiO<sub>2</sub> диаметром 199 нм, 226 нм и 271нм, которые не были получены экспериментально на данный момент. Видно, что положение максимумов и их количество сильно отличается в зависимости от порядка монослоёв частиц. То есть, используя одни и те же частицы, можно получать покрытия с различными характеристиками.

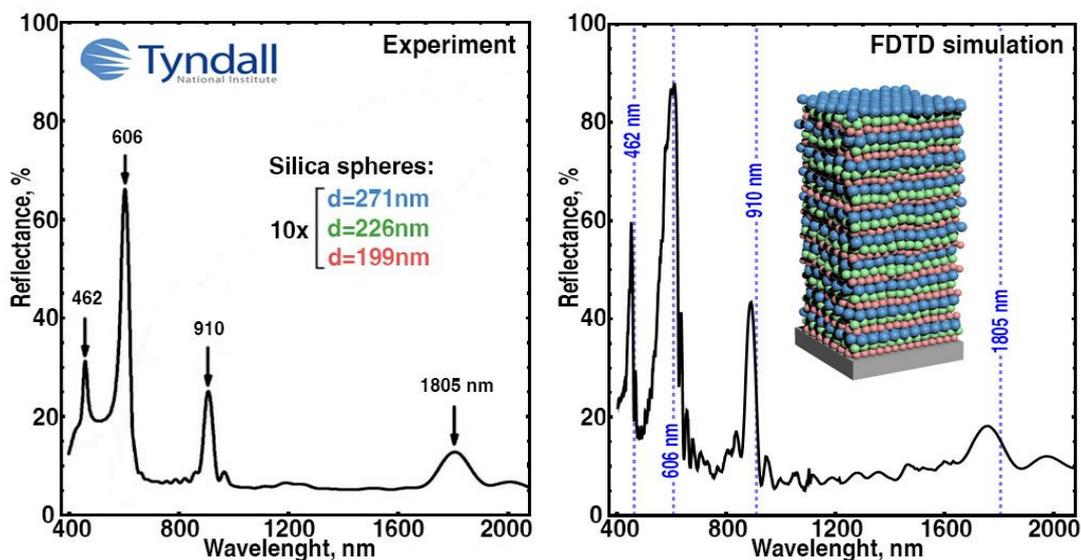


Рисунок 1 – Спектр отражения реального покрытия (слева) и результат FDTD симуляции (справа)

Таким образом, используя FDTD метод, можно проектировать новые структуры фотонных кристаллов, предсказывать их свойства и устанавливать области наиболее эффективного применения покрытий на их основе.

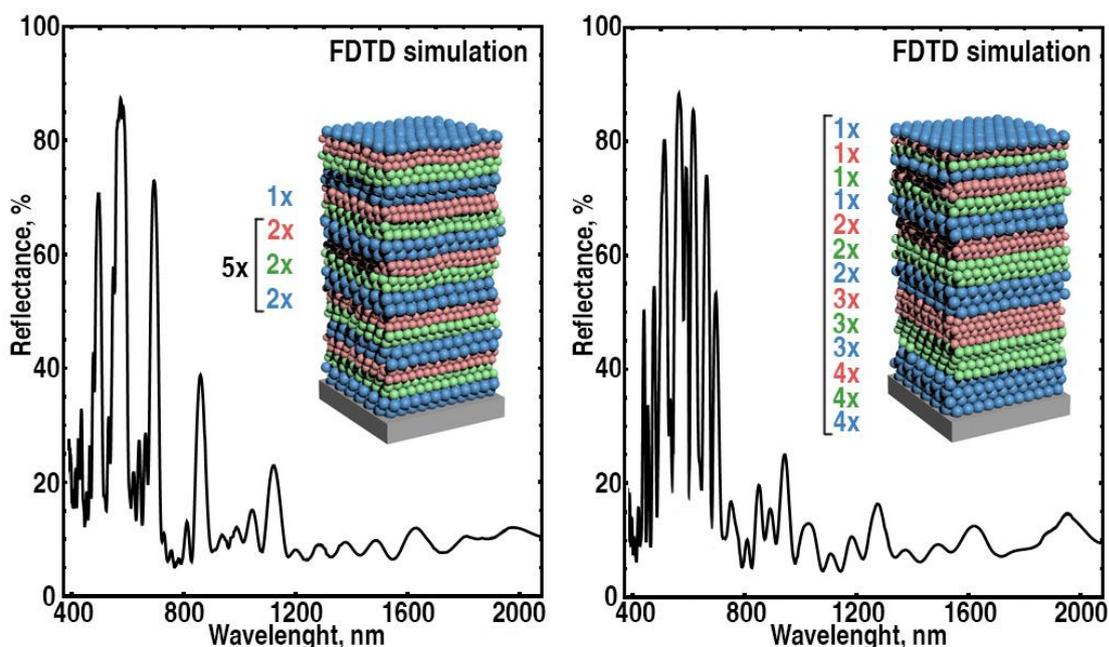


Рисунок 2 – Спектр отражения для сверхрешётки (слева) и аперидической структуры (справа) компьютерной модели фотонных кристаллов на основе частиц  $\text{SiO}_2$  диаметром 199 нм, 226 нм и 271 нм

## Литература

1. Wehrspohn, R.B. 3D photonic crystals for photon management in solar cells / R.B. Wehrspohn, J. Üpping // *Journal of Optics*. – 2012. – Vol. 14, №. 2. – P. 024003.
2. Kocher-Oberlehner, G. Planar photonic solar concentrators for building-integrated photovoltaics / G. Kocher-Oberlehner, M. Bardosova, M. Pemble, B.S. Richards // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 2012. – Vol. 104. – P. 53–57.
3. Salcedo-Reyes, J.C. Enhancing light extraction efficiency in MDMO-PPV based OLEDs by incorporating  $\text{SiO}_2$ -250 nm colloidal crystals / J.C. Salcedo-Reyes, J. Vázquez, L.C. Jiménez, H. Méndez-Pinzón // *SPIE Proceedings*. – 2017. – Vol. 10101. – P. 101010D
4. Zhang, L. Layer-by-Layer Approach to (2+1)D Photonic Crystal Superlattice with Enhanced Crystalline Integrity / L. Zhang, Z. Xiong, L. Shan, L. Zheng, T. Wei, Q. Yan // *Small*. – 2015. – Vol. 11, №. 37. – P. 4910–4921.
5. Vahanian, E. Enhancement of the electrical response in high concentrating photovoltaic systems by antireflective coatings based on silica nanoparticles / E. Vahanian, A. Yavrian, R. Gilbert, T. Galstian // *Solar Energy*. – 2016. – Vol. 137. – P. 273–280.
6. Parchine, M. Large area 2D and 3D colloidal photonic crystals fabricated by a roll-to-roll Langmuir–Blodgett method / M. Parchine,

J. McGrath, M. Bardosova, M.E. Pemble //Langmuir. – 2016. – Vol. 32, №. 23. – P. 5862–5869.

7. Sullivan, D.M. Electromagnetic simulation using the FDTD method / D.M. Sullivan. – Wiley-IEEE Press, 2013. –192 p.

**А.А. Хорт** (УО ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **Д.Г. Кроль**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ**

Для вязкой несжимаемой жидкости в полярных координатах  $(r, \varphi)$  рассмотрим следующий класс стационарных цилиндрических течений:

$$\begin{aligned} v_r &\equiv 0, v_\varphi = v(r), p = p(r), T = T(r), \\ F_r &\equiv 0, F_\varphi = F_\varphi(v^2, T, r), q_v = q_v(v^2, T, r), c_p, \lambda, \mu, \rho - \text{const}, \\ \tau_{rr} &\equiv 0, \tau_{\varphi\varphi} \equiv 0, \tau_{r\varphi} = \mu \left( \frac{dv}{dr} - \frac{v}{r} \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\mathbf{v}(v_r, v_\varphi)$  – вектор скорости,  $\rho$  – плотность;  $\mathbf{F}(F_r, F_\varphi)$  – вектор массовой силы;  $\tau_{rr}, \tau_{\varphi\varphi}, \tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi r}$  – компоненты девиатора тензора напряжений;  $T$  – температура;  $c_p$  – удельная теплоемкость;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости. Объемный источник энергии  $q_v(v^2, T, r)$  моделирует воздействие внутренних источников тепла и теплообмен жидкости с внешней средой. Для диссипативной функции  $\Phi$  принимаем оценку  $\Phi \ll |q_v|$ , т. е. рассматриваем процессы, для которых можно пренебречь выделением тепла за счет вязкой диссипации энергии. В данной работе рассматривается неклассический вариант задачи о течении жидкости между соосными вращающимися цилиндрами. А именно: учитывается рэлеевская сила сопротивления  $\mathbf{F} = -\zeta \mathbf{v}$ , где  $\zeta > 0$  – коэффициент «внешнего» трения. Модель сопротивления Рэлея оказалась эффективной в задачах тепломассообмена при кристаллизации полупроводников в условиях орбитального полета [1]. Основная идея этого подхода состоит в том, что гидродинамическое описание расплава учитывает наличие кластерных образований, которые оказывают сопротивление течению.

Движение (1) определяется уравнениями Навье-Стокса и уравнением энергии, которые можно записать в виде динамической системы

$$\frac{d^2v}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dv}{dr} = \frac{v}{r^2} - \frac{F_\varphi}{v}, \quad \frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = -\frac{q_v}{\lambda}, \quad (2)$$

$$F_\varphi = -\zeta v, \quad \zeta = \zeta(v^2, T, r), \quad q_v = q_v(v^2, T, r), \quad v = \mu / \rho.$$

Давление  $p(r)$  подсчитывается автономно от системы (2):

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} = \frac{v^2}{r},$$

Очевидно, что уравнение неразрывности выполняется тождественно. Данное решение справедливо на конечном отрезке  $r$  и определяет течение между двумя непроницаемыми коаксиальными цилиндрами. На обеих граничных окружностях выполнено условие прилипания.

Далее будем применять безразмерные величины, обозначая их чертой сверху:  $\bar{v} = v/v_1$ ,  $\bar{\tau} = \tau/v_1$ ,  $\bar{r} = r/r_0$  и т.д., где  $T - T_0 = v_1 \tau / c_1$ ;  $c_1$ ,  $r_0$ ,  $v_1$  – положительные постоянные, имеющие размерность удельной теплоемкости Дж/(кг·град), длины и скорости соответственно;  $T_0$  – отсчетное значение температуры.

Для коэффициента сопротивления и источника энергии применяем частные зависимости следующего вида:

$$\bar{\zeta} \equiv r_0^2 \zeta / v = [2(1 - 3\bar{\tau}^2 + \bar{v}^2) - 1] / \bar{r}^2, \quad (3)$$

$$\bar{q}_x \equiv c_1 r_0^2 q_v / (\lambda v_1^2) = 2\bar{\tau}(\bar{\tau}^2 - 3\bar{v}^2 - 1) / \bar{r}^2. \quad (4)$$

В этом случае система (2) имеет точное решение [2]:

$$\bar{v} = 2\varepsilon \cdot \sin(2\alpha) / \delta, \quad \bar{\tau} = (1 - \varepsilon^2) / \delta, \quad (5)$$

$$\delta = 1 + \varepsilon^2 + 2\varepsilon \cdot \cos(2\alpha), \quad \alpha = \ln(r/r_0).$$

Здесь  $\varepsilon$  – параметр решения. В частном случае  $\varepsilon^2 = 1$  получаем изотермическое течение,  $T = T_0 \equiv \text{const}$ . Если  $\varepsilon^2 < 1$ , то  $\tau > 0$ , течение происходит в «горячей» области,  $T > T_0$ . Если  $\varepsilon^2 > 1$ , то  $\tau < 0$ , имеем «холодную» область,  $0 < T < T_0$ .

Для функций (3), (4) явная зависимость от радиальной координаты характеризует структурную неоднородность, присущую внешней силе сопротивления за счет образования кластеров.

Данная работа имеет целью изучить количественные характеристики воздействия нелинейной силы сопротивления на неоднородное течение между вращающимися цилиндрами. Анализ неизотермического течения основан на формулах (5). Радиальный тепловой поток равен  $q_r = -\lambda(dT/dr)$  и в безразмерном виде записывается так  $\bar{q} = (c_1 r_0 q_r) / (\lambda v_1^2)$ . Угловая скорость течения есть  $\Omega = \bar{v} / \bar{r}$ . Из (5) следует, что  $\delta > 0$  при  $\varepsilon^2 \neq 1$ . Рассмотрим вариант,

когда внутренний ( $r = r_2$ ) и внешний ( $r = r_1$ ) цилиндры вращаются вокруг их общей оси; на линии  $r = r_0$  жидкость неподвижна,  $r \in [r_2, r_1]$ ,  $0 < r_2 < r_0 < r_1$ . Некоторые результаты расчетов даны на рисунке 1.

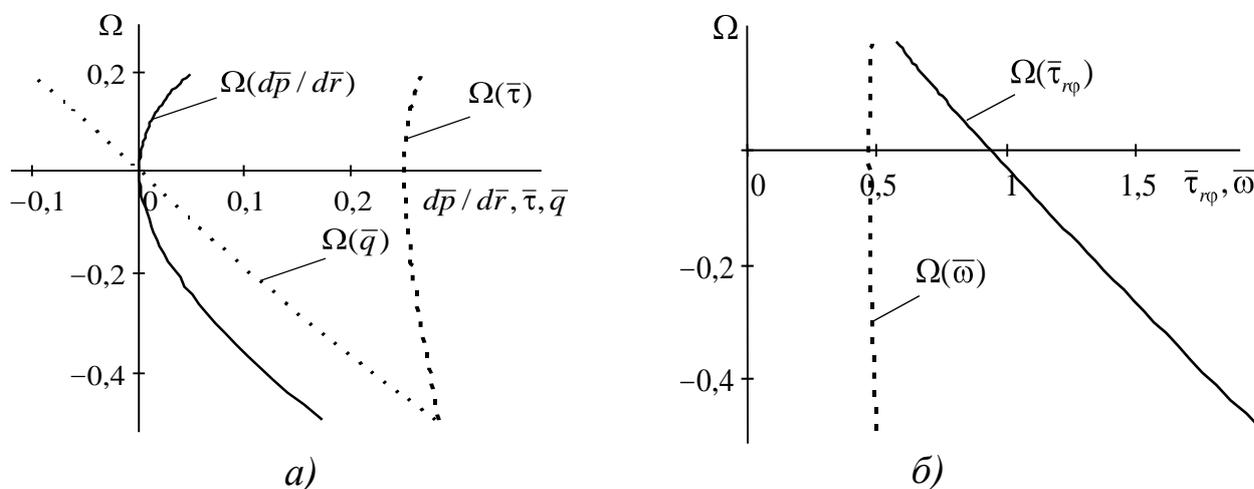


Рисунок 1 – Неизотермические свойства вихревого поля в «горячей» области:  $\varepsilon = 0,6$ ,  $r_1 = 1,3$ ,  $r_2 = 0,7$ .

Численные расчеты позволили подробно изучить новое точное аналитическое решение (5), определяющее стационарное течение вязкой жидкости между двумя коаксиальными цилиндрами. Рассмотрены также варианты течения, когда один из цилиндров (внешний либо внутренний) неподвижен.

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергетические системы, процессы и технологии 2,9». Науч. рук. проекта профессор О.Н. Шабловский.

## Литература

1. Картавых, А.В., Мильвидский, М.Г., Гинкин, Забудько В.П., Науменко, М.А. Кластерная модель структуры расплавов в погранслое и ее гидродинамическое описание при моделировании процессов кристаллизации полупроводников в космосе // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2004. № 6. С. 91–98.

2. Шабловский, О.Н., Кроль, Д.Г. Концевой, И.А. Нелинейное сопротивление и завихренность течения жидкости между коаксиальными вращающимися цилиндрами // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Физика. Математика. Техника. Технология. 2016. Т.11, № 4. – С. 59–68.

**А.И. Чудакова** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Е.А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ НА ЯЗЫКЕ C++ И РЕШЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

При решении многих физических задач возникает необходимость вычисления определённых интегралов

$$I = \int_a^b y(x) dx. \quad (1)$$

Если подинтегральная функция  $y(x)$  имеет первообразную  $Y(x)$ , то такой интеграл вычисляется точно по формуле Ньютона-Лейбница  $I = Y(b) - Y(a)$ . Если функция  $y(x)$  не имеет первообразной или задана таблицей значений, то интегралы находятся численными методами [1], в которых результат выражается через значения функции в отдельных точках (узлах), выбранных в области интегрирования  $[a, b]$ . В ряде методов используется равномерное разбиение области на  $n$  отрезков с шагом  $h = (b - a)/n$  точками (узлами)  $x_i = a + i \cdot h$ ,  $i = 0..n$  и приближение функции полиномом некоторого порядка.

В методе центральных прямоугольников на каждом отрезке подинтегральная функция заменяется полиномом нулевого порядка, равным значению функции в центре отрезка. Квадратурная формула центральных прямоугольников имеет вид

$$\int_a^b y(x) dx \approx h \sum_{i=1}^n y(x_i - h/2). \quad (2)$$

В методе трапеций подинтегральная функция приближенно описывается линейной функцией, т.е. полиномом первого порядка. Формула трапеций записывается следующим образом:

$$\int_a^b y(x) dx \approx h \left( \frac{y_0 + y_n}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} y_i \right). \quad (3)$$

В методе парабол (Симпсона) на каждой паре смежных отрезков подинтегральная функция приближенно описывается полиномом второго порядка, что дает квадратурную формулу [2]

$$\int_a^b y(x) dx \approx \frac{h}{3} \left( y_0 + y_n + 4 \sum_{k=1}^{n/2} y_{2k-1} + 2 \sum_{k=1}^{n/2-1} y_{2k} \right),$$

которую для программирования удобнее записать в виде ( $n -$  четное)

$$\int_a^b y(x)dx \approx \frac{h}{3} \left( y_0 + y_n + \sum_{i=1}^{n-1} (3 + (-1)^{i+1}) y_i \right). \quad (4)$$

Рассмотренные квадратурные формулы были реализованы на языке С++ [3] в виде программы с графическим интерфейсом в среде программирования Visual Studio 2015.

Все компоненты программы находятся на форме Form1. В верхней части формы находится компонент RadioGroup, позволяющий выбирать метод расчёта интеграла. Ниже – компоненты Edit1, Edit2, Edit3, задающие начальное и конечное значение  $x$  и количество разбиений отрезка. При нажатии кнопки «Очистить» происходит очистка полей вывода и ввода начальных данных.

На рисунке 1 приведен пример работы программы при вычислении тестового интеграла от функции  $y(x) = \exp(2x)$  методом парабол.

На экран выводится численное значение интеграла, точное значение  $\int_0^1 e^{2x} dx = 3,19452804947$  и погрешность численного результата.

Для получения информации о свойствах численных методов интегрирования тестовые расчеты выполнялись при минимальном числе разбиений  $n=10$  и при максимальном числе разбиений  $n=1000$ . Результаты вычислений приведены в таблице 1.

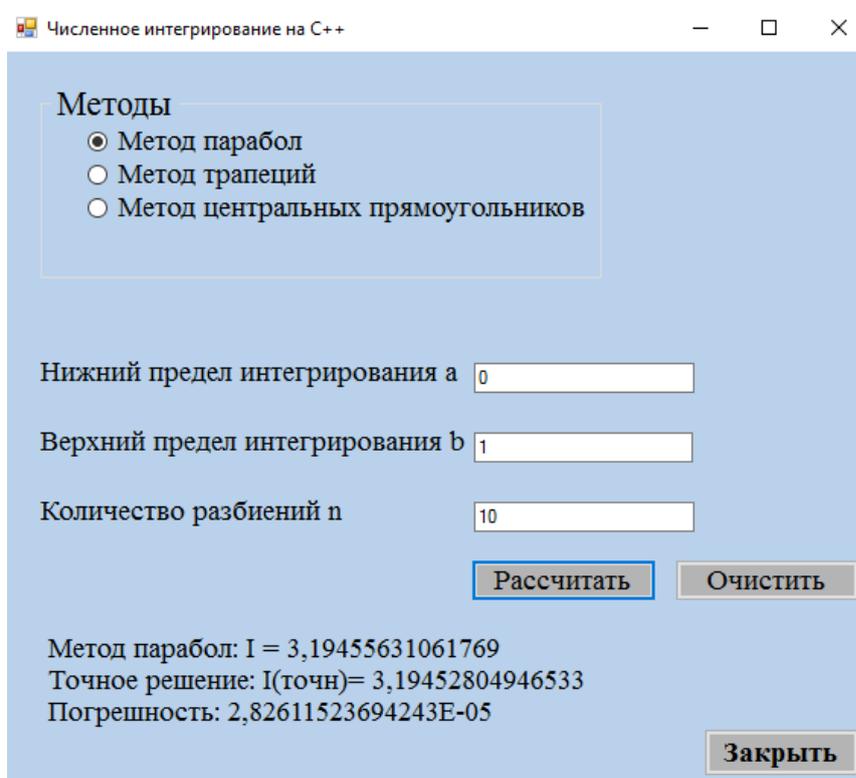


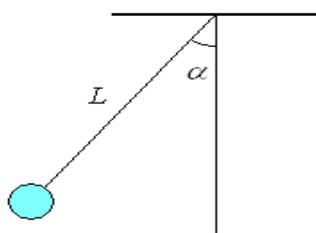
Рисунок 1 – Рабочее окно программы

По таблице видно, что наиболее точным методом при минимальном количестве разбиений отрезка  $[a, b]$  является метод парабол. Также можно отметить, что погрешность метода центральных прямоугольников вдвое меньше погрешности метода трапеций.

Таблица 1 – Результаты тестовых вычислений

Метод	Количество разбиений	Погрешность	Количество разбиений	Погрешность
Парабол	$n = 10$	$2.83 \cdot 10^{-5}$	$n = 1000$	$2.82 \cdot 10^{-13}$
Трапеций		0.02		$1.06 \cdot 10^{-6}$
Центральных прямоугольников		0.01		$5.32 \cdot 10^{-7}$

Созданная программа была использована для решения следующей задачи [4,5]. Плоский математический маятник (точка с массой  $m$ , подвешенная на нити длины  $L$  в поле силы тяжести) при максимальном отклонении от вертикали на угол  $\alpha$  (рисунок 2) имеет период колебания  $T = 4K\sqrt{\frac{L}{g}}$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести, а множитель  $K$  есть значение определенного интеграла (полный эллиптический интеграл первого рода [4])



$$K = \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin^2 \varphi}}. \quad (5)$$

Рисунок 2 – Математический маятник и определенный интеграл  $K$

При малых углах  $\alpha$  интеграл  $K$  приближенно равен  $\pi/2$ , так что в этом случае приближенно  $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ . Маятник, для которого  $\pi\sqrt{L/g} = 1$ , называется секундным маятником, так как для такого маятника при малых  $\alpha$  половина периода колебания как раз равняется одной секунде [5]. Половина периода колебания секундного маятника при любом размахе  $\alpha$  дается формулой  $T/2 = (2/\pi)K$ . Вычислим с помощью составленной программы интеграл для  $K$  при  $\alpha = \pi/36; \pi/18; \pi/9; \pi/4$ . Использован метод парабол, поскольку он имеет наибольшую точность.

Таблица 2 – Значения интеграла  $K$  для различных углов отклонения

$\alpha$	$\pi/36$	$\pi/18$	$\pi/9$	$\pi/4$
$K$	2.001	2.005	2.018	2.096

Полученные результаты показывают, что точность колебаний маятника сохраняется только для малых углов отклонения от вертикали, сопоставимых с величиной  $\alpha = \pi / 36 = 5^\circ$ .

Таким образом, практическое применение методов численного интегрирования показывает, что они позволяют решать сложные задачи физики и математики. Погрешность численного результата зависит от выбора метода интегрирования и количества отрезков, на которые разбивается область интегрирования.

Результаты работы могут быть использованы при решении других физических задач, требующих вычисления определенных интегралов.

### Литература

1. Мак-Кракен, Д. Численные методы и программирование и фортране / Д. Мак-Кракен, У. Дорн. – М.: Мир, 1977. – 580 с.
2. Колдаев, В.Д. Численные методы и программирование : учебное пособие / под ред. проф. Л.Г. Гагариной / В.Д. Колдаев. – М. : ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 336 с.
3. Лафоре, Р. Объектно-ориентированное программирование в C++. 4-е издание / Р. Лафорею – СПб. : Питер, 2006. – 928 с.
4. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. – в 10-ти т. – т. 1. Механика / Л.Д Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
5. Коллатц, Л. Задачи по прикладной математике / Л. Коллатц, Ю. Альбрехт. – М. : Мир, 1978. – 168 с.

**А.А. Шамына** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **В.Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### ГЕНЕРАЦИЯ СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ ОТ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ В ПРИБЛИЖЕНИИ GNLRGD

**Введение.** Нелинейные оптические эффекты второго порядка уже длительное время используются для исследования свойств поверхностей. Это обусловлено тем, что в центросимметричных средах сигнал второй и суммарной гармоники наблюдается преимущественно от границ раздела. На практике это явление уже было применено для исследования свойств поверхностей наночастиц, биополимеров, мембран биологических клеток, молекул ДНК, адсорбированных поверхностно активных веществ и молекул красителя [1].

**Постановка задачи.** Введём декартову систему координат. Направим ось  $Oz$  вдоль оси цилиндрической частицы, боковая

поверхность которой покрыта оптически нелинейным слоем. Начало координат пусть находится в геометрическом центре частицы. Тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка для слоя выберем в общем виде, характерном для классов симметрии  $C_4$ ,  $C_6$  одноосных кристаллов [2]:

$$\begin{aligned} \chi_{ijk}^2 = & \chi_1^2 n_i n_j n_k + \chi_2^2 n_i \delta_{jk} + \chi_3^2 n_j \delta_{ki} + \chi_4^2 n_k \delta_{ij} + \\ & + \chi_5^2 n_m n_i \varepsilon_{mjk} + \chi_6^2 n_m n_k \varepsilon_{ijm} + \chi_7^2 n_m n_j \varepsilon_{imk}, \end{aligned} \quad (1)$$

где коэффициенты анизотропии  $\chi_{1-7}^2$  характеризуют нелинейные свойства слоя. Пусть две падающие на частицу плоские электромагнитные волны задаются уравнениями напряжённостей их электрических полей:

$$\mathbf{E}^1 \mathbf{x} = E_1 \mathbf{e}^1 \exp i \mathbf{k}^1 \mathbf{x}, \quad \mathbf{E}^2 \mathbf{x} = E_2 \mathbf{e}^2 \exp i \mathbf{k}^2 \mathbf{x}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{e}^{1-2}$  характеризуют поляризацию (в общем случае эллиптическую),  $\mathbf{k}^{1-2}$  – это волновые векторы падающих волн,  $E_{1-2}$  – это комплексные амплитуды напряжённости. Схема задачи изображена на рисунке 1.

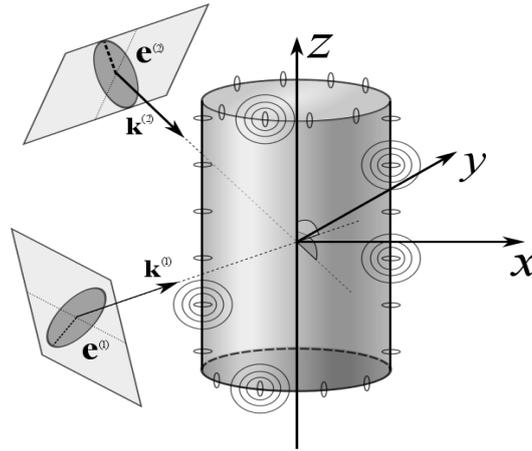


Рисунок 1 – Схема задачи о генерации суммарной частоты от боковой поверхности цилиндрической частицы

В приближении gNLRGD рассеяние на границах раздела не учитывается. Это позволяет найти поле суммарной частоты в дальней зоне методом функции Грина (используется правило суммирования по повторяющимся индексам):

$$\begin{aligned} E_{lat,i}^{12} \mathbf{x} = & \mu_{12} \omega_{12}^2 / c^2 \left[ \exp i k_{12} r / r \right] E_1 E_2 \times \\ & \times \delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m} e_j^1 e_k^2 \int_V \exp i \mathbf{q} \mathbf{x}' \chi_{mjk}^2 \mathbf{x}' d^3 \mathbf{x}', \end{aligned} \quad (3)$$

где  $e_{r,i}$  – это компоненты единичного вектора сферической системы координат,  $\delta_{im}$  – это символ Кронекера,  $k_{12} = \frac{\omega_{12}}{c} \sqrt{\varepsilon_{12} \mu_{12}}$  – модуль

волнового вектора гармоники суммарной частоты,  $\varepsilon_{12}, \mu_{12}$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости на суммарной частоте  $\omega_{12}$ ,  $\mathbf{q} = \mathbf{k}^1 + \mathbf{k}^2 - \mathbf{k}^{12}$  – вектор рассеяния,  $\mathbf{k}^{12}$  – волновой вектор гармоники суммарной частоты, а интегрирование ведётся по всему объёму нелинейного слоя толщиной  $d_0 \ll a, d_0 \ll h$ , где  $a, h$  – это радиус основания и высота цилиндрической частицы соответственно.

**Решение.** Нахождение (3) требует подстановки (1) в (3) и вычисления нескольких интегралов. В результате получим выражение для напряжённости электрического поля гармоники суммарной частоты:

$$\mathbf{E}_{lat}^{12}(\mathbf{x}) = 2\pi\mu_{12} \frac{\omega_{12}^2}{c^2} \frac{\exp ik_{12}r}{r} d_0 ah E_1 E_2 (1 - \mathbf{e}_r \otimes \mathbf{e}_r) \mathbf{f}_{lat}^{12}, \quad (4)$$

где вспомогательный вектор  $\mathbf{f}_{lat}^{12}$  характеризует пространственное распределение поля суммарной частоты и задаётся формулой, в которой  $J_m z$  – цилиндрические функции Бесселя порядка  $m$ ,  $\mathbf{e}_z$  – единичный вектор, направленный вдоль оси  $Oz$ , а  $\mathbf{n}$  – единичный вектор, направленный вдоль составляющей вектора рассеяния, перпендикулярной оси  $Oz$ , то есть вдоль  $\mathbf{q}_\perp = \mathbf{q} - \mathbf{e}_z (\mathbf{q} \cdot \mathbf{e}_z)$ ,  $q_\perp = |\mathbf{q}_\perp|$ :

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_{lat}^{(12)} = & \frac{\sin(q_\parallel h/2)}{q_\parallel h/2} \left[ i\chi_1^{(2)} \left( -J_3(q_\perp a) \mathbf{n} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(1)}) (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(2)}) + \right. \right. \\ & \frac{1}{4} (J_1(q_\perp a) + J_3(q_\perp a)) \left\{ \mathbf{n} \left[ (\mathbf{e}^{(1)} \cdot \mathbf{e}^{(2)}) - (\mathbf{e}^{(1)} \cdot \mathbf{e}_z) (\mathbf{e}^{(2)} \cdot \mathbf{e}_z) \right] + \right. \\ & \left. \left. + (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(1)}) \left[ \mathbf{e}^{(2)} - \mathbf{e}_z (\mathbf{e}^{(2)} \cdot \mathbf{e}_z) \right] + (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(2)}) \left[ \mathbf{e}^{(1)} - \mathbf{e}_z (\mathbf{e}^{(1)} \cdot \mathbf{e}_z) \right] \right\} + \right. \\ & \left. + iJ_1(q_\perp a) \left[ \chi_2^{(2)} \mathbf{n} (\mathbf{e}^{(1)} \cdot \mathbf{e}^{(2)}) + \chi_3^{(2)} \mathbf{e}^{(2)} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(1)}) + \chi_4^{(2)} \mathbf{e}^{(1)} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(2)}) \right] + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} (J_0(q_\perp a) + J_2(q_\perp a)) (\chi_5^{(2)} + \chi_6^{(2)} + \chi_7^{(2)}) \left[ \mathbf{e}^{(1)} \times \mathbf{e}^{(2)} \right] \right. \\ & \left. - \frac{1}{2} (J_0(q_\perp a) + J_2(q_\perp a)) (\chi_5^{(2)} \mathbf{e}_z (\mathbf{e}_z \cdot [\mathbf{e}^{(1)} \times \mathbf{e}^{(2)}]) + \right. \\ & \left. \chi_6^{(2)} [\mathbf{e}^{(1)} \times \mathbf{e}_z] (\mathbf{e}_z \cdot \mathbf{e}^{(2)}) + \chi_7^{(2)} [\mathbf{e}_z \times \mathbf{e}^{(2)}] (\mathbf{e}_z \cdot \mathbf{e}^{(1)}) \right) - \\ & \left. - J_2(q_\perp a) (\chi_5^{(2)} \mathbf{n} (\mathbf{n} \cdot [\mathbf{e}^{(1)} \times \mathbf{e}^{(2)}]) + \chi_6^{(2)} [\mathbf{e}^{(1)} \times \mathbf{n}] (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(2)}) + \right. \\ & \left. + \chi_7^{(2)} [\mathbf{n} \times \mathbf{e}^{(2)}] (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}^{(1)}) \right) \Big], \end{aligned} \quad (5)$$

Полученное решение обладает некоторыми свойствами симметрии. Например, если произвести следующие замены

$$\mathbf{k}^1 \leftrightarrow \mathbf{k}^2, \mathbf{e}^1 \leftrightarrow \mathbf{e}^2, \chi_3^2 \leftrightarrow \chi_4^2, \chi_5^2 \rightarrow -\chi_5^2, \quad (6)$$

$$\chi_6^2 \rightarrow -\chi_7^2, \chi_7^2 \rightarrow -\chi_6^2,$$

то выражение для вектора  $\mathbf{f}_{lat}^{12}$   $\theta, \varphi$  останется тем же.

**Заключение.** Получение явного вида поля суммарной частоты позволит обнаружить новые закономерности в пространственном распределении генерируемого излучения, а также привести к новым методам оценки коэффициентов анизотропии посредством анализа трёхмерных диаграмм направленности.

### Литература

1. Size dependence of second-harmonic generation at the surface of microspheres / S. Viarbitskaya, V. Kapshai, P. van der Meulen, T. Hansson // *Physical Review A*. – 2010. V. 81. – P. 053850.

2. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики / И. Р. Шен; пер. с англ.; под ред. С.А. Ахманова. – М. : Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1989. – 558 с.

**А.В. Шилов** (УО «МГУ имени А.А. Кулешова», Могилев)  
Науч. рук. **А.Б. Сотский**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### МОДОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИКАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ТГц ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

В силу существенного поглощения электромагнитного излучения терагерцового (ТГц) диапазона всеми известными материалами (за исключением воздуха) создание направляющих его волноводов составляет непростую задачу. К настоящему времени предложен ряд конфигураций волноводов ТГц диапазона. Их общим недостатком является значительное затухание передаваемого сигнала. Наиболее перспективными в плане минимизации этого затухания считаются полимерные волноводы с полый сердцевинной. В них энергия передаваемого излучения локализуется в сердцевине за счет его отражений от оболочки, представляющей собой двумерный фотонный кристалл. Актуальным является исследование возможностей оптимизации структуры поперечного сечения таких волноводов. В настоящем докладе под этим углом зрения анализируются модовые характеристики волокон в виде колец различного числа капилляров.

Исследование данного типа волокон представляет сложную дифракционную задачу. Для её решения применен строгий метод функций Грина [1]. На рисунке 1 приведены поля основных мод волокон.

Характерные параметры такой структуры:  $R$  и  $l$  – толщина и внутренний радиус оболочки,  $b$  и  $d$  – внешний радиус и толщина стенки капилляра.

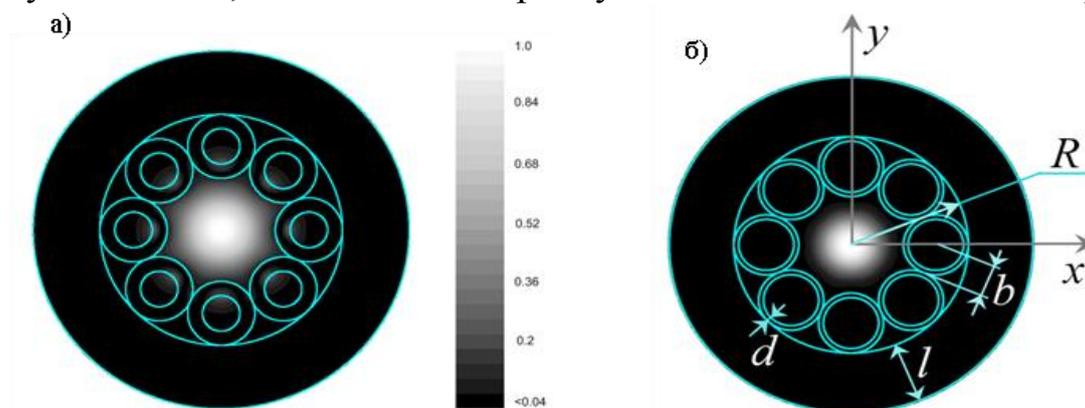


Рисунок 1 – Рассчитанная интенсивность поля основной моды 8-капиллярного волокна с толщиной стенок капилляров:  
а)  $d = 176 \mu\text{m}$ , б)  $d = 59 \mu\text{m}$

Исследования влияния толщины стенки показывают, что уменьшение толщины стенки капилляра ведет к увеличению ширины полос пропускания, а также к смещению их в коротковолновую область.

В НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва) методом терагерцовой спектроскопии во временной области были измерены дисперсионные зависимости в диапазоне частот  $0 < f < 2,5$  ТГц 8-капиллярного волокна с параметрами  $d = 176 \mu\text{m}$ ,  $R = 1,435 \text{ mm}$  и  $l = 790 \mu\text{m}$ , изготовленного из полипропилена с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2,229 - i0,0039$ . Сравнение этих зависимостей с теоретическими расчетами приведено на рисунке 2.

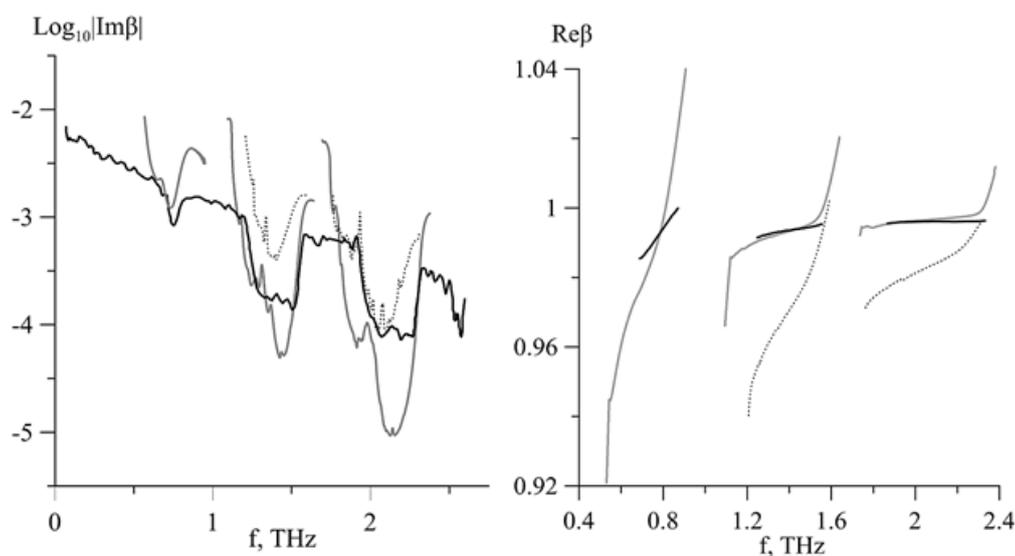


Рисунок 2 – Дисперсия эффективного показателя преломления основной моды восьми капиллярного волокна. Черные сплошные линии – эксперимент, серые и пунктирные кривые – теоретический расчет для основной моды и первой высшей моды, соответственно

Как видно из рисунка 2, имеется качественное согласие между рассчитанными и экспериментальными дисперсионными кривыми основных мод. Высшие моды волокна (рисунок 2а, пунктирные кривые) имеют затухание на порядок большее, чем основные (рисунок 2а, серые кривые), что позволяет сделать вывод об одномодовости данного волновода применительно к ТГц спектроскопии.

Детально изучен вопрос об оптимальном выборе числа соприкасающихся капилляров в оболочке, количество которых влияет на затухание ТГц сигнала. При расчетах кольцо капилляров помещалось в неограниченную капроновую оболочку, изолирующую волокно от окружающей среды. Полученные результаты иллюстрируются рисунком 3.

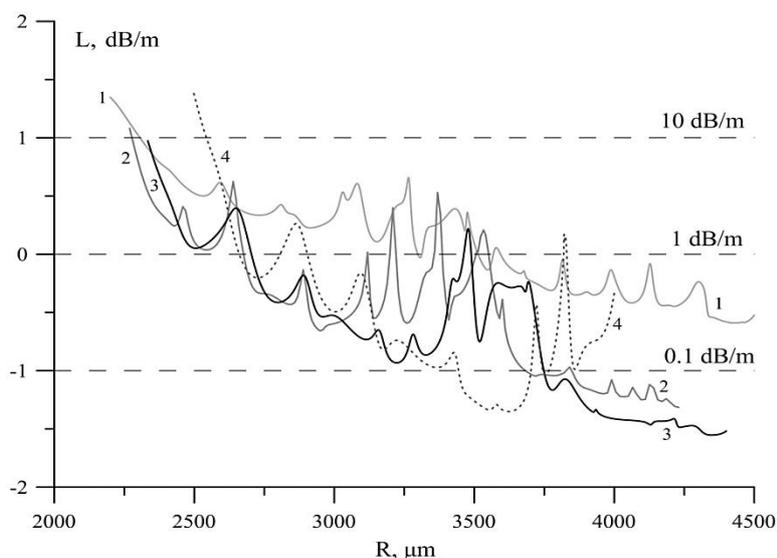


Рисунок 3 – Влияние внутреннего радиуса оболочки  $R$  на потери передаваемого сигнала  $L$ . Кривая 1 соответствует кольцу из 6 капилляров, 2 – из 7 капилляров, 3 – из 8, 4 – из 10 капилляров

Согласно рисунку 3, увеличение числа капилляров от шести до восьми позволяет уменьшить потери от 1 дБ/м до 0.1 дБ/м при постоянном внутреннем радиусе оболочки, равном  $R = 3250 \mu\text{m}$ . Кроме того, из рис.3 можно сделать вывод о том, что дальнейшее увеличение числа капилляров приводит к меньшим потерям при большем внешнем радиусе оболочки, при этом увеличивается крутизна кривых (см. например, кривые 3 и 4 на рисунке 3). Последний факт можно объяснить ростом степени проникновения излучения в стенки капилляров при уменьшении их толщины.

### Литература

1. Сотский, А.Б. Теория оптических волноводных элементов : монография / А.Б. Сотский. – Могилев : УО «МГУ им. А.А. Кулешова», 2011. – 456 с.: ил.

Шур П. Г. (УО «ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель»)   
 Науч. рук. Е. З. Авакян, канд. физ.-мат. наук, доцент

## РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ЯЗЫКЕ СИ

В настоящее время существует множество различных уравнений, решение которых может занять не один час, поэтому разработка программного обеспечения для их решения весьма популярна и продуктивна

Одним из наиболее распространенных численных методов решения уравнений является метод сеток.

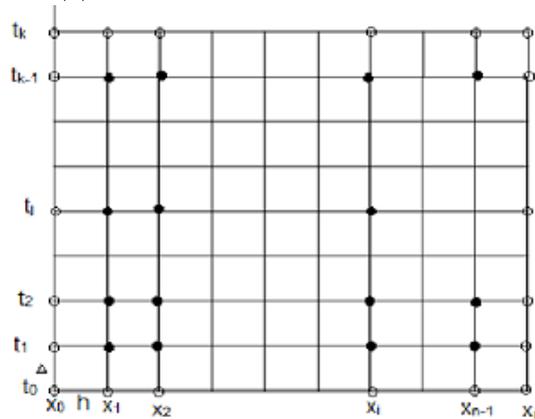


Рисунок 1 – Сетка  $\Omega_h^A$  для области  $\Omega$  с границей  $\Gamma$

Рассмотрим разностные схемы решения параболических уравнений на примере следующего одномерного уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x, t), \quad 0 \leq x \leq L, 0 \leq t \leq T, \\ u(0, t) &= \mu(t), \quad u(L, t) = \eta, \quad 0 \leq t \leq T \\ u(x, 0) &= \varphi(x), \quad 0 \leq x \leq L \\ a^2 &= \frac{\lambda}{c\rho} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $a^2$  – коэффициент температуропроводности,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стержня,  $c$  – удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность материала.

Построим сетку  $\Omega_h^A$  (рисунок 1). Для получения сеточного уравнения заменим производную  $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$  приближенной разностной формулой:

$$\frac{\partial^2 u(x_i, t_i)}{\partial x^2} = \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2} \quad (2)$$

Для замены  $\frac{\partial u}{\partial t}$  можно воспользоваться одной из приближенных разностных формул:

$$\frac{\partial u(x_i, t_i)}{\partial t} = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{h^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial u(x_i, t_i)}{\partial t} = \frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{h^2} \quad (4)$$

Кроме того, заменим начальные и граничные условия их разностной аппроксимацией:

$$u_{i,0} = \varphi \quad x_i = \varphi_i, i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5)$$

$$u_{0,j} = \mu \quad t_j = \mu_j, u_{n,j} = \eta \quad t_j = \eta_j, j = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (6)$$

заменяв частные производные в задаче (1) соотношениями (2) и (3) и учитывая условия (5)–(6), получим следующую вычислительную схему для расчета значений функции  $u$  в узлах сетки  $\Omega_h^A$ :

$$u_{i,j+1} = \gamma u_{i-1,j} + (1 - 2\gamma)u_{i,j} + \gamma u_{i+1,j} + \Delta * f_{i,j} \quad (7)$$

$$u_{0,j} = \mu_j, u_{n,j} = \eta_j, u_{i,0} = \varphi_i, \gamma = \frac{a^2 \Delta}{h^2} \quad (8)$$

Это явная двухслойная разностная схема (рис. 2). Учитывая, что на нулевом слое (при  $i = 0$ ) все значения  $u_{0,j}$ , (как, впрочем, и  $u_{0,j}$  и  $u_{n,i}$ ) известны, по формуле (7) можно сначала явно рассчитать значения  $u_{i,1}$ , затем  $u_{i,2}$ , и так до  $u_{i,k}$ . Для устойчивости разностной схемы (7) значения шагов по  $t$  и  $x$  должны удовлетворять следующему условию:

$$\Delta \leq \frac{h^2}{2a^2} \quad (9)$$

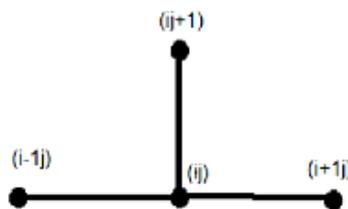


Рисунок 2 – Шаблон явной двухслойной разностной схемы

При решении параболических уравнений с помощью явной разностной схемы основной проблемой является устойчивость решения и правильный выбор шага по  $t$ , удовлетворяющего соотношению (9). Для решения этой проблемы были предложены неявные разностные схемы. Эти схемы абсолютно устойчивы, но алгоритм решения я несколько сложнее, чем простой пересчет по формуле (7). Для построения неявной разностной схемы заменим частные

производные в задаче (1) соотношениями (2), (4) вместо (3) для явной схемы) и с учётом условий (5)–(6) получим следующую вычислительную схему для расчёта значений функции  $u$  в узлах сетки  $\Omega_h^A$ :

$$Y u_{i-1,j} + (1 + 2Y) u_{i,j} + u_{i+1,j} = -u_{i-1,j} - \Delta * f_{i,j}, \quad (10)$$

соотношения (10) в месте с равенствами (7) – неявная двухслойная разностная схема (рисунок 3).

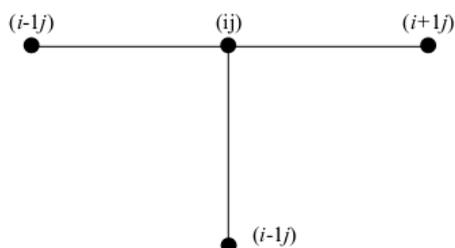


Рисунок 3 – Шаблон неявной двухслойной разностной схемы

Схема (8), (10) не позволяет явно выписывать решение, для нахождения  $u_{i,j}$ , при каждом значении  $j$  необходимо решить трёх-диагональную систему линейных алгебраических уравнений, для чего можно использовать одним из итерационных методов или методом прогонки.

В результате рассмотрения двух разностных схем получили:

Явная схема более простая и требует меньших затрат по времени для своей реализации, так же работа программы значительно быстрее, так как меньше операций выполняется. Однако значительным ее минусом является то, что она не всегда сходится, а значит не всегда возможно найти решение.

Неявная схема требует более сложной реализации, при выполнении требуется больше времени из-за большего количества операций. Но всеми этими минусами можно пренебречь, так как нет никаких ограничений для решения, всегда возможно решить уравнение. Как и при всех расчетах при помощи численных методов существует такой минус, как погрешность, было проведено исследование и рассчитаны решения при разной погрешности.

### Литература

1. Вержбицкий, В.М. Основы численных методов / В.М. Вержбицкий. – М. : Высшая школа, 2002. – 840 с.

**Ясонов В.А.** (УО «ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **В.В. Комраков**, канд. техн. наук, доцент

## **ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА НАВЕСКИ СРЕДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО СЭУ-350 В РЕЖИМЕ ПЕРЕВОДА НАВЕСНОЙ МАШИНЫ ИЗ РАБОЧЕГО В ТРАНСПОРТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ**

Стремительное развитие информационных технологий и растущая потребность в проведении сложных научных расчётов заставляют всё чаще применять на практике разные виды расчетов и анализов. Потребность в них связана с использованием более сложных схем, близких к реальным механизмам. Это приводит к увеличению числа различных факторов, которые нужно учитывать при оптимизации, что сильно усложняет расчет. Решение позволит из отдельных структурных элементов, спроектировать любой сложности механизм и оптимизировать работу всех его звеньев с кинематической и силовой точки зрения.

В работе был произведен кинематический и силовой анализ состояния механизма навески средства энергетического универсального СЭУ-350. Механизм навески – служит для присоединения к трактору навесных, полунавесных и прицепных сельскохозяйственных машин, регулировки рабочего положения, подъема в транспортное и опускания в рабочее положение навесных и полунавесных машин:

- универсальные;
- специальные;
- комбинированные.

Наибольшее распространение получили универсальные механизмы навески, так как они позволяют присоединять к трактору несколько машин и орудий.

Механизм навески подвергся детальному рассмотрению и был разбит на кинематические пары. Далее последовали различные варьируемые исходные данные, исходя из которых подбирались оптимальные характеристики для дальнейшего проектирования. Пройдя процедуру поиска и оптимизации входных данных, над механизмом навески был проведен кинематический и силовой анализ.

Далее были произведены расчеты с использованием системы компьютерной математики Mathcad и разработанного программного комплекса на языке С#. Результаты оптимизации и анализа, произведенные в этих программах, совпали и уложились в рамки допустимых погрешностей.

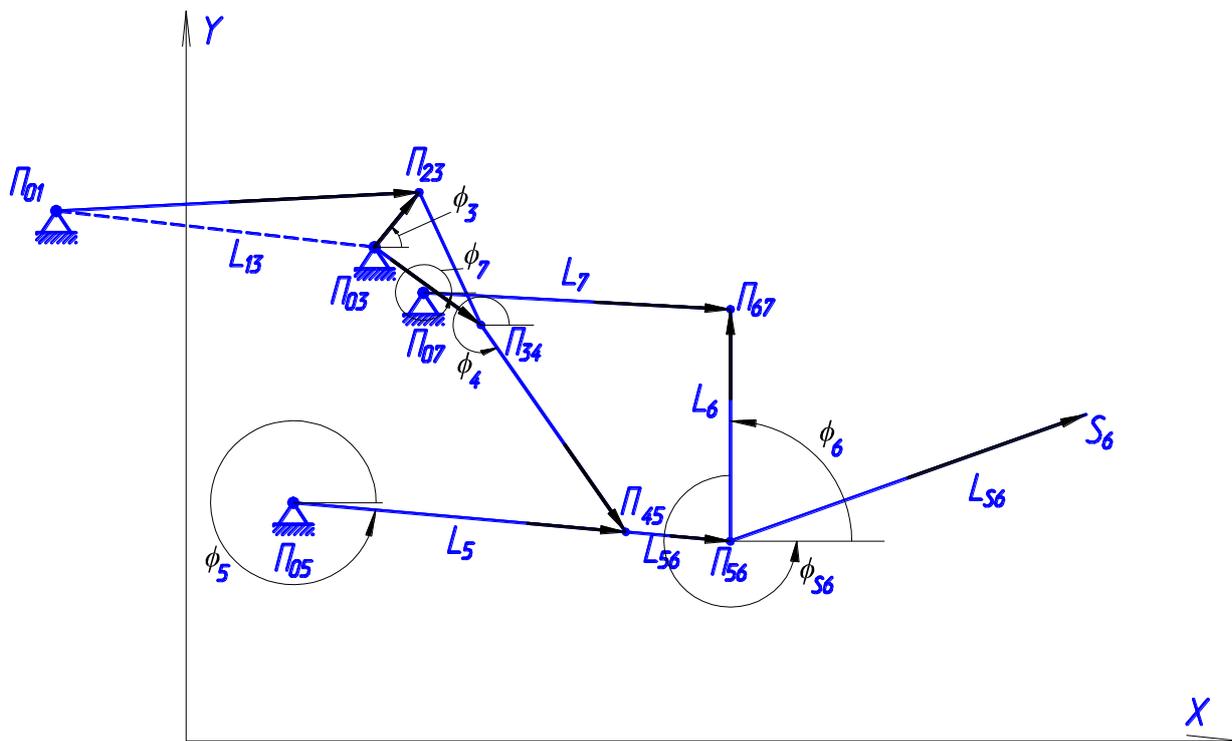


Рисунок 1 – Расчетная схема механизма

Данными расчетами занимаются уже не один десяток лет и в настоящее время существует аналоги, но они ограничиваются исследованием механизма только до четырех звеньев. Разработанное программное обеспечение имеет достаточно низкую стоимость и отвечает функциональными возможностями исследуемой задаче. Таким образом, при решении узкоспециализированных задач она может служить альтернативой специализированным дорогостоящим коммерческим системам.

## Литература

1. Попов, В.Б. Математическое моделирование динамики подъема навесной машины. Материалы международной научнотехнической конференции «Современные проблемы машиноведения» : в 2 т. Т. 2, С. 80–83, Гомель 1998.
2. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля : учебное пособие. – М. : Колос, 1975. – 384 с.

## Секция 4. Методика преподавания физики

### *Председатели:*

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.

Желонкина Тамара Петровна, ст. преподаватель.

**П.Д. Алексейчик** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

### **ЗНАЧЕНИЕ ЗАДАЧ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Решению задач в системе обучения физики уделяют огромное внимание. Основная цель, которая ставится при решении задач по физике, заключается в том, чтобы учащиеся глубже усвоили физические закономерности, научились их анализировать и применять на практике. Решение задач способствует глубокому и прочному усвоению учебного материала, конкретизации знаний, устранению формализма в преподавании физики. Решение задач развивает навыки самостоятельной работы учащихся, способствует развитию логического мышления, сообразительности, инициативы, кроме того, является источником новых знаний. Решение задач является средством воспитания, позволяет осуществлять повторение, систематизацию и контроль знаний учащихся. Многие ученые подчеркивают, что решение задач по физике должно способствовать формированию исследовательского стиля умственной деятельности, знакомить с методами исследования физики. Судить о степени понимания физических законов можно по умению применять их для анализа конкретных физических явлений, т. е. для решения задач. Поэтому решение физической задачи представляет собой необходимый и чрезвычайно важный этап при изучении физики. В настоящее время для повышения качества учебной работы и успеваемости учащихся приходится принимать меры к поискам инновационных технологий, форм и методов обучения. Одной из таких технологий, которая внедряется в современный учебный процесс, является модульное обучение. Использование модульной технологии предполагает проведение лекций, семинаров, уроков по решению задач, лабораторных работ, факультативных и интегрированных уроков.

Для разработки системы задач по каждой теме курса физики можно использовать относительно новое методологическое направление, такое как системно-структурный подход. Основным понятием, которым

оперируют при этом, является понятие «система». Система (в общем случае) представляет собой множество объектов (их называют компонентами), между которыми существуют определенные связи и отношения связи являются частыми случаями отношений). Системы обладают различными свойствами: структурными, функциональными и др.

**А.В. Брагинец** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **МОТИВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Объективность изучения и формирования мотивации учащихся достигается тем, что при этом учителю надо исходить не из оценок и субъективных мнений, а из фактов. Факты же надо уметь получать с помощью специальных методов и методических приёмов. Объективность изучения возрастает при соблюдении учителем ряда условий.

I. Методами, наиболее надёжными для изучения мотивации учащихся и наиболее приемлемыми для учителя, могут быть:

а) Длительное изучение, в том числе наблюдение учителя за повторяющимися поступками и различными проявлениями мотивации учащихся.

б) Индивидуальный, формирующий эксперимент в виде дополнительного занятия с учеником при той или иной степени дозированной помощи при решении задач. Общий ход такого занятия состоит в предъявлении задания повышенной сложности, затем обучение ученика с помощью подсказок и предъявления аналогичного задания для того, чтобы выявить обучающий эффект занятия.

в) Постановка школьников в ситуации реального нравственного выбора, например соподчинения мотивов. Такие ситуации либо создаются учителем специально, либо учитель умело использует ситуации такого рода, возникающие в реальной жизни.

Индивидуальный формирующий эксперимент должен проходить в форме диалога, сотрудничества учителя и учащихся, для чего целесообразно овладение учителем так называемыми «диалогическими техниками».

Каждый из названных выше методов изучения (индивидуальный формирующий эксперимент, постановка в ситуации выбора) лучше приводить в привычные для учащихся формы регулярно проводимых

учебных работ (устный опрос, письменная проверка, индивидуальное дополнительное занятие). Полученные с помощью разных методических приемов данные учителю необходимо сопоставлять с жизненными показателями учащихся.

II. После того, как с помощью различных методов будут получены определенные факты, учителю важно уметь их правильно трактовать, интерпретировать. Для этого при оценке отдельных проявлений мотивации надо иметь некоторые точки отсчета, эталоны. Они содержатся в теориях мотивации, возрастных особенностей учения. Так же необходимо рассмотреть, как устроены мотивация, сам процесс учения. Эти особенности учения и мотивации (их виды, уровни, этапы, качества, проявления) образуют как бы «сетку» параметров, на которые можно накладывать реальные факты, наблюдаемые у учащихся, и оценивать их. Иными словами, оценивая мотивацию конкретного ученика, учителю недостаточно сказать о том, что «интерес к учению слабый», «учиться не хочет», а надо назвать, что именно в мотивации отсутствует, какие именно её уровни не развиты и т. д.

III. При изучении и формировании мотивации ученика важно видеть не его застывшие психологические особенности, т. е. то, что уже достигнуто учеником, а самое главное – процесс становления мотивации, зону её ближайшего развития. Поэтому учителю важно выявлять не только успешность выполнения задания, но и затруднения ребенка в нём; не только фиксировать результат решения, но и способы его получения; определять не только уровни, но и переходы от одного к другому.

IV. Изучение и формирование мотивации учащихся можно проводить как на заданиях с неучебным содержанием (кружки, олимпиады, внеурочные мероприятия), так и на заданиях с учебным содержанием (урок). Первые задания хороши тем, что, будучи незнакомыми для детей, они уравнивают всех учащихся, сводят к минимуму роль прошлого опыта. Вторые важны тем, что они позволяют изучать школьников в естественных условиях учебного процесса.

V. Мотивацию учения можно не только изучать, но и «измерять». Это придает изучению большую объективность, позволяет сопоставлять характер выполнения заданий школьниками на разных этапах обучения.

VI. Планирование учителем процесса формирования строится именно на основе результатов психологического изучения ученика с учётом перечисленных выше требований.

**М.С. Василец** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Главное условие успешного решения задач – знание учащимися физических закономерностей, правильное понимание физических величин, а также способов и единиц их измерения. К обязательным условиям относятся и математическая подготовка учеников. Затем на первый план выступает обучение, как некоторым общим, так и специальным приёмам решения задач определённых типов. Идеальным было бы создание для них алгоритмов решения, то есть точных предписаний, предусматривающих выполнение элементарных операций, безошибочно приводящих к искомому результату. Однако многие задачи нерационально решать, а иногда и просто нельзя решить алгоритмическим путём. В одних случаях для решения задачи вообще не имеется алгоритма, в других он оказывается очень сложным и громоздким и предлагает перебор громадного числа возможных вариантов. Для большинства физических задач можно указать лишь некоторые общие способы и правила к решению, которые в методической литературе иногда преувеличенно называют алгоритмами, хотя скорее это «памятки» или «предписания» алгоритмического типа. Систематическое применение общих правил и предписаний при решении типовых задач формирует у школьников навыки умственной работы, освобождает силы для выполнения более сложной творческой деятельности. Задачи нужно решать в определённой системе с логикой изучаемого материала при максимальном внимании к общим фундаментальным закономерностям и фактам. Без этого каждая задача будет восприниматься, как нечто новое и перенос умений решения одних задач на решение других будет затруднён. Однако усвоение готовых и общих положений ещё недостаточно для успешного решения всего многообразия физических задач. Решение задачи – это активный познавательный процесс, большую роль в котором играют наблюдения физических явлений и эксперимент. Наблюдения и эксперимент позволяют создать соответствующие образы и представления, уточнить условия задачи, получить недостающие данные, установить зависимость между величинами и так далее. Той же цели служат рисунки, чертежи и графики.

**А.А. Веркеенко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ФИЗИКЕ**

Началом работы учителя по проектированию урока физики по заданной теме является ее научно – методический анализ. Это нужно для того, чтобы логично распределить научный материал темы по урокам, определить их типы, место каждого в системе уроков, правильно выбрать методы, средства и формы обучения и др. Научно-методический анализ темы предполагает характеристику ее особенностей, анализ содержания и структуры, логики построения, межпредметных и внутрипредметных связей, системы физического эксперимента и оборудования. Затем выделяются основные физические понятия, законы, принципы, теории, изучаемые в данной теме, и определяется методика их формирования. Нужно определить также учебный материал эмпирического характера, исследуемый путем наблюдения, опытов; математический аппарат, с помощью которого численно описываются результаты опытов и наблюдений; материал методологического характера, включающий понятия идеальных моделей, роль опытов в изучении физических явлений; политехнический материал, экологический и гуманитарный потенциал темы и др.

Общие представления о теме и подготовительная работа позволяют учителю определить содержание учебного материала на урок, его тип, спланировать ожидаемые результаты обучения и способы их достижения. Планируемые результаты урока формулируются в виде целей и представляются тем, какие знания должны усвоить ученики (физические явления, законы, теории и др.) и на каком уровне, какими практическими и экспериментальными умениями овладеть, какими приемами мыслительной деятельности научиться пользоваться (анализ, синтез, абстрагирование, сравнение, аналогия, обобщения и др.), что и каким образом обеспечит их развитие и воспитание и др. Цели урока формулируются с позиции ученика и показывают, какие изменения должны произойти с ним в результате проведенного урока. Для описания целей на всех уровнях учебной деятельности учащихся по физике обычно используют определенные ключевые слова – глаголы.

Задачи урока определяются с позиции учителя и представляют собой программу его действий по реализации целей урока. Такая программа разрабатывается детально и подробно и представляет собой систему следующих задач урока физики: образовательные, воспитательные, развивающие.

**А.В. Ганжурова** (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **Т.В. Тихоненко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА «ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ КЛАССНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ»**

Современные информационные технологии быстрыми темпами внедряются во все сферы человеческой деятельности, в том числе и в сферу образования. Тем не менее в сфере образования до сих пор нет средств, позволяющих в достаточной мере автоматизировать процесс ведения документации и отчетности, так как во многих учебных заведениях, (а именно в школах) по-прежнему работают с бумажными носителями. У них есть определенные недостатки: занимают много места; имеют большой вес, особенно при большом их количестве; требуют особых условий хранения. Электронные носители информации позволяют решить многие эти проблемы, поскольку они: занимают мало места; способны хранить большие объемы информации; позволяют с большой легкостью копировать информацию, что позволяет решить проблему ее утрачивания. Однако же наличие одних электронных ресурсов недостаточно для того, чтобы наладить эффективную работу в школе. Для этого необходимо использовать современные носители информации вкупе с системой, которая позволит иметь доступ к информации, обрабатывать и при необходимости редактировать ее, а также выводить данные на печать.

Для решения поставленной задачи была разработана система, позволяющая получить доступ к необходимым данным, под названием «Информационно-справочная система «Электронный журнал классного руководителя». Необходимость в такой системе имеется давно и ее внедрение позволит: освободить классного руководителя от рутинного труда по составлению отчетов и обмену информацией; обеспечит хранение, накопление и предоставление всей необходимой информации об учениках и конкретном классе в целом.

Целью данного проекта является разработка программного продукта, который позволит классному руководителю оперативно находить необходимую информацию по учащимся своего класса, создавать отчеты, составлять списки с необходимой информацией.

Программа «Информационно-справочная система «Электронный журнал классного руководителя» предназначена для использования в средней общеобразовательной школе и предназначена для комплексного информационно-аналитического обеспечения процессов учебного заведения, в части исполнения следующих функций: ввод и редактирование списка учащихся класса; ввод и редактирование данных

о посещаемости учащихся учебных занятий; ввод и редактирование списка родителей учащегося; ввод и редактирование трудных подростков; вывод акта обследования жилищно-бытовых условий учащихся; вывод отчета общественного воспитателя; вывод посещаемости по конкретному учащемуся.

При разработке программы использовались язык программирования С# и система управления базами данных MS Access 2016. В процессе написания программы большое внимание было уделено удобству работы пользователя и построению дружественного интерфейса.

Разработанная «Информационно-справочная система «Электронный журнал классного руководителя» находится на опытной эксплуатации в государственном учреждении образования «Средняя школа №1 г.п. Корма».

**Т.В. Гордиенко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ ЭКСКУРСИЙ ПО ФИЗИКЕ**

Одной из организованных форм обучения физике в средней школе являются учебные экскурсии. До начала 90-х годов экскурсии включались в учебную программу по физике в качестве обязательной составляющей, и в каждом классе отводилось на проведение экскурсий определенное число часов. Сегодня же в существующих альтернативных вариантах программ, как правило, нет жестких требований к проведению учебных экскурсий, и в ряде программ экскурсии даже не упоминаются. Изменения в системе обучения физике в общеобразовательных учреждениях, естественно, коснулись и экскурсий по физике. Если раньше учебные экскурсии носили в основном политехнический и профориентационный характер, то сегодня их целевой спектр значительно расширился. В частности, экскурсии по физике могут носить в условиях современной школы культурологическую, эстетическую и нравственно-этическую направленность.

Организация и проведение экскурсии, как правило, включают четыре основных этапа: планирование экскурсии; непосредственная подготовка; проведение экскурсии; подведение итогов экскурсии.

Как любая другая форма учебной деятельности, экскурсии по физике должны быть органично включены в канву учебного процесса, поэтому планировать их следует в начале учебного года. Следует продумать цели конкретной экскурсии и в соответствии с избранной

целью определить место и время ее проведения. Тематику экскурсий целесообразно определять комплексно, соотносясь как с содержанием текущего учебного материала, так и с перспективой: опираясь на учебную программу, желательно запланировать взаимосвязанную тематику экскурсий на весь период обучения физике – сначала в основной школе, а затем на период обучения в старших классах.

Второй этап содержит два основных вида деятельности учителя. Во-первых, учитель должен решить организационные вопросы – договориться в учреждении, где проводится экскурсия, о дне и времени ее проведения, согласовать и решить вопросы финансирования экскурсии, получить разрешение на проведение экскурсии у администрации школы и т. д. Во-вторых, на этапе подготовки следует поставить определенные учебные задачи перед учащимися, составить список вопросов, ответы на которые дети должны получить во время экскурсии и которые затем послужат тезисами для обсуждения результатов экскурсии. Учащиеся до экскурсии должны ясно представлять себе, на что им следует обратить внимание и в какой форме готовить отчет по экскурсии.

Во время третьего этапа, поскольку основные содержательные вопросы учителем уже разрешены, следует уделять особое внимание организационным вопросам. Во время проведения экскурсии учитель несет ответственность за здоровье и жизнь учащихся, по этой причине необходимо внимательно наблюдать за поведением учащихся, за соблюдением ими требований безопасности. Непосредственно перед началом экскурсии дети должны получить исчерпывающие инструкции по этому вопросу. Заключительный этап экскурсии является чрезвычайно важным с точки зрения решения образовательных задач. Именно подведение итогов с учащимися позволяет обобщить и систематизировать увиденное ими на экскурсии, расставить нужные акценты, выделить основное.

Формы подведения итогов могут быть достаточно разнообразными: сочинения, фото- и видеорепортажи, газеты и др., но обязательно с последующими дискуссиями по их материалам. Интересна практика организации межпредметных учебных экскурсий. В этом случае описанная работа на всех этапах проводится учителем физики совместно с коллегами. Объектами экскурсий могут быть научные лаборатории, конструкторские бюро, музеи, выставки, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, строительные площадки, пригородные объекты.

Экскурсии являются весьма эффективной формой организации учебной работы. В этом отношении они выполняют следующие функции: с помощью экскурсий реализуется принцип наглядности обучения, ибо

в процессе их учащиеся, как отмечено выше, непосредственно знакомятся с изучаемыми предметами и явлениями; экскурсии позволяют повышать уровень научности обучения и укреплять его связь с жизнью, с практикой; экскурсии способствуют техническому обучению, так как дают возможность познакомить учащихся с производством, с применением научных знаний в промышленности и сельском хозяйстве; экскурсии играют важную роль в профессиональной ориентации учащихся на производственную деятельность и в ознакомлении их с трудом работников промышленности и сельского хозяйства; учебные экскурсии вносят разнообразие в учебный процесс, способствуют развитию любознательности учащихся, которая при определенной систематической работе может перерасти в устойчивый интерес к учебному предмету.

Поэтому учитель не должен отказываться от проведения учебных экскурсий по физике, даже если они не предусмотрены программой, а в меру собственных сил и возможностей конкретной школы, конкретного региона планировать и проводить учебную экскурсионную работу.

**А.Д. Горевой** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

На этапе актуализации знаний, необходимых для усвоения нового материала могут быть различные методы работы:

- 1) диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль;
- 2) разноуровневые качественные, расчетные, графические задания;
- 3) физический диктант, блицопрос;

4) работа с систематизирующими, обобщающими таблицами, логическими схемами. При изучении нового материала слайды совместно с натурным экспериментом создают единую активную познавательную среду, в которой учитель серией умело подобранных вопросов и заданий возбуждает и направляет мысль учащихся к новым теоретическим выводам. Далее в ходе закрепления уточняет, корректирует понимание учащимися нового знания, формирует первоначальные умения.

Значительно удобнее демонстрировать видеоматериалы. В любой момент можно остановить кадр высокого качества для зарисовки или комментария, что было бы затруднительно при использовании видеомаягнитофона с низким качеством стоп-кадра. Или отключить звук и дать возможность проанализировать ситуацию ученику. А затем,

включив звук, проверить истинность факта. При невозможности проведения «живого» опыта (ввиду его опасности, отсутствия оборудования или специфики условий) появилась возможность осуществить виртуальный эксперимент на компьютерной модели. Возможен просмотр полученных графиков. Графики, возникающие на экране при изучении тепловых явлений (зависимости от времени при фазовых переходах, при введении понятий количество теплоты, теплоёмкость и др.), позволяют лучше понять наблюдаемые явления.

*Использование ИКТ как источника дополнительного материала.* Основным источником информации является учебная литература. Подбор дополнительной литературы по предмету является порой проблематичным, так как библиотечный фонд в школе не велик. Если заказывать литературу в областной библиотеке, то это займет много времени. Вот здесь компьютер и выступает как источник информации. Ученик при подготовке к уроку может использовать компьютер как универсальный источник информации. Глобальная компьютерная информационная сеть Интернет, электронные энциклопедии и учебники, различные обучающие программы – вот лишь малая часть информационных источников. Огромное количество информации создано на электронных носителях, например, «Детская энциклопедия Кирилла и Мефодия» 2008 г. Здесь находятся энциклопедические и справочные статьи, интерактивные приложения, иллюстрации, видеофрагменты, занимательные факты и мн. др.

*Применение ИКТ как средства контроля результатов обучения.* Наряду с традиционным контролем, предназначенным для оценки конечных результатов обучения, компьютер позволяет организовать контроль самого процесса обучения, осуществить диагностику хода материала с целью коррекции дальнейшего процесса. Мы не в состоянии изменить содержание контроля знаний, но мы можем изменить форму ее проведения, сделать ее более привлекательной. В компьютерном виде тренировочное решение задач, тестов, непосредственно выполнение контрольной работы нравится учащимся по ряду причин: сразу получают результат; не теряют время на оформление, исправления и др.; можно воспользоваться справочным материалом, подсказками, калькулятором. Это самый объективный, справедливый для учащихся вид контроля.

*Применение ИКТ как средства экономии времени.* При использовании наглядности в виде таблиц, плакатов, репродукций картин, портретов приходится одни убирать, другие прикреплять, да если еще при этом вести записи на доске, то это занимает много времени. Используя компьютер, появляется возможность экономии времени. Уроки физики отличаются постоянным дефицитом времени и

сложностью оборудования. Распространенный случай, когда использование компьютерной техники будет более чем оправдано – моделирование явлений микромира, процессов, имеющих колоссальные масштабы или протекающих за время, несоизмеримое с отпущенным на их изучение или скрытых от наблюдателя. Примерами могут служить явления в полупроводниках, взрыв, молекулярное взаимодействие, диффузия, изображения в электроннолучевой трубке.

Изучение ряда тем требует использования значительных объемов графического материала. Ограниченность пространства классной доски может привести к необходимости вытереть часть ранее сделанных построений, что создаст затруднения при необходимости возврата к ним в ходе закрепления изученного. Традиционная методика давно нашла выход из ситуации посредством использования обучающих плакатов и слайдов. Компьютер в данном случае не является альтернативой, но органично дополняет вышеназванные средства. Отдельным достоинством ЭВМ, применительно к воспроизведению учебной графики, является простота цветового выделения необходимых элементов и возможность воспроизведения динамики построений, аналогичной движению руки преподавателя [1].

### Литература

1. Дьячук, П.П., Лариков, Е.В. Применение компьютерных технологий обучения в средней школе / П.П. Дьячук, Е.В. Лариков. – Красноярск : Изд-во КГПУ, 1996. – С. 167–171.

**А. С. Грибовский, А. Ю. Кравченко**  
(УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, доцент

### **СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, ИЗУЧАЕМЫХ В КУРСЕ «МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ»**

Программа Wolfram Mathematica является гибким инструментом, с помощью которого могут быть разработаны отдельные приложения.

Целью работы была разработка в среде Wolfram Mathematica программы, которая облегчала бы решение задач, изучаемых в курсе «Методы математической физики». Интерфейс программы реализован в виде главного меню (рисунок 1), содержащего в себе перечень задач, а также отдельных окон, открываемых при выборе нужной задачи.



Рисунок 1 – Главное меню

Программа может быть использована для решения следующих задач:

1. Задача Коши для ОДУ;
2. Граничная задача для ОДУ;
3. Колебание мембраны;
4. Задача о колебании струны;
5. Задача о теплопроводности стержня.

После выбора задачи нужно указать параметры, необходимые для её решения. Как правило, это вид уравнения, нагрузка, начальные или граничные условия.

Для решения задач используются следующие различные методы: функции Грина, преобразования Фурье, разложение функции в ряд Тейлора. Результаты выводятся в виде аналитического выражения, графиков и анимаций для наглядного отображения поведения функций.

Также данный программный продукт может быть использован для быстрого получения вида полиномов Лежандра и сферических гармоник, разложения функций в ряды Фурье и Тейлора.

Программа может оказаться полезной для студентов, изучающих курс «Методы математической физики». Полученные на практических занятиях решения можно сравнить с результатами, выводимыми программой.

Ю.П. Гуд (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. Т.П. Желонкина, ст. преподаватель

## МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Для решения творческой задачи необходимо, прежде всего, найти принцип решения (и это самое существенное). Если условие ни прямо, ни косвенно не подсказывается, какие знания надо применять для решения, смысл деятельности ученика заключается в том, чтобы выявить необходимые законы и применить их для решения. Творческие задачи обычно предполагают объяснения какого-нибудь явления природы, техники, действия известного прибора, конструирование нового устройства, построение модели явления.

Творческие задачи по физике условно можно разделить на исследовательские (требующие ответа на вопрос «почему?») и конструкторские (требующие ответа на вопрос «как сделать?»). Такое разделение отражает два вида творчества в науке – открытия и изобретения. Творческие задачи применяются в учебном процессе для обучения применению знаний в новых условиях, для развития самостоятельного мышления и творческих способностей учащихся. Суть самостоятельного мышления состоит в умении научно обобщать – индукции; умении применять теоретические выводы для предсказания течения процессов на практике – дедукции, а также в выявлении противоречий между теоретическими обобщениями процессами, происходящими в природе – дидактика.

Методика решения задач творческого характера имеет свои особенности, которые являются следствием психологических и педагогических особенностей протекания творческой деятельности учащихся. Главное в решении творческих задач – открыть принцип решения. В связи с этим, при обсуждении решения задач используются эвристические методы и приемы в форме указаний, прямых и косвенных подсказок. Эвристическими называют методы и приемы, с помощью которых учащиеся самостоятельно могут открыть новые способы решения. Эвристические указания являются предварительным моментом в процессе решения задач и служат для наведения учащихся на идею решения. При решении творческих задач по физике могут быть использованы следующие подходы: отыскание упрощенной ситуации, которая применяется как план более сложной проблемы, и преобразование более сложной проблемы в знакомую, приемы решения которой известны. При этом возможно расчленение основной задачи на «подзадачи» и последовательное решение каждой из них.

1. Введение в условие задачи вспомогательных элементов. Например, дана задача: «Металлический шарик при комнатной температуре проходит через кольцо из того же материала, но застревает, если его нагреть. Пройдет ли шарик не нагретый через нагретое кольцо?» Если решение этой задачи затруднено для учащихся, ее можно видоизменить следующим образом. Допустим, что шарик и кольцо нагреты до одной и той же температуры: вспомогательный элемент задачи. В этом случае шарик пройдет через кольцо, поскольку у них одинаковые коэффициенты расширения. Если кольцо оставить нагретым, а шарик охладить до комнатной температуры, то очевидно, что не нагретый шарик пройдет через нагретое кольцо.

2. Специализация проблемы, т. е. выявление какой-нибудь зависимости при рассмотрении частных случаев, если учащимся неизвестно соотношение между элементами задачи. Например: «Шарик скатывается без трения по наклонному желобу. От чего зависит его ускорение?» Рассмотрим несколько случаев его движения по наклонной плоскости с различными углами наклона (рисунок 1) и приходим к выводу, что ускорение шарика изменялось от максимального значения ( $g$ ) до нуля, т. е. оно зависит от угла наклона плоскости.

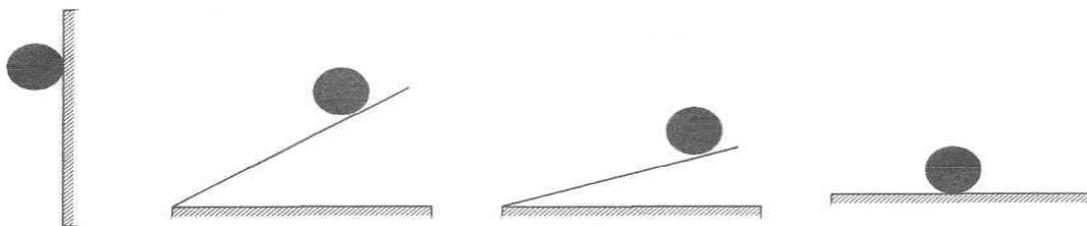


Рисунок 1 – Движение шарика под различными углами наклона

3. Выделение вспомогательной, упрощенной задачи с целью решения исходной. Этот прием называется генерализацией проблемы. Чтобы обратить внимание учащихся на основное явление, часть условия задачи снимают и рассматривают упрощенные варианты. Затем постепенно вводят все дополнительные условия, и в итоге возвращаются к первоначальной формулировке задачи.

4. Один из приемов решения творческих задач по физике может быть основан на доказательстве «от противного».

5. Упрощение ситуации и сведение ее к известному случаю. Этот прием основан на допущении, что задача уже решена.

С решением творческих задач тесно связана проблема развития технического творчества учащихся как завершающего этапа в овладении определенными знаниями по физике и их практическом использовании.

Решение творческих задач по физике создает благоприятное условие для развития творческого мышления. Оно основано на развитии самостоятельности и активности учащихся в приобретении знаний и умений. Для развития творческого мышления в процессе решения физических задач могут быть использованы следующие приемы:

а) объяснение учащимся явлений на основе известных законов и умение предвидеть протекание физических процессов при заданных условиях;

б) экспериментальное определение физических величин и технических характеристик приборов, установок и материалов;

в) выдвижение учащимися предложений по усовершенствованию технических устройств и решение конструкторских задач;

г) обсуждение вариантов решения технических задач;

д) конструирование моделей физических явлений;

е) проведение аналогий между явлениями различной физической природы.

**А.А. Гузовец** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **РОЛЬ КУРСА ФИЗИКИ В ИЗУЧЕНИИ ОСНОВ ЭКОЛОГИИ**

Из анализа экологических факторов следует, что многие из них (температура, влажность, освещенность и др.) являются физическими величинами и понятиями, что и определяет важность физических знаний для решения экологических проблем. Можно выделить основные физические факторы и параметры природной среды, с которыми желательно ознакомить учащихся в курсе физики с целью их экологического образования.

К ним относятся: сила тяжести (ускорение свободного падения), давление, температура, теплоемкость и удельная теплоемкость, влажность воздуха (абсолютная и относительная), поверхностное натяжение жидкости, электрическое поле (напряженность, потенциал), магнитное поле (магнитная индукция), вибрация (частота, интенсивность), звук (амплитуда, частота, интенсивность), электромагнитное излучение различных частот: низкочастотное, радиоволны, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновское (длина волны, плотность потока электромагнитного излучения), радиоактивность (энергия излучения, период полураспада, доза излучения).

Следует остановиться на таких моментах: что обрабатывается (материалы), чем обрабатывается (энергия), как обрабатывается (технология). Следовательно, в курсе физики могут быть раскрыты такие важные в экологическом отношении вопросы, как:

1) рациональное использование энергетических ресурсов: нефти, газа, угля, торфа и др.;

2) наиболее выгодные и безопасные для окружающей среды способы применения механической, внутренней, электрической и атомной энергии;

3) рациональное использование сырьевых ресурсов: водных, земельных, полезных ископаемых и пр.

Современная программа курса физики позволяет, знакомя учащихся с рядом вопросов энергетики, электрификации, механизации и автоматизации народного хозяйства, сообщать им политехнические знания экологического характера. При изучении курса физики можно в яркой и доступной для учащихся форме давать материалы экологического содержания. При этом особое внимание должно быть уделено выяснению экологичности принципов действия различных технических и энергетических устройств, анализу положительных и отрицательных экологических ситуаций, которые они создают или обостряют.

**С.Б. Гурбанзов** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ПРОБЛЕМНОЕ ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ**

При проблемном обучении познавательную деятельность учащихся стремятся организовать по логике развертывания творческого познавательного процесса, а именно:

1) Создают проблемную ситуацию, анализируют ее и в ходе анализа подводят учащихся к необходимости изучения определенной проблемы.

2) Включают учащихся в активный поиск решения проблемы на основе имеющихся знаний и мобилизации познавательных способностей. В отдельных случаях можно организовать предварительное изучение тех знаний, которые могут помочь учащимся решить проблему. Выдвигаемые в ходе поиска гипотезы и догадки должны подвергаться анализу, с тем, чтобы найти наиболее рациональное решение.

3) Предполагаемое решение проблемы проверяется иногда теоретически, чаще экспериментально. Проблема решается, и на основе этого решения делается вывод, который несет в себе новое знание об

изучаемом объекте. В процессе решения проблемы выясняется необходимость исследования других сторон изучаемого объекта. В результате учащиеся добывают некоторую систему знаний.

Вот например, как определяет проблемное обучение польский педагог В. Окунь: «... под проблемным обучением мы разумеем совокупность таких действий, как организация проблемных ситуаций. Формирование проблем (постепенно к этому приучаются сами ученики), оказание ученикам необходимой помощи в решении проблем, проверка этих решений и, наконец, руководство процессами систематизации и закрепления знаний».

Учебная проблема или проблемная ситуация?

В настоящее время многие считают, что проблемное обучение начинается с постановки учебной проблемы. Именно это утверждение мешает выявлению различий между проблемным и традиционным обучением. Проблемное обучение должно начинаться с организации проблемных ситуаций. «Самой существенной чертой проблемного обучения является не постановка вопросов, а создание проблемных ситуаций», – В. Окунь.

Суть ее – субъективное психологическое состояние, переживание познавательного затруднения, одновременно сопровождаемое понимание, что истина находится где-то рядом, надо лишь подумать, приложить некоторое усилие, постараться. Проблемная ситуация, «озадачивает ученика», обеспечивает одновременно и появление интереса к изучаемому вопросу, и включение его в активный познавательный поиск.

**И.А. Гурин** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Основными принципами экологического образования должны стать:

Принцип экологизации. С вступлением человечества в постиндустриальный период развития, экологизация образования представляется стратегически важным принципом общественного развития. Данный принцип рассматривает каждый объект с точки зрения взаимосвязи и взаимовлияния. Экологизация образования – это сложный многогранный процесс, направленный на отражение в целях, содержании, методах, средствах и формах экологических проблем современности идей и понятий устойчивого развития. Это органичный процесс построения

учебного предмета в контексте не только науки, сколько в культурно-историческом измерении.

**Принцип культурологичности.** Обусловлен объективной связью человека с культурой как системой ценностей. Современная экология не может рассматриваться в отрыве от того социо-культурного фона, на котором она развивается. Именно поэтому в последнее время на первый план выходит культуурообразующая составляющая содержания образования. **Принцип непрерывности и преемственности.** Этот принцип означает, что экологическое образование должно пронизывать все звенья системы непрерывного образования. Формы организации жизни являются целостными системами, иерархически соподчиненными и последовательно включенными в цепь взаимосвязанных биологических систем: организмы включаются в структуру популяции и виды, популяции и виды – в экосистему, экосистемы – в биосферу. Знание взаимодействия основных живых систем подводит к всестороннему пониманию единой целостной картины жизни на Земле. Системно-целостное упорядочение современного курса экологии дает возможность обеспечить внутреннюю преемственность и логическую последовательность учебного материала на всех ступенях обучения.

**Принцип интегративности** является одним из ведущих принципов экологического образования, предусматривающий превращение экологии в междисциплинарную науку.

Интерактивные методы, как нельзя лучше позволяют решать поставленные перед экообразованием задачи: через активное совместное обсуждение, участие в деловых играх, приобретение опыта и его анализа.

**И.А. Диченков** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **РОЛЬ КУРСА ФИЗИКИ В ИЗУЧЕНИИ ОСНОВ ЭКОЛОГИИ**

Из анализа экологических факторов следует, что многие из них (температура, влажность, освещенность и др.) являются физическими величинами и понятиями, что и определяет важность физических знаний для решения экологических проблем. Можно выделить основные физические факторы и параметры природной среды, с которыми желательно ознакомить учащихся в курсе физики с целью их экологического образования.

К ним относятся: сила тяжести (ускорение свободного падения), давление, температура, теплоемкость и удельная теплоемкость, влажность

воздуха (абсолютная и относительная), поверхностное натяжение жидкости, электрическое поле (напряженность, потенциал), магнитное поле (магнитная индукция), вибрация (частота, интенсивность), звук (амплитуда, частота, интенсивность), электромагнитное излучение различных частот: низкочастотное, радиоволны, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновское (длина волны, плотность потока электромагнитного излучения), радиоактивность (энергия излучения, период полураспада, доза излучения).

Следует остановиться на таких моментах: что обрабатывается (материалы), чем обрабатывается (энергия), как обрабатывается (технология). Следовательно, в курсе физики могут быть раскрыты такие важные в экологическом отношении вопросы, как:

1) рациональное использование энергетических ресурсов: нефти, газа, угля, торфа и др.;

2) наиболее выгодные и безопасные для окружающей среды способы применения механической, внутренней, электрической и атомной энергии;

3) рациональное использование сырьевых ресурсов: водных, земельных, полезных ископаемых и пр.

Современная программа курса физики позволяет, знакомя учащихся с рядом вопросов энергетики, электрификации, механизации и автоматизации народного хозяйства, сообщать им политехнические знания экологического характера. При изучении курса физики можно в яркой и доступной для учащихся форме давать материалы экологического содержания. При этом особое внимание должно быть уделено выяснению экологических принципов действия различных технических и энергетических устройств, анализу положительных и отрицательных экологических ситуаций, которые они создают или обостряют.

**Ду Инсюань** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

*Образование* – непрерывный и динамичный процесс, который должен продолжаться и за пределами урока. И не последнюю роль здесь играет способность учителя заинтересовать ученика, в том числе, и посредством применения современных технологий. Определимся в родственных понятиях, когда речь заходит о современных технологиях обучения: информационные технологии, медийные технологии, мультимедийные технологии.

По определению Селевко, под *компьютерными технологиями обучения* подразумеваются «процессы подготовки и передачи информации обучаемому, средством осуществления которых является компьютер».

Объективная необходимость использования наглядных средств и технических средств обучения (речь идет о компьютере) в процессе обучения заключается в их огромном влиянии на процесс понимания и запоминания. При опытной проверке эффективности запоминания текста установлено, что при слуховом восприятии усваивается 15% информации, при зрительном – 25, а в комплексе, т. е. при зрительном и слуховом одновременно, – 65%, а если человек вовлекался в активные действия в процессе изучения, то усвояемость материала повышалась до 75%. Появилась возможность использования компьютеров на уроках физики – это демонстрационные уроки, различного рода виртуальные эксперименты, которые невозможно произвести в условиях школы. Проблема нехватки демонстрационных средств разрешима – первоначально, подключением телевизора к компьютеру, далее – использование мультимедиа проектора.

Применение цвета, графики, звука, современных средств видеотехники позволяет моделировать различные ситуации и среды. Это позволяет усилить мотивацию учащихся к учебе.

С помощью компьютерных технологий на уроках физики стало возможным:

- использование мультимедиа-технологий при изучении учебного материала;
- интенсивное использование компьютеров как инструмент повседневной учебной работы учащихся и педагогов;
- изменение содержания обучения физики;
- реализация межпредметных связей физики с другими учебными предметами;
- разработка методов самостоятельной поисковой и исследовательской работы учащихся в ходе выполнения учебных телекоммуникационных проектов;
- обучения учащихся методом коллективного решения проблем;
- поиск и обработка информации в рамках изучаемого материала с использованием Интернет;
- использование электронных таблиц для решения задач;
- проведение виртуальных практикумов и лабораторных работ;
- подготовка учителей к работе с новым содержанием, новыми методами и организационными формами обучения.

Компьютерная коммуникация позволяет получить доступ к практически неограниченным массивам информации, хранящейся в централизованных банках данных. Это дает возможность при организации учебного процесса опираться на весь запас знаний, доступных жителю «информационного общества».

Все уроки, на которых используется мультимедийный проектор, для проецирования содержания записей «на доске» учителем запоминаются проще и информация легче усваивается, а также всем в классе будет хорошо виден материал, отображенный более чётко, ясно и образцово.

Благодаря использованию информационных технологий на уроке можно показывать фрагменты видеофильмов, редкие фотографии, графики, формулы, анимацию изучаемых процессов и явлений, работу технических устройств и экспериментальных установок, послушать музыку и речь, обратиться к интерактивным лекциям.

С помощью компьютера можно показать такие явления и эксперименты, которые недоступны непосредственному наблюдению, например, эволюцию звезд, ядерные превращения, квантование электронных орбит и др. С помощью моделей из виртуальной лаборатории, созданной в проектной среде «Живая физика» можно смоделировать процессы, происходящие в циклотроне, масс – спектрометре, показать движение электронов в магнитном поле. Демонстрация опытов, микропроцессов, которые нельзя проделать в школе, возможна без показа реальных экспериментов.

К наиболее эффективным и инновационным формам представления материала следует отнести мультимедийные презентации. Использование мультимедийных презентаций целесообразно на любом этапе урока, что позволяет оперативно сочетать разнообразные средства обучения, способствующие более глубокому и осознанному усвоению изучаемого материала, экономии времени на уроке, насыщению его информацией.

Презентации дают возможность проявить творчество и индивидуальность. Дети и сами охотно составляют презентации и используют их в своих ответах на уроке. А умение работать самостоятельно это ценный навык для учащегося [1].

## Литература

1. Методика преподавания физики / Пособие для учителей / Кабардин О.Ф., Кабардина С.И. – М. : Просвещение, 1990. – С. 122–124.

**Д.А. Занкевич** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ**

Модель (*modus* – мера, масштаб, способ действия) – упрощенное представление о реальном объекте, процессе или явлении. Модель отражает существенные особенности изучаемого объекта, процесса или явления. В моделях отражаются глубинные закономерности, установленные в результате целенаправленных исследований.

Моделирование – метод познания, состоящий в создании и исследовании моделей реальных объектов, процессов, явлений. При моделировании осуществляется замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели.

Моделирование в научных исследованиях стало применяться еще в глубокой древности и постепенно захватывало все новые области научных знаний.

Основной смысл моделирования заключается в том, чтобы по результатам опытов с моделями можно было дать необходимые ответы о характере моделируемого объекта, процесса или явления в реальных условиях. В настоящее время моделирование во всех науках является одним из научных методов исследования процессов и явлений.

Моделирование применяется тогда, когда реальный эксперимент по каким-либо причинам невозможен или затруднен, например, при изучении явлений, протекающих в течение десятков лет, либо удаленных в пространстве. Моделирование дает ускорение, удешевление, упрощение и любое другое усовершенствование процесса исследования, достигаемого за счет работы с более простым объектом, чем исходный, то есть с моделью. С другой стороны, упрощение действительности в некоторых случаях является недостатком моделирования, и полученные результаты часто теряют практическую ценность. Моделирование оправдано в качестве предварительного этапа исследования, позволяющего принять более обоснованное решение для проведения реального эксперимента.

Для классификации моделей используются разные основания. Общая классификация моделей включает более десяти основных признаков. С развитием прикладных математических исследований проблема классификации применяемых моделей усложняется. Наряду с появлением новых типов моделей (особенно смешанных типов) и новых признаков их классификации осуществляется процесс интеграции

моделей разных типов в более сложные модельные конструкции. По предметной области модели можно классифицировать на физические, экономические, статистические, экологические и т.д. По способу представления во времени модели можно классифицировать на: статические модели – модели, в которых предоставлена информация об одном состоянии системы, неизменном во времени; динамические модели – модели, в которых предоставлена информация о состояниях системы и процессах смены состояний во времени. По способу представления модели можно классифицировать на предметные и информационные. Последняя классификация получила наибольшее распространение (рисунок 1).



Рисунок 1 – Классификация моделей

Предметные (или натурные, материальные) модели воспроизводят геометрические, физические и другие свойства объектов в материальной форме (например, глобус, робот, макеты зданий и т. д.).

Информационные модели отражают знания человека об объекте и представляют объекты и процессы в образной или знаковой форме (например, рисунки, фотографии, программы на одном из языков программирования, периодическая таблица элементов Д.И. Менделеева). Другими словами, если материальная модель объекта – это его физическое подобие, то информационная модель объекта – это его описание.

Построению информационной модели предшествует системный анализ, задача которого – из всего множества элементов реального

объекта, его свойств и связей выделить те, которые являются существенными для целей моделирования. [1]

Ведущее место среди информационных моделей занимают математические модели.

Математическая модель – модель, представленная системой математических соотношений (уравнений, неравенств, функции т. д.), отражающих существенные свойства объекта или явления. Математические модели основаны на формальных языках. Математическое моделирование – процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта (уравнения, неравенств, систем).

Математический инструментарий, применяемый в прикладных математических исследованиях, весьма разнообразен. По применяемому математическому аппарату математические модели можно классифицировать на: матричные модели; модели, основанные на применении обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных; вероятностные модели и др.

Ведущее место среди математических моделей на производстве занимают оптимизационные модели, т.к. очень часто приходится среди множества возможных вариантов отыскивать наилучшие решения при ограничениях, налагаемых на природные, экономические и технологические возможности производства. [2]

### **Литература**

1. Королев, А.Л. Компьютерное моделирование / А.Л. Королев. – М. : БИНОМ. ЛЗ, 2013. – 230 с.
2. Тарасевич, Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс : учебное пособие / Ю.Ю. Тарасевич. – М. : ЛИБРОКОМ, 2013. – 152 с.

**В.В. Зданевич** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

### **ДИДАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Моделирование – это один из основных методов научного познания. Суть его заключается в том, что из сложного явления выделяются некоторые его главные части и замещаются моделями, более понятными, более простыми, более удобными для изучения объяснения.

В основе любой науки особую роль имеют концептуальные модели-представления об объекте-оригинале, которые сложились в сознании человека. Основой для формирования таких моделей являются результаты наблюдений свойств объекта- оригинала, теоретический багаж исследования, его опыт, аналогии, логические выводы. Объединение всех этих представлений в концептуальную модель осуществляется неформально. Таким образом, построение концептуальной модели предполагает применение для описания объекта строгих научных понятий и выявление наиболее существенных факторов.

С помощью концептуальных моделей строиться первичная система простейших абстрактных моделей, которые отражают свойства реальных объектов, представляющий интерес для данной науки. Примеры таких абстрактных моделей: «материальная точка», «идеальный газ», «абсолютно черное тело» и т. д. Концептуальные модели занимают самый нижний уровень научного знания, но именно они связаны с практической деятельностью и рождаются в ее ходе.

В свою очередь, научные законы формулируются как описание связей и взаимодействий между концептуальными моделями. Примерами могут служить законы Ньютона, законы Кирхгофа, закон Гука и т. д. Таким образом, научные законы также являются в определенном смысле моделями реальности.

Научные законы носят общий характер и занимают более высокий уровень по сравнению с концептуальными моделями. Законы имеют вполне конкретную объектную область.

На базе концептуальных моделей и соответствующих законов строятся модели целых классов явлений и процессов, которые образуют научные теории. Последние с точки зрения моделирования являются системой концептуальных моделей и законов, описывающих взаимодействие между концептуальными моделями. В качестве примеров можно назвать теорию относительности, квантовую теорию, теорию твердого тела, теория колебания, теорию устойчивости и т. п.

Давно известно в науке и понятие гипотезы. Гипотезу можно считать моделью реальности в условиях неполной изученности явлений. Наука допускает одновременное существование нескольких гипотез, поскольку одни и те же наблюдения могут одинаково хорошо объясняться с различных точек зрения. По мере получения новых знаний гипотезы могут дополняться, изменяться или вовсе отбрасываться. И точно так же, как бы хорошо ни описывали процессы и явления уже существующие модели, всегда возможно и дальнейшее уточнение, что постоянно и происходит в любой науке.

Проектирование и эксплуатация современных сложных технических систем все больше требует поддержки со стороны моделирования. Давно ушли в историю методы проектирования, основанные только лишь на опыте и интуиции инженеров и техников. Современные технологии проектирования подразумевают применение научных знаний, математических моделей, методов оптимизации с целью получения объекта с наилучшими свойствами. Кроме того, техническая документация проекта (чертежи) в наши дни тоже создается программными средствами автоматизированного проектирования.

Следует заметить, что, поскольку моделирование позволяет в ходе проектирования создавать объекты с заданными параметрами, моделирование позволяет существенно сократить затраты на доработку спроектированного изделия по результатам последующих испытаний опытных образцов.

Функционирование современных сложных технических систем требует управления и регулирования режимов их работы. Такое управление сегодня производится компьютерами на основе моделей объектов управления, которые позволяют учесть возможные взаимосвязи и ограничения, установить оптимальные режимы функционирования.

Рассмотренные выше примеры использования моделей показывают, что роль моделирования в современной технике трудно переоценить. Пройденный долгий путь, начавшийся с применения макетов и материальных моделей, сегодня продолжен сложнейшими математическими и имитационными компьютерными моделями [1].

### **Литература**

1. Беспалько, В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения / В. П. Беспалько. – М. : Высшая школа, 1995. – 336 с.

**В.А. Казлов** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **А.Л. Самофалов**, д-р физ.-мат. наук, доцент

### **РАЗРАБОТКА ДЕЙСТВУЮЩЕЙ МОДЕЛИ МАХОЛЕТА В РАМКАХ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТИЯ ПО ФИЗИКЕ**

Машущий полет птиц и насекомых всегда привлекает внимание той легкостью, с которой они его совершают. Наблюдения убеждают, что, например, при полете чайка прикладывает силы не больше, чем при быстром передвижении по земле. Летящий воробей прикладывает силы

не больше, чем прыгающий по земле. Но скорость их полета во много раз больше скорости передвижения по земле.

Некоторые птицы часами держатся в воздухе и пролетают тысячекилометровые расстояния – это показывает, насколько экономно расходуют они свою мускульную энергию.

На заре развития авиации появились маленькие модели принципиально различных схем, летавшие с помощью резиновых моторов. Среди них были модели самолетов (аэропланов), имевшие рейку, на которой крепились крыло, стабилизатор и винт, вращаемый резиновым мотором; модели вертолетов (геликоптеров), у которых на рейку крепились два противоположно вращающихся от резиновых моторов винта; и несколько хорошо летавших моделей махолетов (орнитоптеров), у которых к рейке крепились крылья, машущие с помощью резиновых моторов.

Через 40 лет после первых полетов этих моделей уже строили в большом количестве самолеты различных конструкций и успешно летали на них. Освоить полет на аппарате, имеющем неподвижное крыло и винт (аэроплане), оказалось нетрудно.

Только через 60 лет после первых полетов моделей вертолетов люди смогли освоить полет на вертолете. Освоить полет на аппарате с вращающимися крыльями оказалось труднее, чем с неподвижными крыльями.

В настоящее время, спустя 90 лет после первых полетов моделей с машущими крыльями, все еще не освоен полет на аппарате с машущими крыльями (махолете). Освоить полет на аппарате с машущими крыльями оказалось наиболее сложным.

После практического освоения полета на вертолете стало известно, что он расходует горючего на полет больше, чем самолет, не может развивать скорости самолета и в целом ряде других свойств не может с ним соревноваться. Но, несмотря на это, вертолеты строят и применяют потому, что у них выявились и такие полезные свойства, которых не имеет самолет.

За всю историю стремления человечества к птичьему полету секрет этого полета знали, видимо, лишь двое. Это были мифические герои Дедал и Икар, единственные в истории преодолевшие притяжение земли за счет энергии машущих крыльев. Однако тайна принципа полета птиц утонула вместе с ними в глубине ушедшего времени.

С тех пор люди, озабоченные проблемой птичьего полета, ни разу не добивались успеха.

Леонардо да Винчи был убежден, что «человек, преодолевающий сопротивление воздуха с помощью больших искусственных крыльев, может подняться в воздух».

Убежденный в своей правоте, он начал разрабатывать аппарат, приводимый в движение только силой мышц человека, и позволяющий ему парить в воздухе как птица. Существует множество рисунков такого «ornitotteri», придуманных Леонардо. Одни из них изображают лежащего человека, который собирается взлететь с помощью механизмов, присоединенных к крыльям; другие – движение вперед при помощи более совершенной системы винтов и шкива.

Есть и рисунки человека, расположенного вертикально в летательном корабле, на педали которого он нажимал руками и ногами. Чтобы сконструировать крылья «ornitotteri», Леонардо изучал анатомию птичьего крыла, учитывая функции и распределение его перьев. Наблюдая за полетом птицы, ученый заметил, что она по-разному машет крыльями, когда зависает в воздухе, летит вперед или приземляется. Его интересовали также перепончатые крылья летучих мышей. На основе этих наблюдений Леонардо сконструировал огромные крылья, предназначенные не только для поднятия человека в воздух, но и удержания его в полете, благодаря элеронам и шарнирам. Он собирался имитировать воздушную акробатику птиц, их способность беречь энергию в полете и точно приземляться. До конца XV столетия Леонардо был убежден, что сможет осуществить проект механического полета. Однако его беспокоило то обстоятельство, что возможности мышц человека ограничены. Поэтому он собирался вместо энергии мускулов использовать механизм лука, который обеспечивал бы движение вперед. Впрочем, лук не решал проблем автономности в полете, возникающих при быстром раскручивании пружины.

С 1503 по 1506 г. Леонардо был занят исследованиями в Тоскане. Атмосферные условия, наличие или отсутствие ветра, соответствующие метеорологические и аэродинамические явления заставили его отказаться от своей старой идеи об «инструменте», основанном на взмахе крыльев, и признать «полет без движения крыльев».

Наблюдая, как большие птицы позволяют воздушным потокам подхватить и нести их в воздухе, Леонардо думал об оснащении человека большими составными крыльями, которые дадут ему возможность войти в подходящий воздушный поток при помощи несложных движений тела и не затратить много сил на это. Человек будет свободно парить, пока не опустится на землю как “сухой лист”.

Систематические исследования, предпринятые Леонардо в начале XVI в., привели его к необходимости изучить «качество и плотность воздуха». Для этой цели он сконструировал гидроскопические инструменты. Леонардо подчеркивал, что законы аэродинамики аналогичны законам гидростатики, т. е. наука о воде является зеркальным отражением науки о ветре, «которую (науку о ветре) мы

покажем через движение воды и эта важная наука станет шагом вперед в понимании полета птицы в воздухе».

На самом деле конструирование аппаратов способных летать издавна привлекало внимание человека. Увлечение авиамоделизмом, которое у многих начинается с воздушных змеев и бумажных самолетиков, в наше время успешно реализовано за счет производителей радиоуправляемых моделей. Модели самолетов сложно назвать игрушками, потому что большинство из них участвуют в серьезных соревнованиях. Профессионалы разделяют авиамоделизм на любительский и спортивный, при этом первый тип увлечения имеет наибольшее число поклонников.

Таким образом, в настоящее время мы не имеем реальных конструктивных решений, обеспечивающих идею машущего полета.

Тем более, что пока еще не обоснована теоретически суть подъемной силы крыльев орнитоопера.

Существует два типа моделей махолета: *центропланные* – центральная часть крыльев которых неподвижна по отношению к корпусу, и *бесцентропланные* – с движущимися крыльями. Второй тип махолета – наиболее интересный по конструкции и самый сложный в изготовлении.

Многие дети даже не представляют себе, как работают махолеты, именно поэтому, эта тема будет особенно интересна школьникам. Даже учащиеся младших классов, в кружках технического творчества, могут изготовить простейшую модель махолета. На занятии учащиеся смогут не только изготовить действующую модель махолета своими руками, но и изучить теоретические основы принципа его работы и найти пути усовершенствования его технических характеристик.

Поэтому задачей данной работы является разработка плана-конспекта факультативного занятия по физике «Разработка действующей модели махолета» и изготовление такой модели.

## Литература

1. Костенко, И.С. Авиамоделизм [Электронный ресурс], – <http://alternathistory.com/makholety-mechta-ili-realnost>. (дата обращения: 27.02.2017).

2. Теория машущего полета // Моделист конструктор. – 1975. – № 8. – С. 13–18.

3. Васильев Г.С., Рябушкин А.С. Модели с машущими крыльями. – М. : 1960. – 267.

**Н.С. Калашников** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ В СВЕТЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В настоящее время в связи с достаточно широким распространением технологий развивающего обучения возникла проблема, связанная с освоением преподавателем новых подходов в обучении только на уровне методики или отдельных дидактических приемов. Проблема заключается в том, что в современных условиях, когда требуется гарантированный педагогический результат, появилась необходимость разработать и обосновать два типа технологий, т. е. не только технологию деятельности преподавателей, но и технологию учебно-познавательной деятельности студентов. Перестройка школьного образования требует также изменить не только содержание, но и методы обучения в сторону всемирного развития самостоятельности, творчества и инициативности учащихся. Это требование в полной мере относится к преподаванию физики как в высшей, так и в средней школе. Важно, чтобы знания учащихся были не только глубокими, но и действенными, т.е. чтобы учащиеся умели применять их на практике.

Анализируя работу выпускников физического факультета, мы пришли к выводу, что начинающие учителя физики недостаточно владеют методикой организации учебно-воспитательного процесса. Такое положение дел можно объяснить недостаточной методикой подготовки студентов. Под методической подготовкой мы понимаем взаимосвязанную систему знаний, умений и навыков, дидактических принципов обучения, которой должен овладеть будущий учитель физики при изучении дисциплин методического цикла для успешного решения педагогических задач, качественного обучения предмету. В своей практической деятельности учителю физики приходится решать следующие задачи: осуществлять учебно-воспитательную работу по физике; проводить внеклассную работу (факультативы, «Неделя физики», физические турниры, викторины, КВН и т. д.) с целью развития устойчивого интереса к изучению физики»; проводить научные исследования в области педагогики и методики преподавания; внедрять в преподавание новые технологии обучения (блочно-модульное изложение темы, разработка интегрированных уроков, учебных проектов изучаемых тем, введение на уроках обучающих и контролирующих тестов, внедрение информационных технологий и т.д.); устанавливать и использовать взаимосвязи учебных дисциплин в процессе обучения физике.

**И.Д. Каученко** (УО БГУ, Минск)  
Науч. рук. **В.Е.Граков**, доцент, канд. физ.-мат. наук

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ТОНКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ АТОМА ВОДОРОДА»**

Теоретическое объяснение тонкой структуры дал в 1916 году Арнольд Зоммерфельд. Он обобщил боровскую модель квантования круговых орбит и рассчитал движение электрона в атоме водорода с учетом теории относительности. Зоммерфельд показал, что тонкая структура уровней энергии является релятивистским эффектом, величина которого сравнительно невелика из-за того, что скорость электрона в атоме водорода не превышает 1% от скорости света.

Дальнейший прогресс в расчете тонкой структуры связан с работами Поля Дирака. В 1928 г. он построил квантово-механическую теорию, описывающую движение электрона в соответствии с требованиями теории относительности. Наличие у электрона собственных (спиновых) механического и магнитного моментов следовало из теории Дирака без дополнительных предположений. С помощью основного уравнения этой теории – релятивистского волнового уравнения (*уравнения Дирака*) – была получена формула для уровней энергии атома водорода и водородоподобных ионов, включающая тонкую структуру уровней.

$$E_{n,j} = -\frac{Z^2 A}{n^2} - \frac{Z^4 \alpha^2 A}{n^3} \left( \frac{1}{j+1/2} - \frac{3}{4n} \right) \quad (1)$$

Первый член этой *формулы Дирака* дает нерелятивистский предел, получаемый из уравнения Шредингера; второй – представляет собой *дираковскую поправку*

$$\Delta E_{n,j} = -\frac{Z^4 \alpha^2 A}{n^3} \left( \frac{1}{j+1/2} - \frac{3}{4n} \right) \quad (2)$$

зависящую от двух квантовых чисел: главного квантового числа  $n$  и квантового числа полного момента  $j$ .

Таким образом, эффекты, учитываемые уравнением Дирака, приводят к небольшим отрицательным добавкам (порядка 0,001%) к нерелятивистскому пределу  $E_n$ . Каждый уровень энергии  $E_n$  расщепляется на  $n$  близко расположенных подуровней – по количеству разных значений  $j$  при данном  $n$  (причем состояния с разными значениями  $l$ , но одинаковыми  $j$ , имеют одну и ту же энергию). Данные подуровни и составляют тонкую структуру уровня, причем все подуровни лежат ниже нерелятивистского предела  $E_n$ .

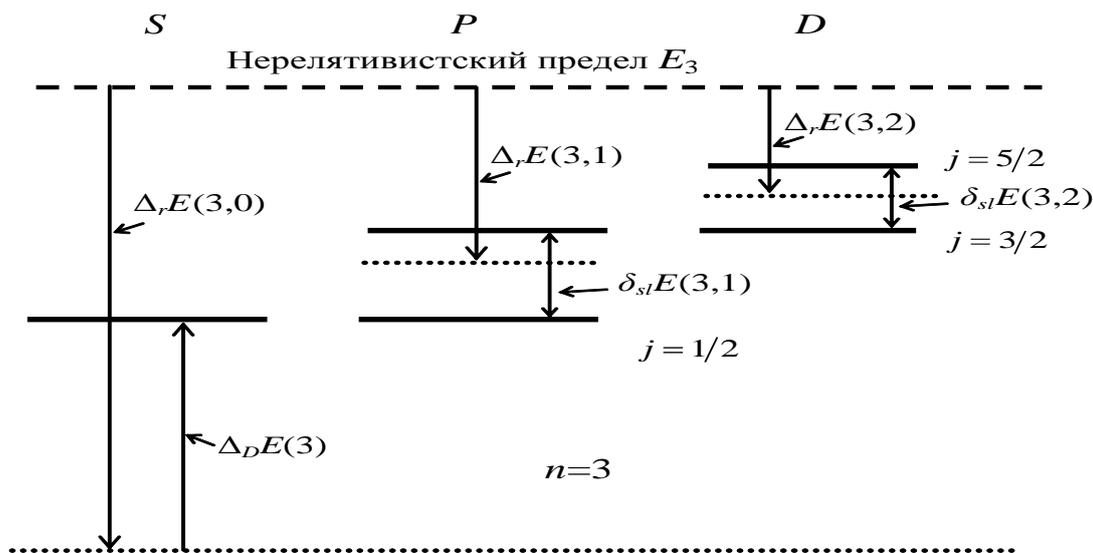


Рисунок 1 – Подуровни энергии  $E_{n,j}$  тонкой структуры атома водорода по теории Дирака для  $n = 3$  (сплошные горизонтальные линии). Вклады разных физических механизмов в дираковскую поправку показаны вертикальными стрелками:  $\Delta_r E(n,l)$  – первая релятивистская поправка;  $\Delta_D E(n)$  – поправка Дарвина;  $\delta_{sl} E(n,l)$  – спин-орбитальное расщепление

Лабораторная работа представляет собой программу, в которой методом компьютерного моделирования спектра излучения атомарного водорода студенты находят значения длин волн всех компонент тонкой структуры спектральных линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$ . В методических указаниях к лабораторной работе содержится теоретическое объяснение тонкой структуры, основанное на релятивистском уравнении Дирака, а также приводится формула для дираковской поправки к нерелятивистской энергии. Анализируются физические причины происхождения трех частей дираковской поправки. Показано, как выполняется расчет первой релятивистской поправки и поправки, связанной со спином электрона. Описаны принципа действия компьютерной программы, порядок измерений и обработки результатов. По найденным длинам волн выполняется расчет тонкой структуры нижнего и верхнего энергетических уровней, определяется величина спин-орбитального расщепления для состояний  $2p$ ,  $3p$ ,  $4p$ ,  $3d$ ,  $4d$ , а также Лэмбовского сдвига для состояний  $2s$ ,  $3s$ ,  $4s$ . Эти результаты, полученные из компьютерного моделирования тонкой структуры спектральных линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  сопоставляются с теоретическим расчетом.

Таблица 1 – Измеренные по спектру и теоретические значения спин-орбитального расщепления

Значения	$\delta_{sl}\tilde{E}(4p), \text{см}^{-1}$	$\delta_{sl}\tilde{E}(4d), \text{см}^{-1}$
Измеренное	0,0461	0,01523
Теоретическое	0,0457	0,01522

Таблица 2 – Измеренные по спектру и расчетные значения лэмбовского сдвига

Значения	$\langle\delta_{2s}\tilde{E}\rangle, \text{см}^{-1}$	$\delta_{3s}\tilde{E}, \text{см}^{-1}$	$\delta_{4s}\tilde{E}, \text{см}^{-1}$
Измеренное	0,0351	0,0107	0,00465
Расчетное	0,0356	0,0105	0,00445

Исследования спектра атома водорода и открытие его тонкой структуры сыграли исключительно важную роль в становлении и развитии квантовой физики: для теории Бора, для нерелятивистской квантовой механики, для теории Дирака и квантовой электродинамики. В связи с этим выполнение лабораторной работы, посвященной детальному изучению тонкой структуры водородного спектра, дает возможность студентам-физикам глубже изучить одну из важнейших тем программы.

### Литература

1. Граков, В.Е., Сокольский, А.А., Стельмах, Г.Ф. под редакцией Клищенко А.П. Физика атома: лабораторный практикум для студентов физического факультета.
2. Ralchenko, Yu., Kramida, A.E., Reader, J., and NIST ASD Team (2011). *NIST Atomic Spectra Database* (ver. 4.1.0), [Online]. Available: <http://physics.nist.gov/asd> [2012, March 5]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

**К.В. Комарькова** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
 Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

### УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА

Условия, вызывающие интерес школьника к учебной деятельности:

- включение учеников в коллективные виды деятельности, работа малыми группами;

- создание атмосферы сотрудничества, доверия, взаимного уважения. Интерес и радость – основные переживания ребенка на уроках;

- занимательность и новизна изложения учебного материала;
- знания осознаются как полезные;
- ориентация на индивидуальные достижения учеников;
- пример педагога, любовь к предмету;
- сбалансированность «надо» (то, что должно быть сделано) и «могу» (то, что ребенок может сделать);
- привлечение учеников к оценочной деятельности;
- оценка даже небольших достижений. Каждое выполненное задание – ступенька для постановки новых задач;
- осознание учеником своих успехов, продвижения вперед;
- актуализация ценностной значимости изучаемого предмета;

Все это вместе взятое и приводит к формированию у детей познавательной мотивации. И казалось бы все эти приемы активно используются педагогами при организации учебной и внеклассной работы. Но все чаще приходится слышать мнение о том, что «современные дети не хотят учиться». Эта фраза стала не просто расхожей, она превратилась в нечто вроде присказки. И что же делать? Логика подсказывает два возможных пути изменения ситуации. *Путь первый* – заставить детей хотеть, тогда и учителя смогут их учить. *Путь второй* – научить детей хотеть учиться.

Оба пути возможны. «Заставить хотеть» трудно, неприятно обеим сторонам, но в принципе возможно. Метод «кнута и пряника», социальное давление, поддержка мощного социального «надо» в сознании ученика – все это методы старые, проверенные, в том числе в педагогике. На этом пути главное – неусыпный и постоянный контроль. Как только он ослабеет, хотение вновь исчезнет.

Второй путь интересный, непростой, но более эффективный, так как предполагает опору на внутренние стимулы к учебе. В идеале этот путь должен приводить к формированию осознанной учебной мотивации. Это ребенок (подросток, юноша), понимающий смысл учебы для себя, осознающий, зачем и почему он должен учиться, умеющий сознательно ставить учебные цели и т. д.

**Ю.Б. Коршунова** (ГУО «Базовая Шерстинская школа», Ветка)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ВОСПИТАНИЮ И ОБУЧЕНИЮ УЧАЩИХСЯ**

Дифференцированный подход в обучении и воспитании, – один из способов решения педагогических задач с учётом социально-психологических особенностей групп воспитания, которые существуют в сообществе детей как его структурные или неформальные объединения или выделяются педагогом по сходным индивидуальным, личностным качествам учащихся.

Дифференцированный подход занимает промежуточное положение между фронтальной воспитательной работой со всем коллективом и индивидуальной работой с каждым учащимся. Дифференцированный подход облегчает воспитательную деятельность педагога, т. к. позволяет определять содержание и формы воспитания не для каждого учащегося (что сложно в условиях большой наполняемости классов), а для определённой «категории» учащихся.

Процесс обучения, воспитания и развития учащихся строится с позиции деятельностного подхода, следствием которого является дифференцированный подход. Это связано с тем, что дифференцированный подход позволяет осуществлять реализацию задач общеобразовательного процесса в современной школе, а в частности создание условий для развития личности учащихся, обеспечение адаптации к новым социально-экономическим условиям, так как предполагает более полный учет индивидуальных особенностей через вариативную организацию учебного процесса.

Дифференцированный подход в воспитании и обучении, один из способов решения педагогических задач с учётом социально-психологических особенностей групп воспитания, которые существуют в сообществе детей как его структурные или неформальные объединения или выделяются педагогом по сходным индивидуальным, личностным качествам учащихся. Дифференцированный подход занимает промежуточное положение между фронтальной воспитательной работой со всем коллективом и индивидуальной работой с каждым учащимся. Дифференцированный подход облегчает воспитательную деятельность педагога, так как позволяет определять содержание и формы воспитания не для каждого учащегося (что сложно в условиях большой наполняемости классов), а для определённой «категории» учащихся. Реализации дифференцированного подхода

способствует организация игр, соревнований, временных творческих коллективов, создание специальных педагогических ситуаций, помогающих раскрыть достоинства учащихся. Необходимое условие дифференцированного подхода – изучение межличностных отношений. Дифференцированный подход даёт возможность воздействовать на отношения между личностью и группой, группой и коллективом, детьми и взрослыми и т. д. Эффективность дифференцированного подхода находится в прямой зависимости от творческой атмосферы сотрудничества в воспитательной организации и демократического управления ею.

Дифференцированный подход включает весьма широкий круг педагогических действий.

Изучение психолого-педагогической литературы позволило принять в качестве рабочего определение, которое рассматривает дифференцированный подход как систему мер (совокупность приемов и форм педагогического воздействия) по изучению, учету и развитию типологических индивидуальных особенностей различных групп школьников, работающих по единой учебной программе. Сущность дифференцированного подхода заключается:

а) в обеспечении достижений обязательных результатов обучения каждым учеником в соответствии с его реальными учебными возможностями;

б) в обеспечении развития познавательного, ценностного, творческого, коммуникативного и художественного потенциала личности;

с) обеспечении обучения в соответствии с реальными учебными возможностями учащихся и ориентацией на «зону ближайшего развития».

Для изучения индивидуальных особенностей учащихся и в качестве критериев дифференциации применяются реальные учебные возможности, определяемые несколькими особенностями школьников (обучаемость, обученность и познавательный интерес к физике), характеризующие ученика как целостную личность. Каждое из выбранных свойств ученика в значительной степени определяет успешность обучения. Доминирующим должен быть уровень обученности, поскольку от него в значительной степени зависит обучаемость и степень сформированности познавательного интереса. Такой подход к изучению типичных индивидуальных различий школьников наиболее соответствует современным психолого-педагогическим взглядам и задачам школы.

Изучение типологических особенностей учащихся включает выявление показателей их определения, на основании которых строятся диагностические материалы.

Для определения уровня познавательного интереса к предмету эффективным способом диагностики является анкетирование.

Ведущим условием осуществления дифференцированного подхода к учащимся на уроках кроме изучения типологических особенностей являются также выделение временных типологических групп. На основании анализа психолого-педагогической литературы были выделены следующие группы учащихся:

I. группа с высоким уровнем обученности, которая включает две подгруппы: с устойчивым интересом к данному предмету; с устойчивым интересом к другим предметам.

II. группа со средним уровнем обученности, которая также включает две подгруппы: с устойчивым интересом к данному предмету; с устойчивым интересом к другим предметам.

III. группа с низким уровнем обученности и неустойчивым интересом к данному и другим предметам.

Кроме того, дифференцированный подход включает организацию учебной деятельности типологических групп школьников с помощью специально разработанных средств обучения предмету и приемов дифференциации деятельности.

В практике обучения наиболее распространены различные способы дифференциации самостоятельной работы учащихся [1].

Одним из условий организации дифференцированной самостоятельной работы является применение дифференцированных заданий, которые различаются по сложности, по познавательным интересам, по характеру помощи со стороны учителя.

Использование дифференцированных заданий в различных звеньях обучения позволяет решать следующие задачи:

- 1) обеспечить возможность их углубления, систематизации и обобщения знаний и умений;
- 2) симулировать развитие познавательной самостоятельности школьников;
- 3) содействовать выравниванию знаний и умений учащихся.

Дифференцированные задания по курсу изучаемого предмета целесообразно использовать при изучении нового материала, при проверке знаний учащихся, при закреплении знаний, при подготовке домашнего задания.

Самостоятельная учебная работа в школе и дома – это два взаимосвязанных этапа, которые дополняют друг друга. При составлении домашних заданий так же необходимо осуществлять

дифференцированный подход, планировать задания различной степени трудности и различного объема с учетом реальных возможностей и интересов учащихся.

Для облегчения работы учителя и учащихся, рекомендуется составить сборник дифференцированных заданий, в котором вопросы и задания должны быть сгруппированы по отдельным разделам, в каждом из которых представлены задания базового и продвинутого уровня. В базовый уровень входят задания для учащихся со средним и низким уровнем обученности, в продвинутой, соответственно, – задания для учеников первой группы. В базовом уровне задания для групп учеников с разным уровнем обученности рекомендую показывать различным шрифтом: для учеников с низким уровнем обученности – курсивом, для средних – обычным. Задания для учащихся с разным уровнем устойчивости познавательного интереса показывать различными значками.

### **Литература**

1. Арапов, А.И. Дифференциация обучения в истории отечественной педагогики и школы / А.И. Арапов. – Новосибирск : НГПУ, 2003, – 243 с.

**К.С. Копертехов** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

### **ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ**

Проблема организации учебно-исследовательской деятельности учащихся связана, прежде всего, с некоторыми трудностями использования исследовательского метода в обучении и общими вопросами организации учебно-воспитательного процесса. Ценным представляется мнение В. И. Загвязинского: «Педагогический процесс подчиняется объективным закономерностям, без учета и использования которых педагог не может добиться прочного успеха. Учителю нужно знать все важнейшие закономерности обучения и воспитания, совершенствовать свое педагогическое мышление». Овладение учащимися исследовательским методом необходимо для их творческой самореализации и саморазвития в процессе учебно-исследовательской деятельности. Самореализации и саморазвитию личности препятствуют внешние и внутренние барьеры. Под психологическим барьером, по мнению Р. Х. Шакурова, понимается «любое препятствие внешнее или

внутреннее, мешающее субъекту удовлетворить его потребности. Поэтому процесс деятельности, ее динамика обусловлены влиянием барьеров и их динамики. Особое значение приобретает такой ценностный барьер как отсутствие или дефицит предмета потребности».

Л. А. Казанцева выделяет ряд барьеров: отсутствие устойчивой системы ценностных ориентаций на творческую самореализацию и саморазвитие в учебно-исследовательской деятельности, на личностные достижения в этой деятельности; отсутствие способности к ценностно-смысловому самоопределению и самоактуализации в проблемных и исследовательских ситуациях; отсутствие целостной, личностной системы знаний о «методах» учебного и научного познания, их возможностях для творческой самореализации и саморазвития в учебно-исследовательской деятельности; преобладающая реакция на познавательную новизну проблемной, исследовательской ситуации, но не на возможное развитие своего интеллектуального творческого потенциала (новизну себя в процессе их разрешения); отсутствие чувствительности к противоречиям, ощущение их внешней заданности условием учебно-исследовательского задания или проблемной, исследовательской ситуации; отсутствие способности видеть противоречия в личностном процессе самореализации в этих ситуациях; стереотипность мышления, деятельности, общения; отсутствие интеллектуально творческой инициативы и активности в осмыслении не только познавательных, но и личностных затруднений на начальном этапе вхождения в учебно-исследовательскую деятельность, в процессе ее осуществления, а также в использовании рефлексии целей, процесса и результатов этой деятельности с учетом их взаимосвязи и взаимообусловленности; личностно значимых целей выполнения учебно-исследовательских задач и заданий, которые заключаются преимущественно в получении нового знания, ознакомлении с новыми приемами деятельности; при этом не являются приоритетными цели творческой самореализации и саморазвития в процессе выполнения учебно-исследовательских заданий; низкий уровень методологической культуры.

Критериями эффективности преодоления учащимися барьеров в учебно-исследовательской деятельности и овладения исследовательским методом, по мнению Л. А. Казанцевой, являются: адекватность самооценки опыта творческой, исследовательской деятельности; уровень владения системой общенаучного и методологического знания о методах учебного и научного познания, входящих в многомерную структуру исследовательского метода и адекватных им учебно-исследовательских и творческих умениях; устойчивость личностной ценностной ориентации на преодоление стереотипов деятельности и общения в проблемных, исследовательских ситуациях; степень готовности и способности к осмыслению своего интеллектуального,

творческого потенциала для преодоления познавательных и личностных затруднений в учебно-исследовательской деятельности; способность к осмыслению не только познавательных противоречий, но и противоречий в собственной учебно-исследовательской деятельности; степень готовности к творческому осмыслению опыта других учащихся в преодолении познавательных и личностных барьеров и расширению на этой основе собственного опыта творческой, исследовательской деятельности; открытость собственного опыта творческой, исследовательской деятельности для других; степень готовности к самооценке эффективности выбранного способа преодоления познавательных и личностных барьеров; умение управлять собственными эмоциональными состояниями и стремиться к ситуации эмоциональной стабильности, активности и конструктивности.

В традиционной образовательной практике наряду с большими достоинствами применение исследовательского метода связано с определенными трудностями, а учеными и учителями отмечается его низкая эффективность.

**А.Е. Костерев** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **А.С. Побиха**, ст. преподаватель

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ РЕБИНДЕРА**

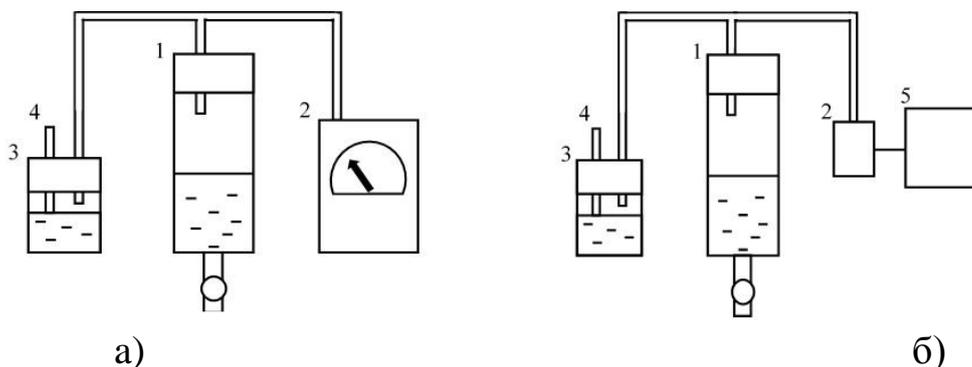
Широкая доступность микропроцессорной техники, всевозможных датчиков и исполнительных устройств, позволяет использовать их для организации измерительных систем в экспериментальной физике, а также в других областях науки и техники. Используя такие устройства можно с достаточной степенью эффективности автоматизировать сбор, накопление и обработку информации, полученной в процессе физического эксперимента.

В рамках работы было выполнено усовершенствование существующей лабораторной установки по определению коэффициента поверхностного натяжения методом максимального давления в пузырьке (Ребиндера).

Установка (рисунок 1 а) состоит из аспиратора 1, соединенного резиновыми трубками с микроманометром 2 и верхним воздушным пространством плотно закрытой колбы 3, в которую наливается некоторое количество исследуемой жидкости и капилляра 4, по всему

периметру соприкасающегося с поверхностью исследуемой жидкости. Недостатками существующей установки была крайне малая чувствительность микроманометра, высокая трудоёмкость снятия показаний в течение эксперимента.

В качестве элемента усовершенствования экспериментальной установки было предложено заменить микроманометр на датчик давления Honeywell 40PC001B1A. Данный датчик формирует на выходе аналоговый сигнал от 0 до +5 В, пропорциональный давлению в диапазоне  $-50...50$  мм. рт. ст. Поскольку сигнал от датчика аналоговый, то для обработки с помощью микропроцессорных средств должен быть представлен в цифровом виде. В качестве устройства аналого-цифрового преобразования и фильтрации сигнала был выбран микроконтроллер Atmega328 на базе аппаратной платформы Arduino UNO. Модуль аналого-цифрового преобразования микроконтроллера имеет 10 разрядов, что позволяет с достаточной точностью оцифровать аналоговый сигнал, несущий информацию о давлении воздуха внутри аспиратора. На рисунке 1 б представлена схема модифицированной установки для определения коэффициента поверхностного натяжения по методу Ребиндера.



- 1 – аспиратор; 2а – микроманометр; 2б – датчик давления;  
 3 – закрытая колба с исследуемой жидкостью; 4 – капилляр;  
 5 – микроконтроллер Atmega 328

Рисунок 1 – а) схема установки для определения коэффициента поверхностного натяжения по методу Ребиндера;  
 б) схема усовершенствованной установки для определения коэффициента поверхностного натяжения

Датчик давления 2 формирует постоянный аналоговый сигнал с величиной, пропорциональной давлению, который подаётся на вход аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера 5. Далее, выполнив преобразование, цифровой сигнал подвергается упрощенной фильтрации по Калману. Полученные таким образом данные

передаются на персональный компьютер посредством шины USB, возможность работы с которой встроена в аппаратную платформу Arduino.

Программная часть написана на языке C++ с использованием технологии dot NET. Данные с виртуального COM-порта принимаются в отдельном потоке, после чего преобразуются и выводятся на график зависимости давления в аспираторе от времени (рисунок 2). Отображение информации в виде графика имеет режим автоматического масштабирования, который устанавливает цену деления оси ординат в режиме реального времени в зависимости от диапазона поступивших данных. Для более точного определения максимального давления в пузырьке есть возможность выставлять реперные линии минимума и максимума. Также, в программе реализована возможность записи данных измерений в таблицу и сохранение её в формате Excel, где, помимо значений максимального давления за несколько периодов измерения, содержится информация об имени, фамилии и группе студента, выполнявшего задание. Такой подход позволяет получить более качественные отчеты по лабораторной работе с высокой степенью достоверности данных.

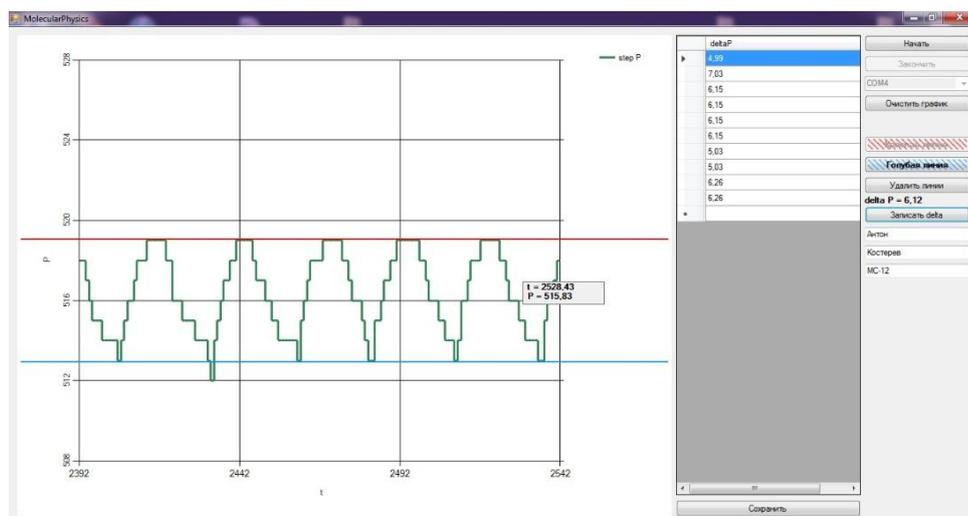


Рисунок 2 – Интерфейс программы для обработки данных с модифицированной установки.

Экспериментальные методы и измерительная техника в физике в настоящее время весьма разнообразны, поскольку стремительное развитие программируемой электроники явилось предпосылкой для широкой автоматизации самых различных процессов в научных исследованиях. Автоматизация учебного эксперимента является актуальной задачей, поскольку позволяет модернизировать существующее лабораторное оборудование и привнести новый функционал.

## Литература

1. Певчев, Ю.Ф. Автоматизация физического эксперимента : учеб. пособие для физ. спец. вузов / Ю.Ф. Певчев, К.Г. Финогенов. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 367 с
2. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер. – БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
3. Поверхностное натяжение и связанные с ним явления : учеб-метод. пособие / А. Б. Крылов. – Минск : БГМУ, 2008. – 32 с.

**Н.С. Костров** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## АНАЛОГИИ В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Аналогия – один из методов научного познания, который широко применяется при изучении физики. Если обнаруживается, что два или более объектов имеют сходные признаки, то делается вывод и о сходстве некоторых других признаков. Вывод по аналогии может быть как истинным, так и ложным, поэтому он требует экспериментальной проверки. Значение аналогий при обучении связано с повышением научно-теоретического уровня изложения материала на уроках физики в средней школе, с формированием научного мировоззрения учащихся.

Использование метода аналогии при решении задач может идти в двух направлениях: непосредственное применение этого метода; отыскание физической системы, которая аналогична данной в условии задачи.

Кроме обучения и удобного представления полученных результатов метод аналогий может успешно применяться и для непосредственного получения знаний, хотя в научной среде существует мнение, что аналогии применяют лишь в том случае, когда нет прямых доказательств. Необходимо определить, что же мы будем считать аналогией. Если принять, что в природе действует ограниченное число фундаментальных законов, то сходство какого-либо свойства у двух объектов наводит на мысль о сходстве причины, породившей это свойство. Таким образом, эти объекты могут обладать генетической общностью. Такая общность может позволить описывать их при помощи одного и того же математического аппарата и пользоваться одними терминами. Иными словами, умозаключение по аналогии может привести нас в исходную точку, из которой взяли начало внешне различные объекты или явления.

Итак, аналогия является одним из возможных методов научного познания. Действительно, в физике существует значительное количество примеров успешного использования метода аналогий. Автор классической теории электромагнетизма Дж. Максвелл сопоставил ее с гидродинамикой несжимаемых жидкостей и подчеркнул значение такого подхода в науке: «Для составления физических представлений следует освоиться с существованием физических аналогий. Под физической аналогией я понимаю то частное сходство между законами двух каких-нибудь областей науки, благодаря которому одна из них является иллюстрацией для другой».

Часто наука сталкивается с фактами, которые не укладываются в рамки существующих представлений, либо с совершенно новыми явлениями. В этом случае необходимо пересматривать существующие и выдвигать новые научные гипотезы. Удачно подобранная аналогия может ускорить построение новой языковой модели действительности и направить ход мыслей исследователя в плодотворном русле.

**А.В. Кравченко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **СТРУКТУРА УРОКА ФИЗИКИ КАК ЦЕЛОСТНАЯ СИСТЕМА**

Урок как педагогическая система имеет свой состав и свою структуру. Он состоит из разных частей, компонентов и элементов (вводной части, организационного момента, опроса, объяснения, средств, приемов и способов решения задач урока и т. п.), которые связаны и взаимодействуют в определенной последовательности. Состав урока, его отдельные элементы могут рассматриваться по-разному: как этапы урока, учебные ситуации, звенья учебного процесса и пр.

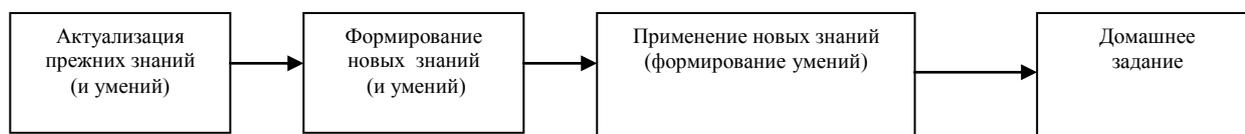
Структура урока рассматривается, вообще говоря, на трех уровнях: дидактическом, логико-психологическом и методическом. Поскольку нас интересует (в рамках методики преподавания физики) структура современного урока физики, ограничим себя рассмотрением структуры урока на методическом уровне.

Уроки разных типов и видов имеют, безусловно, различную структуру; даже уроки одного и того же вида, решающие одни и те же дидактические задачи, использующие один и тот же учебный материал, могут иметь совершенно различный состав и структуру.

Рассмотрим более подробно структуру одного из самых типичных уроков физики - урока изучения нового материала и методическую работу учителя физики, связанную с подготовкой подобного урока.

Основные компоненты общей структуры урока изучения нового материала (и одновременно основные этапы урока) приведены на схеме 1.

Схема 1



1. Актуализация прежних знаний и способов деятельности учащихся предполагает воспроизведение и применение ранее усвоенных знаний (в любой форме), стимулирование познавательной деятельности школьников, их мотивацию и контроль со стороны учителя.

2. Формирование новых знаний и способов деятельности учащихся - центральный этап урока изучения нового материала. Методика организации изучения нового материала предполагает отбор и структурирование учебного материала (определение логики и последовательности введения новых элементов знания), определение средств и методов обучения, форм организации учебного процесса.

3. Применение новых знаний, включающее повторение и закрепление вновь изученного материала, организуется учителем в любой целесообразной для данного урока форме, с использованием любых дидактических средств обучения.

4. Домашнее задание – обязательный компонент урока физики. Изучение физики невозможно без самостоятельной домашней работы учащихся.

Актуализация знаний, так же как и применение их, может перемежаться с изучением нового материала, если учитель считает подобную организацию урока целесообразной. Более того, в структуре урока изучения нового материала может «выпасть» какой-либо компонент или даже несколько. Большинство уроков изучения нового материала содержат все вышеназванные компоненты.

Итак, в чем же состоит работа учителя физики в процессе подготовки и проведения урока изучения нового материала? Остановимся последовательно на каждом этапе урока.

1. Многие учителя полагают, что актуализация – это то же самое, что и опрос, типичный для традиционной, «старой» структуры урока. Но это далеко не так. Значение самого слова «актуализация» говорит о том, что надо сделать знания актуальными, нужными для данного урока, т. е. «освежить» прежние знания и способы деятельности в памяти. Более того, актуализация предполагает и психологическую подготовку ученика: возбудить интерес к изучаемой теме, создать эмоциональный настрой и т. д. Учителю на этом этапе урока

необходимо также оценить степень готовности класса и отдельных учеников к восприятию нового материала.

Какими же способами, с помощью каких методических приемов можно организовать актуализацию?

Рекомендуется ограничить период актуализации знаний 5–10 минутами и проводить ее в форме фронтального опроса. Насколько правомерно игнорирование устного опроса? Или, быть может, он все-таки необходим, но организовывать его нужно как-то иначе, более современно?

Как подсчитал В.Ф. Шаталов, учащиеся разговаривают в течение школьного дня в среднем две минуты. Для того чтобы овладеть любым учебным предметом, в том числе и физикой, необходимо овладеть языком этого предмета. Лишь только ответы на вопросы учителя или краткие высказывания недостаточны для формирования и развития у учащихся языка физики. Надо школьников учить «говорить». Проведение устного опроса – один из путей развития речи ребенка.

Итак, опрос необходим, но организовывать его надо так, чтобы учащиеся всего класса были вовлечены в работу, чтобы происходила именно актуализация знаний всех учеников. Опыт организации современных уроков физики дает возможность использовать целый спектр приемов подобной работы. Это реферирование и дополнение ответов товарищей, коллективная оценка с обоснованием полноты ответа, подготовка вопросов со стороны класса по ходу выступления отвечающего ученика и многое другое. Дело учителя определять дозу тех или иных способов актуализации знаний.

**В.А. Лисовский** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Разработка общих стратегий экологического образования и охраны природы, координация усилий различных стран в этой сфере осуществляется на уровне Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО и ЮНЕП).

В 1968 г. в Париже была созвана Межправительственная конференция ЮНЕСКО по рациональному использованию и охране ресурсов биосферы, принявшая обширную программу действий, названную «Человек и биосфера». В этой программе впервые был отмечен глобальный, общечеловеческий характер экологического

образования. Важным этапом в развитии экологического образования в мире стала первая Межправительственная конференция по образованию в области окружающей среды, созванная ЮНЕСКО совместно с ЮНЕП («Программа ООН по окружающей среде») в Тбилиси осенью 1977 г., которая приняла всеобъемлющую стратегию развития образования в области окружающей среды на национальном уровне, а также выработала более 40 конкретных рекомендаций по совершенствованию экологического (природоохранительного) просвещения, применительно к разным стадиям образования и разным категориям населения.

Необходимо, чтобы все школьные системы включали знакомство с глобальными проблемами, опасностями, которые угрожают человечеству, формировали понимание взаимосвязи между человеком, обществом и природой в планетарном масштабе. Значительным фактором решения экологических проблем должно стать глобальное воспитание, которое предусматривает постановку экологических вопросов в центр всех учебных программ, начиная с детских дошкольных учреждений и кончая вузами, подготовкой учителей и управленческого аппарата. Стратегия прогресса опирается на интеграцию всеобщего экологического образования. В вопросах о стратегии экологического образования существует проблема его методической организации. Одни специалисты считают необходимым разработать отдельный предмет «Экология», который нужно вводить в содержание образования на различных уровнях, поскольку экологическое образование не эквивалентно биологическому, географическому и др., хотя и находится в тесной взаимосвязи.

**Т.В. Лозицкая** (УО «БГПУ имени М. Танка», Минск)

Науч. рук. **О.Н. Белая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ФИЗИКЕ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ УЧАЩИХСЯ**

Среди важнейших задач, стоящих сегодня перед учреждениями общего среднего образования, следует назвать активизацию творческой познавательной деятельности, развитие теоретических и практических умений, овладение учащимися основами естественнонаучного мировоззрения. Как учебный предмет физика обладает объективными возможностями для развития исследовательских умений учащихся. Организация исследовательской деятельности учащихся при изучении физики позволяет повысить интерес как к науке, сделать её увлекательной, полезной и понятной.

Учебно-исследовательская деятельность учащихся может быть организована на любом этапе обучения физике: при изучении физической теории; при решении задач; при проведении демонстрационного эксперимента; при выполнении лабораторных работ. Формирование исследовательских умений начинается в тот период времени, когда учащиеся выполняют несложные лабораторные работы, решают творческие задачи, выполняют экспериментальные домашние задания исследовательского характера, занимаются проектной деятельностью, участвуют в турнирах юных физиков, в конференциях, занимательных вечерах, олимпиадах по физике.

Так, например, была выполнена учебно-исследовательская работа с учащимися ГУО «Лицей № 1 г. Минска» по исследованию сложного движения связанных тел на примере подвижного и неподвижного блоков.

В роли первоначальной проблемы выступила следующая задача: в устройстве, изображенном на рисунке 1, брусок массой  $m_1$  может скользить по горизонтальной поверхности без трения. Найти ускорения тел  $m_1$  и  $m_2$ . Нити невесомы и нерастяжимы, массами блоков пренебречь.

Особенность этой задачи заключается в том, что здесь имеется подвижный блок, а нить не является единой.

Учащиеся справились с решением этой задач. Приведем ее краткое решение.

$$m_1 a_1 = N + T_1 + m_1 + F_{\text{тр}}, \quad m_1 a_1 = T + m_2 g,$$

$$a_{\text{бл}}^{\text{ПОДВИЖН}} a_{\text{бл}} = T + 2T_1.$$

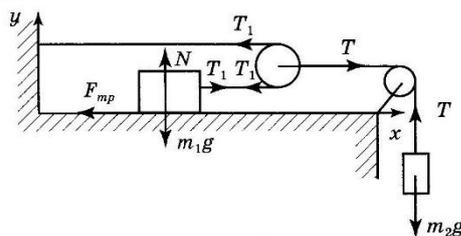


Рисунок 1 – Изображение сил, действующих в системе

Анализируя движение тел, пришли к выводу, что  $a_1 = 2a_2$ . Именно эту взаимность нужно доказать.  $m_1 a_1 = T_1 - F_{\text{тр}}$ ,  $m_2 a_2 = m_2 g - T_{\text{тр}}$ ,  $0 = T - 2T_1$   $m_{\text{бл}}^{\text{ПОДВИЖН}} = 0$ ,  $F_{\text{тр}} = \mu m_1 g$ ,

$$a_1 = 2g \frac{m_2 - 2\mu m_1}{m_2 + 4m_1}, \quad a_2 = 2g \frac{m_2}{m_2 + 4m_1}.$$

Вторая часть исследования заключается в том, чтобы выяснить: надо ли учитывать трение.

На базе комплекта из механики лаборатории «L-микро» была собрана экспериментальная установка по изучению движения тела под действием подвижного блока (рисунок 2).

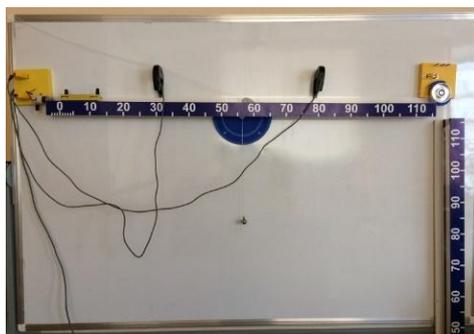


Рисунок 2 – Экспериментальная установка

Опыт проводится не менее трех раз с разными расстояниями между оптическими датчиками. Компьютерная программа обрабатывает электрический сигнал, переводя его в цифровой сигнал. После записи и обработки сигнала на экран выводится прямая, выражающая зависимость скорости тела от времени. Ускорение равно тангенсу угла наклона этой прямой. Ускорение первого тела равно  $a_1 = 1,96 \frac{M}{c^2}$ . Если для первого тела геометрия движения была горизонтальной, то для второго тела – вертикальной. Последнее обстоятельство было сопряжено с определенными трудностями, связанными с юстировкой расположения оптических датчиков.

Ускорение второго тела равно  $a_1 = 1 \frac{M}{c^2}$ . Видим, что по данным эксперимента взаимосвязь между ускорениями тел  $2a_2 = a_1$  подтверждает теоритическое решение задачи.

Остается открытым вопрос о роли силы трения: надо ее учитывать или нет? Рассчитаем ускорение первого тела без учета трения по формуле:  $a_1 = g \frac{2m_2}{m_2 + 4m_1} = 4,8 \frac{M}{c^2}$ .

Это ускорение не совпадает с опытным значением. Это значит, что в расчетах необходимо учитывать трение.

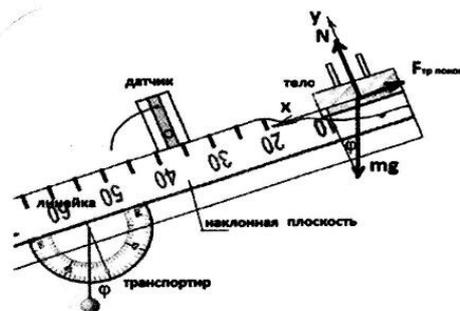


Рисунок 3 – Схема способа определения коэффициента трения

На рисунке 3 показан способ определения коэффициента трения. В нашем случае угол наклона плоскости, при котором тело начинало скользить, оказался равен  $\varphi = 20^\circ$ . Так как  $\mu = \operatorname{tg}\varphi \approx 0,36$ .

С учетом этого  $a_1 = 2,02 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

Полученный результат дает хорошее совпадение с экспериментальным результатом.

Таким образом, проведенное исследование дало следующие результаты: реальный эксперимент подтвердил взаимосвязь ускорений тел, участвующих в движении; в теоретическом расчете необходимо учитывать силу трения, действующую на первое тело. А значит, что идеальная модель не адекватна реальному эксперименту.

Учебно-исследовательская деятельность учащихся по физике при выполнении экспериментальных заданий создает оптимальные условия для овладения учащимися учебно-исследовательскими компетенциями: выдвигать гипотезы и строить физические и математические модели изучаемых явлений и процессов, планировать, проводить физический эксперимент и оценивать его результаты, применять полученные знания для объяснения физических явлений и свойств веществ; оценивать достоверность естественнонаучной информации.

### Литература

1. Наливайко, В.П. Об опыте организации исследовательской деятельности учащихся // Физика в школе. – 2009. – №1. – 115 с.

2. Оспенников, А.А. Цифровая учебно-методическая коллекция как средство сопровождения демонстрационного физического эксперимента / А. А. Оспенников, А. Е. Нельзин, Д. Л. Антонова // Фізика: проблеми викладання. – 2011. – № 4 – С. 8–14.

3. Физический эксперимент в системе учебно-исследовательской работы учащихся / И.М. Елисеева, А.А. Луцевич, О.Н. Белая // Физическое образование: проблемы и перспективы развития: материалы XI междунар. научно-методич. конф. – Москва, 2012. – Ч. 3. – С. 46–49.

**Л.С. Макарова** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

### МЕТОДИКА ПОУРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Поурочный план – документ, регламентирующий деятельность в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов начального общего, основного общего и среднего (полного)

общего образования на уроке:

– учителя – по организации процесса овладения учащимися универсальными учебными действиями в соответствии с учебной программой и формирования у них положительного отношения к ценностям, формируемым в соответствии с учебно-воспитательной программой школы.

– учащихся – по овладению универсальными учебными действиями по предмету в соответствии с учебной программой и формированию положительного отношения к ценностям, формируемым в соответствии с учебно-воспитательной программой школы.

Поурочный план составляется учителем в соответствии с учебной программой, календарно-тематическим планированием по предмету.

Основные задачи поурочного плана:

- определение места урока в изучаемой теме;
- определение триединой цели урока (ТЦУ);
- отбор содержания урока в соответствии с ТЦУ;
- группировка отработанного учебного материала и определение последовательности его изучения;
- отбор методов обучения и форм организации познавательной деятельности учащихся, направленных на создание условий для «освоения» и «усвоения» ими учебного материала[1].

1) Основными компонентами поурочного плана являются:

целевой: постановка целей учения перед учащимися, как на весь урок, так и на отдельные его этапы;

коммуникативный: определение уровня общения учителя с классом;

содержательный: набор материала для изучения, закрепления, повторения, самостоятельной работы и т. д.;

технологический: выбор форм, методов и приемов обучения;

контрольно-оценочный: использование оценки деятельности ученика на уроке для стимулирования его активности и развития познавательного интереса.

2) Определение триединой цели на каждый урок.

3) ТЦУ включает следующие аспекты:

образовательный: вооружение учащихся системой знаний, умений и навыков;

воспитательный: формирование у учащихся научного мировоззрения, положительного отношения к общечеловеческим ценностям, нравственных качеств личности;

развивающий: развитие у учащихся познавательного интереса, творческих способностей, речи, памяти, внимания, воображения.

4) Этапы планирования урока:

- определение типа урока, разработка его структуры;
- отбор оптимального содержания учебного материала урока, разделение его на ряд опорных знаний;
- выделение главного материала, который ученик должен понять и запомнить на уроке;
- подбор методов, технологий, средств, приемов обучения в соответствии с типом урока и каждым отдельным его этапом;
- выбор форм организации деятельности учащихся на уроке, форм организации и оптимального объема их самостоятельной работы;
- определение списка учеников, знания, умения которых будут проверяться;
- определение форм и объема домашнего задания;
- продумывание форм подведения итогов урока, рефлексии;
- оформление поурочного плана.

5) Соблюдение правил, обеспечивающих успешное проведение планируемого урока:

- учет индивидуальных, возрастных и психических особенностей учащихся класса, уровня их знаний, а также особенностей всего классного коллектива в целом;
- разнообразие учебных заданий, целью которых является: узнавание нового материала, воспроизведение, применение знаний в знакомой ситуации, применение знаний в незнакомой ситуации, творческий подход к знаниям;
- дифференциация учебных заданий в соответствии с принципом «от простого к сложному»;
- определение способов развития познавательного интереса учащихся, «изюминки» урока (интересный факт, эффективный опыт и т. п.) [1].

## **Литература**

1. Теория и методика обучения физике в школе. Общие вопросы / под ред. С.Е. Каменецкого и Н.С. Пурышевой. – М. : Академия, 2000. – 368 с.

**О.Н. Морозова, Л.В. Батюк**

(Харьковский национальный медицинский университет, Харьков)

## **КОНЦЕПЦИЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ БУДУЩИХ МЕДИЦИНСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В КОНТЕКСТЕ ПРЕПОДАВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

Появление электрокардиограммы в клинической практике привело к новой ветви развития методов медицинской диагностики, связанной с широким использованием электроники в медицинской отрасли. Это ознаменовало процесс активного внедрения электронного оборудования в сферу здравоохранения, что в последующем привело к использованию компьютеров и электроники в системе анализа биомедицинских сигналов. Современный уровень развития медицинской аппаратуры позволяет в достаточной мере использовать компьютерную технику в методике медицинской диагностики. Поскольку работа с биосигналами является неотъемлемой частью процесса диагностики и лечения различных заболеваний, вопрос их рассмотрения с помощью компьютерной диагностики является важной частью в подготовке будущих медицинских специалистов.

Целью данной работы является рассмотрение вопроса методов и задач, что решаются компьютерной техникой в процессе обработки и анализа биомедицинских сигналов.

Основные задачи, решаемые применением компьютеров и электронного оборудования в медицине:

- исследование электрической активности мозга, пищеварительной системы;
- магнитные поля мозга;
- сигналы вибрации и звуки от дыхательной, мышечно-скелетной и сердечно-сосудистой систем.

Порядок исследования физиологических систем сводится к разработке соответствующих датчиков и аппаратуры для преобразования изучаемых феноменов в электрический сигнал, поддающийся применению и обработке биосигналов. Последний шаг зачастую является не простой задачей для специалистов в области биологической науки, поскольку важная информация о сигнале может быть скрыта шумами и наводками.

Обработка медицинских сигналов направлена на решение таких задач:

- спектральный анализ, что позволяет понять частотные характеристики сигнала;
- фильтрация шумов или сетевой наводки;
- моделирование, что дает возможность представить свойства и параметризовать исследуемые процессы.

Одной из важных задач работы с биосигналом есть процесс разработки алгоритма, решение которой может сталкиваться с проблемой разнообразия и изменчивости признаков в медицинских биологических сигналах. Поскольку живые организмы генерируют большой поток сигналов, главной целью их обработки есть фильтрация и интересующих исследователя сигналов и уменьшение потока данных до необходимых параметров, что несут практическую ценность. Подразумевается, что эти параметры представляют ценность для специалиста и помогают ему решать медицинскую проблему.

Методы анализа биосигналов сегодня имеют практический характер. Благодаря развитию информационных технологий, сегодня широкое применение в медицине имеют такие методики, как функциональный анализ, on-line анализ и скрининговые исследования.

Анализ биологических сигналов сегодня достиг высокого уровня практического применения методов обработки и распознавания образов для эффективной диагностики, мониторинга наблюдения и реабилитации больных. Появилась возможность улучшить достоверность и точность диагностики, что в свою очередь, повышает уровень здравоохранения.

## **Литература**

1. Медицинская и биологическая физика : учебник для студентов / О.И.Антюфеева, Л.В. Батюк, М.А. Бондаренко [и др.]; под ред. профессора В.Г. Книгавко – Харьков : ХНМУ, 2013. – Кн. 2. – 190 с.
2. Медична і біологічна фізика : Навчальний посібник для студентів, які навчаються англійською мовою: в 2 ч. / В.Г. Книгавко, О.В. Зайцева, М.А. Бондаренко. – Харків : ХНМУ, 2015. – Лекції. – 556 с.
3. Medical information science: Textbook for 2<sup>nd</sup> year students of medical universities / edited by V.G.Knigavko. – Kharkiv: KhNMU, 2016 – 126 p.
4. Медицинская информатика : учебник для студентов 2 курса медицинских ВУЗов : в 2 ч. / под ред. В.Г. Книгавко – Харьков : ХНМУ, 2016. – Ч. 1. – 150 с.

**Т.И. Мушинская** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ НА УПРОЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СТОРОН МОТИВАЦИИ**

Какие же задания и упражнения может применять учитель для целенаправленного воздействия на мотивационную сферу учащихся? Важно начинать с укрепления чувства «открытости» к воздействиям, т. е. обучаемости в широком смысле этого слова. Здесь могут использоваться *упражнения на сотрудничество* с взрослым сначала на материале недоступной задачи, на поиск новых подходов к задаче со скрытыми возможностями. В заданиях на «обучаемость» можно поощрять, с одной стороны, готовность к сотрудничеству и помощи одного ученика другому; с другой стороны, появление собственной позиции, стремление самому решить задачу и найти свой путь ее решения.

*Ситуации выбора* весьма благоприятны, потому что они упрочивают умение школьника принять решение, умение взвесить все «за» и «против», сопоставить и соподчинить разные мотивы, особенно в ситуациях конфликтного выбора из разнонаправленных тенденций (например, сделать что-то для себя или для других, выполнить творческое или репродуктивное задание). Все это делает школьника субъектом учебного труда. Ситуации выбора желательно применять, многократно варьируя их и используя часто встречающиеся в жизни ситуации реального нравственного выбора.

*Упражнения на целеполагание* школьников в учении, прежде всего на реалистичность в целеполагании. Здесь надо укреплять адекватные самооценку и уровень притязаний; при этом учить школьников различать свои способности в целом и усилия в данном задании, а также оценивать психологическую цену для себя данной работы (затрату времени и сил) и тем определять реалистичность цели, своего уровня притязаний.

В *упражнениях на закрепление адекватной самооценки* важно учить школьника психологически грамотному объяснению своих успехов и неудач, обучать приемам снятия необоснованной тревожности по поводу состояния своих знаний и умений, учить активизировать все свои возможности. Становлению адекватной самооценки и уровня притязаний способствуют упражнения на решение задач максимальной для себя трудности, переживание неудачи и самоанализ не только ее внешних причин в виде трудности задачи, но и внутренних причин — своих способностей в целом и усилий при решении данной задачи. Эти

упражнения на развитие самооценки могут приводить к тому, что ученик изменит свое внутреннее отношение как к уже имеющемуся уровню возможностей, так и к перспективе их развития.

Особым видом работы по формированию у учащихся адекватного уровня притязаний и самооценки является обдуманное поощрение их учителем. Похвала учителя стимулирует ученика лишь в том случае, когда задание ощущается учеником как достаточно трудное, и в поощрении учителя ученик «прочитывает» высокую оценку своих возможностей и способностей.

Для мотивации школьника более важной, чем отметка учителя, оказывается скрытая в отметке информация о его возможностях. Оценка учителя повышает мотивацию, если она относится не к способностям ученика в целом, а к тем усилиям, которые прилагает ученик при выполнении задания. Другим правилом выставления отметки учителем для поощрения мотивации является такой прием, когда он сравнивает успехи ученика не с успехами других учеников, а с его прежними результатами. При этом слабый ученик будет чаще переживать чувство успеха, а сильный будет сталкиваться с необходимым для него переживанием неудачи. Таким образом, похвала и оценка учителя тогда будут стимулировать положительные мотивации, если они будут учитывать реальный вклад ученика в работу, психологическую цену этой работы для данного школьника.

*Задания на устойчивость целей* (в том числе в условиях помех), на их действенность, настойчивость и упорство в их реализации. Так, удержанию цели способствуют задания на возобновление учебной деятельности после помех и препятствий. Укреплению настойчивости школьника при достижении цели способствуют упражнения на решение сверхтрудных задач без обратной связи в ходе решения. Упрочению внутренней активности и устойчивости цели способствуют упражнения на поведение в необязательных ситуациях и в ситуациях с «психологическим насыщением». Возникновению привычки преодоления препятствий способствуют задания на многократное повторение различных препятствий.

Активность и гибкость целеполагания стимулируют упражнения на постановку близких и далеких целей, немедленное и отсроченное их выполнение.

Оправдывают себя упражнения на осознанный анализ учеником своих мотивов и целей, их сопоставление и соподчинение («что для меня важнее»), что в целом делает ученика субъектом своей мотивационной сферы. Нам приходилось проводить со школьниками-подростками упражнения по анализу «мотивационного портрета»: для кого из наших общих знакомых характерно такое-то сочетание мотивов

и целей? Если мотивы остаются теми же, а цели будут другими, изменит ли это личность человека? Чтобы упражнения на мотивы и цели могли использоваться школьниками в реальных условиях жизни, желательно, чтобы они были связаны с учебным материалом или с ситуациями жизни коллектива.

Эмоциональный тренинг может состоять в *упражнениях по снятию тревожности и напряженности*, в укреплении положительных эмоций вследствие реалистичности уровней притязаний, в умении планировать свою деятельность и предвидеть ее трудности, в упражнениях на эмоциональную устойчивость в неблагоприятных ситуациях.

**И.С. Нельп** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ**

Как известно из дидактических требований, моделирование является общенаучным методом изучения законов окружающего мира, свойств объектов и систем различного характера.

Как показывает опыт, активное участие в моделировании вырабатывает более глубокое понимание сути законов природы. Развитие же технологий компьютерного моделирования предоставляет в педагогической деятельности новые возможности, позволяющие с максимальной степенью наглядности и оперативности получать и представлять информацию о свойствах объектов и характере протекающих в них процессов, существенно расширяя круг измеряемых явлений. Построение моделей, проведение с ними компьютерных экспериментов способствует углублению и расширению знаний в конкретной предметной области, развитию познавательной активности и творчества учащихся.

Использование современных информационных технологий моделирования, с одной стороны, обогащает информатику как учебную дисциплину содержательными задачами, а с другой-конкретные учебные предметы получают мощное средство решения собственных задач. При этом имеется возможность эффективной реализации межпредметных связей и интеграции образования в целом, становится очевидной реальная польза от информатики и громадная область приложения полученных при ее изучении знаний.

В настоящее время известно достаточно много компьютерных программно-методических комплексов, которые построены по принципу обучающих систем. В них обычно ставится цель в

определенной степени заменить традиционные способы и источники получения знаний. При этом компьютер используется как техническое средство обучения, которое в определенном смысле повторяет учебники, справочники, традиционные уроки, аудиозаписи, видеофильмы и т. д. Конечно, и в этом случае приобретаются новые возможности и достигается определенный положительный эффект, однако такие методики иногда лишь количественными показателями отличаются от методов, применяемых без использования компьютера. Вместе с тем, представление информации на экране монитора, например, в виде простого текста, создает проблемы восприятия, повышает утомляемость зрения учащихся и существенно снижает влияние положительных факторов применения компьютера.

Наибольший эффект от внедрения компьютерных информационных технологий в обучении может быть получен, если реализуются качественно новые возможности, недоступные в обычных условиях. Например, применение технологий трехмерного моделирования позволяет учащимся провести необходимые для решения задач геометрические построения и наглядно представить изучаемый объект. После этого хода решения задачи становится практически очевидным, так как с моделью объекта можно производить различные манипуляции, рассматривать ее в различных положениях, что принципиально невозможно при построении чертежа на обычной школьной доске или тетради [1].

Долгое время достаточно заметным препятствием в этом направлении была необходимость создания таких моделей средствами какой-либо системы программирования. В этом случае собственно моделирование отодвигалось на второй план и становилось практически недоступным в рамках учебного процесса, так как в совершенстве владеть системами программирования (в мере, достаточной для создания готового программного продукта) может программист, но не учащийся-пользователь. Компьютерное же моделирование на основе специализированных инструментальных программных комплексов предоставляет возможность построить процесс обучения, который будет принципиально отличаться на обучающих систем тем, что ученик вовлекается в активную учебно-познавательную и исследовательскую деятельность. При этом имеется возможность не только проводить компьютерный эксперимент на основе готовых моделей, но и самостоятельно строить различные модели изучаемых явлений. Следовательно, инструментальные программные комплексы моделирования, представляющие возможность конструирования моделей и наглядного представления результатов с минимальной потребностью в программировании, имеют особую ценность. Эффект применения компьютера в учебном процессе в этом случае существенно возрастает.

Очевидно, что для решения вопроса о применении вычислительной техники в каждом конкретном случае следует ответить на ряд вопросов: можно ли тоже самое реализовать другими доступными средствами; какие принципиально новые качественные возможности дает персональный компьютер как средство обучения; какой положительный эффект при этом будет достигнут.

Главная особенность применения моделирования в учебном процессе состоит в использовании компьютера как средства познания. Основой изучения процессов и явлений при этом становятся имитация, активный компьютерный эксперимент и анализ его результатов, построение собственно моделей и анализ их свойств. Таким образом, обучение приобретает активную, познавательную, творческую форму. Традиционные же методические решения (даже с использованием вычислительной техники) не дают таких широких возможностей.

Целью современного образования является развитие творческих начал личности. Мало сообщить на уроке ученику необходимую информацию. Не менее (а скорее даже более) важно научить его учиться, самостоятельно находить источники нужной информации, формулировать проблемы и задачи, самостоятельно искать их решения, анализировать и обобщать их, т.е. применять полученные знания на практике.

Применение информационных технологий в сфере образования способно обеспечить индивидуализацию образования, когда каждый обучаемый может проходить свой собственный путь развития. Обычными средствами эта цель почти недостижима, так как требует нереального количества ресурсов. Использование же инструментальных систем моделирования помогает решить эту задачу. Общение учащегося с компьютером обеспечивает развитие согласно его наклонностям и потребностям, дает навыки работы с формализованным знанием и практику самостоятельного получения знаний.

Применение программных средств моделирования возможна в различных формах; это может быть демонстрация, достижение требуемой реакции объекта за счет выбора необходимого воздействия, изучения свойств объекта в режиме эксперимента и т. д.

Главным результатом обучения в этом случае будет знание, полученное самим учащимся активным творческим путем. Такое знание исключает пассивное восприятие и тривиальное заучивание, так как компьютерное моделирование является и инструментом познания, и инструментом обучения.

Таким образом, моделирование, в том числе компьютерное, составляет неотъемлемую часть не только современной науки, но и образования, где по важности оно приобретает первостепенное значение [2].

## Литература

1. Компьютеризация системы образования / Л.Э. Венцовский, В.Н. Келбакиани. – М., 1990.
2. Воронин, Ю.А. Компьютеризированные технологии в процессе подготовки учителя // Педагогика. – 2003. – С. 53–59.

**Д.С. Никитин** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

### ПРИМЕНЕНИЕ ИКТ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

Использование информационных и коммуникативных технологий (ИКТ) в учебном процессе является актуальной проблемой современного школьного образования. Использование ИКТ в учебном процессе предполагает, что учитель умеет:

- обрабатывать текстовую, цифровую, графическую и звуковую информацию при помощи соответствующих редакторов для подготовки дидактических материалов, чтобы работать с ними на уроке;
- создавать слайды по данному учебному материалу, используя редактор презентации MS PowerPoint, продемонстрировать презентацию на уроке;
- использовать имеющиеся готовые программные продукты по своей дисциплине;
- организовать работу с электронным учебником на уроке;
- применять учебные программные средства;
- осуществлять поиск необходимой информации в Интернете в процессе подготовки к урокам и внеклассным мероприятиям;
- организовывать работу с учащимися по поиску необходимой информации в Интернете непосредственно на уроке;
- разрабатывать тесты, используя готовые программы – оболочки или самостоятельно, и проводить компьютерное тестирование.

Преимущества использования компьютерных технологий:

- индивидуализация обучения;
- интенсификация самостоятельной работы учащихся;
- повышение познавательной активности и мотивации;
- объем выполненных заданий больше, чем на обычном уроке;
- возможность выбора уровня трудности задания;
- возможность проявить творческие способности.

Проблемы:

- недостаток качественного программного обеспечения;
- недостаточная компьютерная грамотность учителя;
- нет компьютера в домашнем пользовании;
- отсутствие демонстрационного центра.

Использование ИКТ дает положительные результаты. При этом важна роль учителя как наставника в организации эффективной учебной деятельности, направленной на формирование у учащихся знаний и способности применять их на практике.

К сожалению, современные школьники считают уроки физики непонятными, скучными, а потому ненужными. Учащиеся часто сталкиваются с такими явлениями, механизм протекания которых наглядно нельзя увидеть, а следовательно, необходимо абстрактно мыслить. Одним из таких сложных вопросов при изучении физики в 10-х классах, является понимание понятия «Изопроцессы». Важно сделать так, чтобы процесс обучения физики не превращался для учеников в скучное однообразное занятие, а стал для каждого познавательным и интересным.

Необходимо отметить, что наличие, у учащихся интереса к предмету относится к тому ряду педагогических явлений, которые в большей степени определяются деятельностью учителя. А интерес к предмету является предпосылкой для появления его разновидности - познавательного интереса. Ведь именно наличие познавательных интересов у школьников способствует их активности на уроках, росту качества знаний, что в совокупности и вызывает повышение эффективности процесса обучения.

В настоящее время, можно повысить эффективность обучения за счет использования компьютеров на уроках физики. Компьютерные модели легко вписываются в традиционный урок, позволяя учителю продемонстрировать почти «живьём» многие физические эффекты, которые обычно мучительно и долго объясняются «на пальцах». Кроме того, компьютерные модели позволяют учителю организовывать новые, нетрадиционные виды учебной деятельности.

Компьютерная поддержка урока может быть разнообразной:

– Видео – и анимационные фрагменты – демонстрации физических явлений, классических опытов, технических приложений (их источниками могут служить всевозможные компьютерные программы по физике, сайты Internet).

– Материалы для тестового контроля (итогового, рубежного, диагностического).

– Комплекты задач для самостоятельной и групповой работы, с образцами решений и возможностью проверки результатов в компьютерном эксперименте.

- Проведение компьютерных лабораторных работ.
- Использование в лабораторных работах встроенных математических программ вычисления результатов, построения графиков, расчета погрешностей.
- Создание физических моделей технических устройств и процессов в специальных средах, развивающих интуитивное мышление.
- Наборы нестандартных, творческих заданий креативного типа, требующих поиск и преобразование информации.
- Анимационные рисунки, логические схемы, интерактивные таблицы и т. п., используемые в ходе объяснения, закрепления и систематизации изучаемого материала.

**В.С. Петренко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ УРОКОВ**

Интеграция предметов – это организация предметной деятельности, предполагающая использование системного подхода, ориентированного на формирование системного типа мышления. Интегрированный урок – это урок, который проводится с целью раскрытия общих закономерностей, законов, идей, теорий, отображенных в разных науках и соответствующих им учебных предметах. Его проведение обеспечивает формирование у учеников целостной системы представлений о диалектико-материалистических законах познания окружающего мира в их взаимосвязи и взаимообусловленности; оказывает содействие углублению и расширению знаний учеников, диапазона их практического применения к процессам и явлениям окружающей действительности. Интегрированные уроки помогают учащимся осознать возможности применения приобретенных знаний в разных (смежных) областях науки и сферах деятельности, синтеза фактов, явлений, процессов с целью выдвижения новых идей, разработки гипотез, позволяют организовать понимание. Этому способствует свойственная интегрированным урокам деятельность учителя и учеников. На интегрированных уроках, как ни на каких других, происходит формирование умений анализировать, синтезировать, обобщать, умение видеть проблему, намечать пути решения проблемы и др. Именно на этих уроках в большей мере происходит формирование личности творческой, самостоятельной, ответственной, толерантной.

Установление межпредметных связей способствует более глубокому усвоению знаний, формированию научных понятий и законов, совершенствованию учебно-воспитательного процесса. Одним из путей реализации межпредметных связей являются интегрированные уроки. Такие уроки устраняют дублирование в изучении материала, создают благоприятные условия для формирования общеучебных умений и навыков учащихся. Интеграция через уроки предметов естественно-научного цикла способствует формированию научного мировоззрения учащихся, единству материального мира, взаимосвязи явлений в природе. Интегрированные уроки также способствуют повышению научного уровня обучения, систематизации знаний, развитию логического мышления и творческих способностей учащихся. Структура интегрированного урока зависит от содержания материала и от формы организации урока. Важным фактором для правильного планирования интегрированных уроков являются взаимные контакты учителей-предметников, обмен опытом и коллективное решение общих для них вопросов. Успех и эффективность интегрированного урока обеспечивается тщательной предварительной подготовкой к нему учителей и учащихся.

**М.Х. Пенджиев** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЭКСКУРСИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Говоря о методике использования учебных экскурсий в преподавании физики, следует учесть необходимость предварительной подготовки к восприятию материала этих экскурсий, например проведение вводной лекции на уроке перед экскурсией и индивидуальные задания для учеников по теме экскурсии. Для того, чтобы ребята записывали во время экскурсии наиболее интересные моменты, можно поставить перед ними заранее ряд вопросов, ответы на которые они должны получить во время экскурсии.

По итогам тематических экскурсий можно создать экспозицию, которую затем можно использовать многократно на соответствующих этой теме уроках.

При подведении итогов экскурсий заслушиваются сообщения учащихся по результатам заданий, которые они выполняли во время и после экскурсий, отзывы о них. Ниже приводятся темы возможных заданий:

1. Опишите, что из увиденного произвело на Вас наиболее сильное впечатление?

2. Подберите материалы об истории создания посещённого во время экскурсии музея (предприятия, организации), о людях стоящих у истоков данного направления в науке и др.[1].

Значение экскурсий трудно переоценить. Они дают ни с чем несравнимую возможность наблюдать применение знаний, полученных на уроках физики, в жизни, в науке, в технике, в производстве, почувствовать, где и как можно на практике использовать важнейшие физические закономерности. Выяснить, как поняли их учащиеся и умеют ли они использовать знание этих закономерностей для объяснения явлений природы и различных процессов в человеческой деятельности.

Экскурсии имеют огромное значение для учащихся, так как дают им уникальную возможность увидеть применения школьных знаний в различных областях профессиональной деятельности, выработать своё представление о профессиях, помочь в выборе будущего жизненного пути [2].

### Литература

1. Сообщество взаимопомощи учителей [Электронный ресурс] // URL: <http://pedsovet.su> (дата обращения: 21.03.2017).

2. Щукина, Г.И. Формирование познавательных процессов учащихся в процессе обучения / Г.И. Щукина. – М. : Просвещение, 1962. – 276 с.

**Ю.В. Потапенко** (УО «БГПУ им. М. Танка», Минск)  
Науч.рук. **О.Н. Белая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ**

Изучение физики как общеобразовательного предмета в школе имеет большое значение в подготовке учащихся к жизни в современном мире. Но зачастую учащиеся сталкиваются с проблемой отсутствия интереса к точным наукам, в том числе и к физике, что вызвано «надуманной уверенностью» в сложности этого предмета. Для того чтобы решить эту проблему, необходимо повышать познавательную активность учащихся. Познавательная активность означает интеллектуально-эмоциональный отклик на процесс познания,

стремление учащихся к учению, к выполнению индивидуальных и общих заданий, интерес к деятельности преподавателя и других учащихся. В связи с этим велика роль наглядных средств обучения. Одним из них является использование в образовательном процессе структурно-логических схем.

Применение структурно-логических схем рассмотрено на примере ключевой учебной задачи «Условия плавания тел». Данную методику целесообразно применять на учебных занятиях по физике в 7 классе при изучении темы «Давление».

На качественный вопрос «Будет ли одно и то же бревно плавать и в воде и в керосине?» учащиеся обычно отвечают отрицательно, аргументируя это тем, что плотность воды и плотности керосина разные и поэтому тело будет плавать либо в воде, либо в керосине. Это говорит о том, что они не поняли тему «Условия плавания тел». [1]

Использование в данной теме структурно-логической схемы (рисунок 1) позволит показать всю тему целиком и пояснить все условия, когда тело утонет, а когда нет.

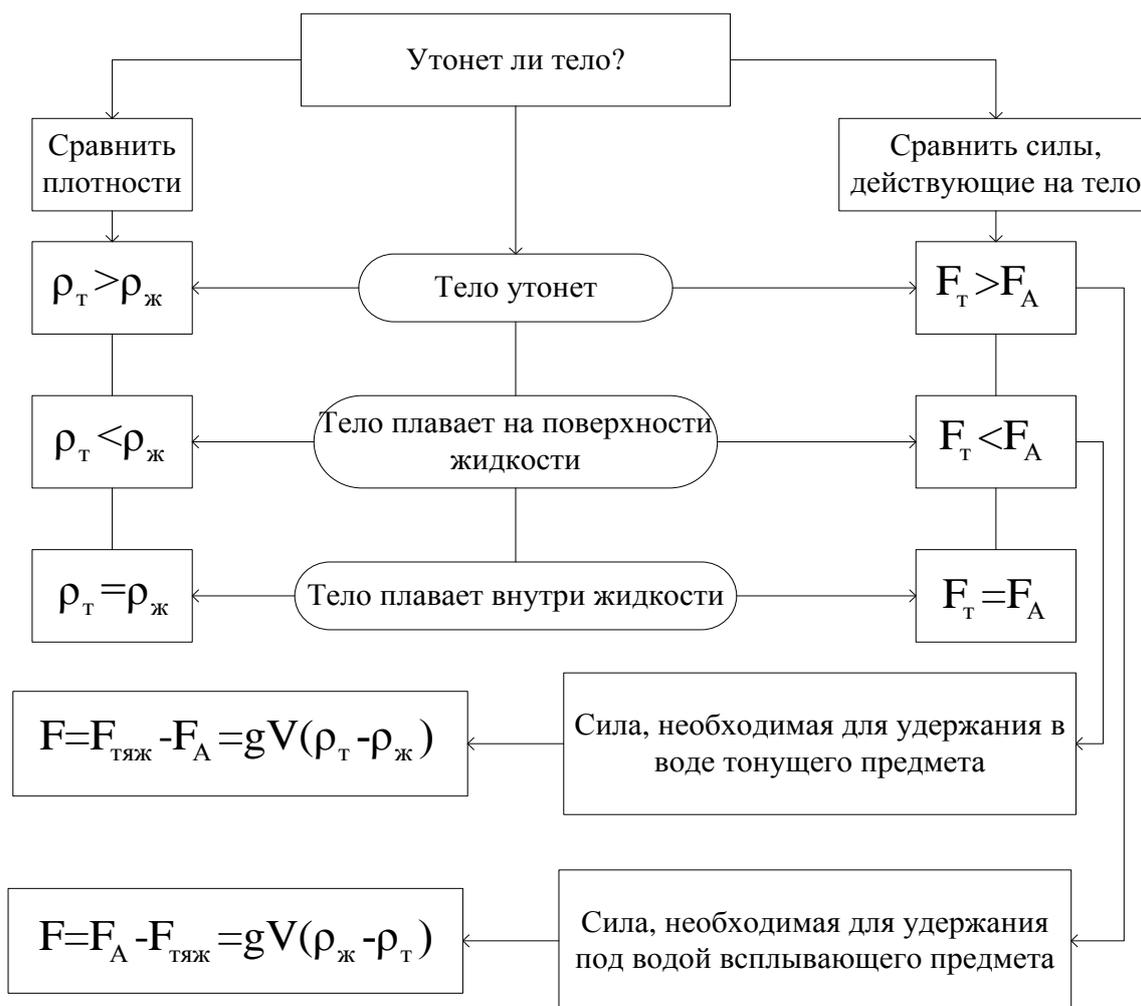


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема ключевой ситуации «Условие плавания тел»

Так, например, на вопрос «Утонет ли тело?» согласно схеме можно дать 2 ответа: утонет и будет плавать. Причем плавать тело может внутри и на поверхности жидкости. Если тело плавает, то действующая на него выталкивающая сила всегда равна по модулю действующей на это же тело силе тяжести независимо от того, какие это жидкости. Ведь тело плавает именно потому, что сила, которая выталкивает тело, равна силе, которое заставляет тело тонуть, то есть силе тяжести.

Ответ на вопрос «Утонет ли тело?» можно дать, сравнивая выталкивающую силу с силой тяжести, действующую на тело, и сравнивая плотности тела и жидкости, в котором плавает тело. Т.е. если плотность бревна равна плотности керосина, то оно будет плавать внутри керосина, а, если положить это же бревно в воду, то оно будет плавать на поверхности воды, так как плотность бревна будет меньше плотности воды.

Полезным будет вывести вместе с учащимися условия плавания тел (когда тело плавает на поверхности, а когда внутри жидкости). Это даст им ключ к решению задач по этой теме.

Тело плавает, а значит  $F_A = F_T$ , где выталкивающая сила  $F_A = g\rho_{ж}V_1$ ,  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости,  $V_1$  – объем погруженной в жидкость части тела. А сила тяжести  $F_T = gm = g\rho_t V$ , где  $\rho_t$  – плотность тела,  $V$  – объем всего тела. Отсюда получаем  $\frac{V_1}{V} = \frac{\rho_t}{\rho_{ж}}$ : чем меньше отношение плотности плавающего тела к плотности жидкости, тем меньшая часть объема погружена в жидкость. Если эти плотности равны, то все тело погружено в жидкость, т. е. тело плавает внутри жидкости. Это соотношение поможет учащимся решить несколько задач, в которых нужно будет найти, какая часть погружена в жидкость или найти плотность жидкости, зная, какая часть тела погружен в нее.

Часто в задачах этой темы требуется найти, какую силу нужно приложить, чтобы не допустить опускание на дно или наоборот, чтобы потопить тело с поверхности жидкости. Решать такие задачи поначалу поможет структурно-логическая схема, а потом учащийся уже сможет делать это и без нее.

Задача 1. Поплавок изготовлен из вещества, плотность которого в два раза меньше, чем плотность воды. Как будет располагаться поплавок в воде?[2]

Согласно схеме, так как плотность тела меньше плотности жидкости, в которое он помещен, следовательно, поплавок будет плавать на поверхности воды. Осталось ответить на вопрос, в каком соотношении будут объем погруженной в жидкость части тела ко всему объему, то есть  $\frac{V_1}{V} = ?$ .

Тело плавает, значит, выталкивающая сила равна по модулю силе тяжести  $F_A = F_T$ . Подставляя формулу каждой из этих сил:  $F_A = g\rho_{\text{ж}}V_1$  и  $F_T = gm = g\rho_T V$  получаем соотношение:  $\frac{V_1}{V} = \frac{\rho_T}{\rho_{\text{ж}}}$ . Учитывая, что плотность воды в 2 раза больше плотности тела, то  $\frac{V_1}{V} = \frac{1}{2}$ . Делаем вывод, поплавок плавает на поверхности жидкости, погружившись в нее наполовину.

Задача 2. Однородное тело объемом  $V = 0,4\text{м}^3$  плавает, будучи частично погруженным в воду. Определите модуль выталкивающей силы, если над поверхностью воды выступает  $V_1 = 0,1\text{м}^3$  этого тела. Определите плотность вещества, из которого изготовлено тело. [2]

Так как тело плавает, то выталкивающая сила равна по модулю силе тяжести  $F_A = F_T$ . Подставляя формулу каждой из этих сил:  $F_A = g\rho_{\text{ж}}V_2$ , где  $V_2 = V - V_1$  – объем погруженной части тела в воду и  $F_T = gm = g\rho_T V$  получаем:  $\rho_{\text{ж}}V_2 = \rho_T V$ , тогда плотность тела  $\rho_T = \frac{\rho_{\text{ж}}V_2}{V} = \frac{\rho_{\text{ж}}(V - V_1)}{V}$ . А выталкивающая сила равна  $F_A = g\rho_{\text{ж}}(V - V_1)$ . Подставляя значения, получаем  $\rho_T = 750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а  $F_A = 3000\text{Н} = 3\text{кН}$ .

### Литература

1. Генденштейн, Л.Э. Решение ключевых задач по физике для основной школы / Л.Э. Генденштейн, Л.А. Кирик, И.М. Гельфраг. – М. : ИЛЕКСА, 2013. – 208 с.
2. Слесарь, И.Э. Физика 6–9 классы: дидактические материалы / И.Э. Слесарь, В.Н. Поддубский. – Минск : Аверсэв, 2015. – 160 с.

**Д.Д. Пустаханов** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
 Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

### ДИДАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ УЧАЩИХСЯ

Любая деятельность человека (не только познавательная) складывается из отдельных действий, а сами действия можно разложить на отдельные операции. Учащийся в процессе познавательной деятельности совершает отдельные действия: слушает объяснения учителя, читает учебник и дополнительную литературу, решает задачи, выполняет экспериментальные задания и т. д. Каждое из указанных

действий можно разложить на отдельные операции, в качестве которых выступают основные психические процессы: ощущение, восприятие, представление, мышление, память, воображение и т. д.

Среди всех познавательных психических процессов ведущим является мышление. Действительно, мышление сопутствует всем другим познавательным процессам и часто определяет характер и качество. Очевидна, например, связь между мышлением и памятью. Память тем полнее и лучше удерживает существенные свойства предметов и связи между ними, чем глубже они осмысленны в процессе изучения. Но мышление влияет и на все другие познавательные процессы. Например, характерной чертой восприятия является его осмысленность. «Восприятие у человека теснейшим образом связано с мышлением, с пониманием сущности предмета. Сознательно воспринять предмет – это значит мысленно назвать его, т.е. отнести воспринятый предмет к определенной группе, классу предметов, обобщить его в слове. Даже при виде незнакомого предмета мы пытаемся уловить в нем сходство со знакомыми нам объектами, отнести к некоторой категории».

Следовательно, активизировать познавательную деятельность учащихся в процессе обучения – это значит, прежде всего, активизировать их мышление. Важность этой задачи неоднократно подчеркивал С.Л. Рубинштейн: «Важнейшим делом (обучения) является воспитание мышления, способности не только владеть фиксированными операциями по заранее заданным признакам, но и вскрывать новые связи, открывать новые приемы, приходить к решению новых задач».

Развивающее обучение в широком смысле слова означает совокупное формирование умственных, волевых и эмоциональных качеств личности, способствующих ее самообразованию, тесно связанному с совершенствованием процесса мышления: только самостоятельно осмысляя учебную или жизненную задачу, школьник вырабатывает свой собственный способ умственной деятельности, находит индивидуальный стиль работы, закрепляет навыки пользования мыслительными операциями.

**М.Н. Рытикова** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **РОЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКЕ УЧАЩИХСЯ**

Компьютеры и информационно-коммуникационные технологии являются мощным инструментом повышения эффективности труда

практически в любой сфере деятельности человека, практически на любом предприятии, в том числе и машиностроительном. Интерес к компьютерным технологиям, как со стороны отдельного специалиста, так и всей отрасли в целом позволяет этой отрасли очень быстро развиваться и совершенствоваться.

Сфера использования аппаратно-программных средств компьютеров в настоящее время настолько широка, что нет такой области, где их применение было бы нецелесообразным. Компьютеры используются в автоматизированных системах контроля за различными технологическими процессами. Инженер имеет возможность осуществлять разработку чертежей и трехмерных моделей в САД-системах, проводить различные трудоемкие расчёты с использованием САЕ-систем. Таким образом, применение персональных компьютеров способствует повышению производительности труда и снижению стоимости производства.

Расширяющийся процесс внедрения на предприятия современных информационных технологий вызывает острую потребность в специалистах, умеющих для решения профессиональных задач использовать то или иное программное обеспечение. Минимальным требованием к знанию компьютерных программ является владение офисным пакетом, например, MS OfficeSystem. Программы этого пакета ориентированы на широкий круг специалистов, так как ни одна серьезная разработка в любой отрасли производства и науки не обходится без ведения документации, расчетов и презентаций. Это подготовка научно-технических, экономических и финансовых документов, содержащих текст и формулы, записанные в привычной для специалистов форме; вычисления по формулам; статистические расчеты и анализ данных; построение графиков и диаграмм; создание рисунков и др.

Особого внимания заслуживает табличный процессор MS Excel, с помощью которого решаются многие задачи моделирования, в том числе задачи оптимизации. Компьютерное моделирование, возникшее как одно из направлений математического моделирования с развитием информационных компьютерных технологий стало самостоятельной и важной областью применения компьютеров. В настоящее время компьютерное моделирование в научных и практических исследованиях является одним из основных методов познания. Без компьютерного моделирования сейчас невозможно решение крупных производственных задач.

**Х.Б. Ровшанов** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ЭКСКУРСИЯ ПО ФИЗИКЕ КАК МЕТОД ОБУЧЕНИЯ**

Учебные экскурсии – это форма организации обучения, которая позволяет проводить наблюдения, а также изучение различных предметов, явлений и процессов в естественных условиях. Предусмотренные учебными программами экскурсии являются обязательными и проводятся в рамках учебного времени, отводимого на изучение того или иного предмета. Как и другие организационные формы обучения, экскурсии реализуют дидактические принципы (научности, связи обучения с жизнью, наглядности и др.), способствуют рассмотрению изучаемых явлений в их взаимосвязи и взаимозависимости, формированию познавательных интересов, коллективистических отношений, эстетических и других качеств личности, подготовке учащихся к практической деятельности и профессиональной ориентации.

В современной программе для школы на экскурсии отведены соответствующие часы, и в методической записке подчеркивается настоятельная необходимость их организации. Действительно, цели преподавания физики будут достигнуты только при том условии, если при изучении систематического курса физики учащиеся получают представление о роли и значении техники в современной жизни и, главное, отчетливо осознают значение физики для техники. Поэтому в курс вводится сравнительно обильное количество иллюстративного материала из области техники, преподносимого учащимся в различных формах. Однако, представление о технических сооружениях, установках и машинах, получаемые учащимися при помощи наглядных пособий, ни в коей мере не могут идти в сравнении с представлениями, образующимися при непосредственном осмотре. Экскурсии дополняют обучение в классе, давая возможность учащимся увидеть некоторые технические сооружения и машины в их действительном виде и воочию убедиться в использовании законов физики в технике. Важно отметить также, что как при подготовке к экскурсии, так и в результате ее возникает целый ряд вопросов, для разъяснения которых потребуются расширение и углубление знаний по физике, что должно быть признано как большой положительный фактор. Большое значение имеют также экскурсии в музеи, где учащиеся увидят модели машин. Кроме экскурсий на технические темы, возникает необходимость ознакомить учащихся с наблюдением физических явлений в природе, для чего могут быть организованы соответствующие прогулки.

Если раньше учебные экскурсии носили в основном политехнический и профориентационный характер, то сегодня их целевой спектр значительно расширился. В частности, экскурсии по физике в условиях современной школы могут носить культурологическую, эстетическую и нравственно-этическую направленность.

**И.В. Сулковская** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Урок «объяснение нового материала» благодаря использованию информационных технологий на уроке можно показывать фрагменты видеофильмов, редкие фотографии, графики, формулы, анимацию изучаемых процессов и явлений, работу технических устройств и экспериментальных установок, послушать музыку и речь, обратиться к интерактивным лекциям.

Существует несколько вариантов использования реальных физических экспериментов и показа компьютерных экспериментов, интерактивных моделей и видеофрагментов. Именно с их помощью можно показать такие явления и эксперименты, которые недоступны непосредственному наблюдению, например, эволюцию звезд, ядерные превращения, квантование электронных орбит и др. С помощью моделей из виртуальной лаборатории, созданной в проектной среде «Живая физика» можно смоделировать процессы, происходящие в циклотроне, масс-спектрометре, показать движение электронов в магнитном поле. Демонстрация опытов, микропроцессов, которые нельзя проделать в школе (видеофильм «Жидкий азот», «Подводная лодка», «Ферромагнетики» и др.) возможна без показа реальных экспериментов.

Лабораторные работы. Для проведения такого урока необходимо, прежде всего, разработать соответствующие раздаточные материалы, то есть бланки лабораторных работ. При наличии мобильного компьютерного класса работы можно загрузить в ноутбуки. Задания следует расположить по мере возрастания их сложности.

Появляется возможность выполнить работу в виртуальной лаборатории путем выбора различных начальных параметров.

Использование на уроке мобильного компьютерного класса позволяет существенно сократить время выполнения и проверки

лабораторной работы. Работа заносится в ноутбуки, тем самым, освобождая учащихся от излишней работы. Ребята заносят результаты измерений в готовые таблицы, производя подсчет сразу в компьютере. В оставшееся время можно поработать над задачами, условия которых занесены в компьютер, и затем произвести проверку и сравнить свое решение с правильным решением, предложенным специальной компьютерной программой. При планировании уроков необходимо учитывать специфику технических условий, в которых будет проходить урок, т.е. сколько компьютеров в классе: один или это полноценный компьютерный класс? Именно от этого и будет зависеть, ограничиться ли показом видеофрагмента и интерактивного эксперимента для всего класса через видеопроектор, или имеется возможность полноценной работы с тестирующим комплексом, лабораторными компьютерными работами, виртуальными моделирующими средами.

Учебный диск «Физика, 7–9 классы» может быть использован в учебном процессе следующим образом: самостоятельная подготовка учащихся (изучение конспектов, просмотр видеозаписей, проведение практических работ); демонстрация с помощью мультимедиа–проектора на экране (показ видеозаписей, интерактивных моделей и анимации); классные лабораторные работы (с помощью мобильного компьютерного класса); проведение электронной аттестации учащихся; подготовка материалов для проведения контрольной работы; выполнение учащимися проектов под руководством учителя или самостоятельно.

Урок закрепления знаний. Можно предложить учащимся для самостоятельного решения в классе или дома задачи, правильность решения которых они смогут проверить, поставив компьютерные эксперименты.

Урок обобщения и систематизации знаний — исследование. Учащимся предлагается на этапе обобщения и систематизации нового учебного самостоятельно провести небольшое исследование, используя компьютерную модель или виртуальную лабораторию, и получить необходимые результаты. Компьютерные модели и виртуальные лаборатории позволяют провести такое исследование за считанные минуты. Конечно, учитель формулирует темы исследований, а также помогает учащимся на этапах и проведения экспериментов. Задания творческого и исследовательского характера существенно повышают заинтересованность учащихся в изучении физики и являются дополнительным мотивирующим фактором. По указанной причине такие уроки особенно эффективны, так как ученики получают знания в процессе самостоятельной творческой работы. Эти знания необходимы им для получения конкретного, видимого на экране компьютера,

результата. Учитель в таких случаях является лишь помощником в творческом процессе формирования знаний.

Использование образовательных сайтов в урочном процессе и проектной деятельности. При использовании информационных технологий при проектной деятельности значительно возрастает не только скорость разработки проекта, но и, что более важно, возрастает качество готового проекта. Проект, разработанный при помощи информационных технологий приобретает новую сущность – становится мультимедийным. При этом, работая над проектом, как ученики, так и учителя овладевают новыми, ранее не изученными навыками, которые сегодня крайне востребованы [1]

### **Литература**

1. Фестиваль педагогических идей «Открытый урок» [Электронный ресурс] // URL: <http://festival.lseptember.ru/articles/410786/> (дата обращения: 07.11.2016).

**Ю.Х. Таганов** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

### **ВИДЫ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ**

Исходя из основных целей методике обучения, необходимо назвать следующие основные признаки творческой задачи по физике: это задача, в которой сформулировано определенное требование, выполнимое на основе знания физических законов, но в которой отсутствуют какие-либо прямые и косвенные указания на те физические явления, законами которых следует воспользоваться для решения этой задачи. Этих признаков вполне достаточно для распознавания творческой задачи, но недостаточно для составления творческих задач на любую физическую закономерность. Чтобы найти ключ к составлению творческих задач, можно сделать еще одно уточнение.

Обратимся к аналогии. В науке различают в основном два вида творчества: открытия и изобретения. Творческие задачи по физике очень условно можно подразделить также на два вида: «исследовательские» (требующие ответа на вопрос почему?) и «конструкторские» (требующие ответа на вопрос, как сделать?). Такое подразделение творческих задач можно использовать в качестве ключа к их построению.

Предположим, что учащиеся изучили второй закон Ньютона, умеют его формулировать, приводят примеры, решают тренировочные задачи.

Настало время дать учащимся творческие задачи. Составим задачу исследовательского типа. Для этого опишем внешне какое-то явление и предложим учащимся объяснить, почему оно так происходит. Например, почему при одних и тех же патронах длинноствольные охотничьи ружья обычно обладают большей дальностью? Почему при попытках укоротить ствол ружья («обрез»), его дальность резко падает?

Для решения этой задачи недостаточно знать формулы. Необходимо глубоко осмыслить физические явления, происходящие при выстреле, и установить связывающие их закономерности. Решая такую задачу, учащиеся придут к выводу, что, чем больше время действия пороховых газов на снаряд, тем больше импульс силы и тем больше начальная скорость снаряда, от которой зависит дальность ружья. Очевидно, что в укороченном стволе снаряд получает меньший импульс.

Здесь опять таки не столько важно объяснить и осмыслить технические подробности устройства ружья, сколько важен сам процесс творческого анализа, когда в условиях задачи говорится об одной стороне явления, а причина, обуславливающая характер этого явления, кроется совсем в другом, в закономерности, на которую даже и намека нет в условиях задачи.

**А.С. Тимошенко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **А.Л. Самофалов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ДЕЙСТВУЮЩЕЙ МОДЕЛИ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА**

Машина, работающая по циклу Стирлинга, представляет собой устройство с замкнутым термодинамическим регенеративным циклом, в котором циклические процессы сжатия и расширения осуществляются при различных уровнях температуры, а управление потоком рабочего тела происходит путем изменения его объема, на этом принципе основано превращение теплоты в работу.

Существуют машины, работающие по открытому регенеративному циклу, где управление потоком рабочего тела осуществляется с помощью клапанов. Точнее, такие машины работают по циклу Эриксона, но на практике различие между ними не слишком существенно и ввиду этого определение «машина Стирлинга» часто относится ко всем без исключения типам регенеративных машин. Это обобщенное название большого семейства машин с самыми разнообразными функциями, характеристиками и конструкциями. В это

семейство входят как ротационные, так и поршневые машины, в конструкции которых используются механизмы различной сложности. Все эти машины способны работать как двигатели, тепловые насосы, генераторы давления и холодильные установки.

Двигатели Стирлинга имеют длинную историю, которая была детально изучена Финкельштейном (1959 г.).

Машины конца XVIII в. можно считать первенцами тепловых воздушных двигателей, но их основное развитие относится к началу XIX в. Первым работающим двигателем такого типа был, вероятно, тепловой воздушный двигатель открытого цикла, построенный Георгом Кайлеем (George Cayley) в 1807 г. Приблизительно в 1816 г. Робертом Стирлингом (Robert Stirling), священником из Шотландии, был изобретен тепловой двигатель с регенерацией, работавший по замкнутому циклу. Позднее, шведский изобретатель Джон Эрикссон (John Ericsson), работавший в Англии, сконструировал регенеративный тепловой двигатель открытого цикла. Впоследствии в течение всего XIX в. в Англии, Европе и США широко использовались тысячи подобных двигателей самых разнообразных форм и габаритов. Они были надежными, достаточно эффективными и, что самое важное, безопасными по сравнению с современными паровыми машинами. Мощность этих двигателей была небольшая – от 0.185 до 3.7 кВт, но строились также и более мощные. Возможно, что наиболее интересным был двигатель, построенный Эрикссоном в 1853 г. для морского судна. Двигатель имел четыре цилиндра и при диаметре поршней 4.27 м, ходе 1.52 м, частоте вращения 9 об/мин развивал мощность около 220 кВт (300 л.с.). Двигатель был установлен на корабле «Эрикссон», впоследствии опрокинутом штормом в Нью-Йоркском порту.

В данной работе была изготовлена действующая модель регенеративного двигателя Стирлинга. В конструкции модели использовано водяное охлаждение, поскольку коэффициент теплопередачи от рабочего тела к жидкости на несколько порядков выше, чем в случае охлаждения газом.

К.п.д. изготовленной модели двигателя Стирлинга составило 57%. К сравнению, к.п.д. бензинового двигателя равен 28–30%, а дизельного 32–35% процентов. Данная модель Стирлинга практически всеядна, работает как от пламени горелки, так и от газа и т. д. Полученную модель двигателя можно установить на авто-судомодель и настроить на стабильную работу что приведет к движению авто-судомоделей.

Теоретические расчеты показывают, что к.п.д. «стирлингов» и «эрикссонов» могут достигать 70 процентов, это больше, чем у любого другого двигателя. Правильный выбор параметров и областей

применения, скрупулезное исследование работы каждого узла, тщательная обработка и доводка каждой детали позволят реализовать преимущества цикла.

У изготовленной нами модели к.п.д. далеко от этих значений, но стоит заметить, что при расчетах мы пренебрегаем весом регенератора, имеются лишние люфты и трения которые противодействуют достижению более высокого к.п.д. изготовленной модели регенеративного двигателя Стирлинга.

При изготовлении регенератора использовалась металлическая губка ( в идеале стальная вата), все втулки изготовлены из пластика (в идеале подшипники) что приводит к большому трению, в модели нету 100% герметизации, все это приводит к потере мощности и снижению к.п.д.

### Литература

1. Ридер, Г., Хупер, Ч. Двигатели Стирлинга: Пер. с англ. – М. : Мир,1986. – 325 с.

2. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга : пер. с англ. М. : Энергия, 1978. – 112 с.

3. Уокер Г. Двигатели Стирлинга : пер. с англ. – М.:Машиностроение, 1985. – 593 с.

4. Бреусов В. Стирлинги уже давно работают в космосе. – Журнал «Колеса» (статья), 3–13 с.

5. Двигатели Стирлинга : пер. с англ. / под ред. В.М. Бродянского. – М. : Мир, 1975. – 375 с.

6. Двигатели Стирлинга / В.Н. Даниличев, С.И. Ефимов, В.А. Звонок [и др.]; под ред. М.Г. Круглова. – М.: «Машиностроение»,1977. – 414 с.

**А.И. Чудакова** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **С.А. Лукашевич**, ст. преподаватель

### ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

В физике источником знаний и методом исследования является эксперимент. Школьный учебный эксперимент представляет собой отражение научного метода изучения физических явления, поэтому ему (хотя он и не тождествен научному) должны быть присущи основные элементы физического эксперимента, по которым учащиеся смогут получить представление о научном экспериментальном методе. Учебный эксперимент — это воспроизведение с помощью специальных приборов физического явления на уроке в условиях, наиболее удобных

для его изучения. Поэтому он служит одновременно источником знаний, методом обучения и видом наглядности. Общеизвестно, что изложение курса физики в средней школе должно опираться на эксперимент. Это обусловлено тем, что основные этапы формирования физических понятий – наблюдение явления, установление его связей с другими, введение величин, его характеризующих, не могут быть эффективными без применения физических опытов. Демонстрация опытов на уроках, показ некоторых из них с помощью кино и телевидения, выполнение лабораторных работ учащимися составляют основу экспериментального метода обучения физике в школе.

Будучи средством познавательной информации, учебный эксперимент одновременно является и главным средством наглядности при изучении физики; он позволяет наиболее успешно и эффективно формировать у школьников конкретные образы, адекватно отражающие в них сознании реально существующие физические явления, процессы и законы, их объединяющие. Физический эксперимент представляет собой не только иллюстрацию тех или иных явлений и закономерностей: он служит средством доказательства справедливости различных теоретических положений, способствует выработке убежденности в познаваемости явлений природы, развивает умения и навыки учащихся.

Правильно организованный школьный физический эксперимент служит также действенным средством воспитания таких черт характера личности, как настойчивость в достижении поставленной цели, тщательность в получении фактов, аккуратность в работе, умение наблюдать и выделять в рассматриваемых явлениях их существенные признаки и другие.

Чтобы дать учащимся глубокие и прочные знания, сформировать у них важные практические умения и навыки, необходима координация в применении различных видов учебного эксперимента. Схема видов школьного физического эксперимента представлена на рисунке 1.

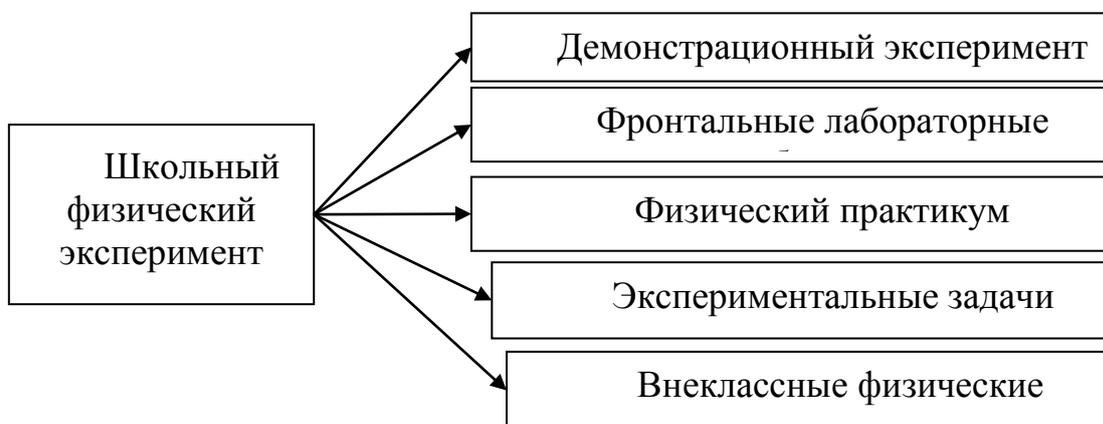


Рисунок 1 – Виды школьного физического эксперимента

Все эти виды учебного эксперимента обеспечивают осуществление принципов наглядности, сознательности, активности познавательной деятельности учащихся, политехнизма в преподавании физики. В физической науке различают исследовательский и критериальный эксперимент. Такое деление возможно и в учебном физическом эксперименте. При постановке опытов в исследовательском плане учащиеся будут получать данные, имеющие субъективную новизну. Критериальный эксперимент нацеливает на получение ожидаемого результата, который подтверждает или опровергает высказанное предположение или дедуцированные теории, следствия.

Любому виду эксперимента присущи следующие черты: вмешательство в явления, процессы внешнего мира специальными приборами; выделение реально изучаемых связей и устранение побочных и случайных влияний; воспроизведение и неоднократное повторение изучаемых явлений в определенных условиях; планомерное изменение условий протекания явления или процесса; организованность и направленность с целью сведения к минимуму элементов случайности.

Структурно физический эксперимент можно представить в виде следующих взаимосвязанных и тем самым расчленить эксперимент на три составляющие: экспериментатор и его деятельность как познающего субъекта; объект или предмет экспериментального исследования; средства экспериментального исследования (инструменты, приборы, экспериментальные установки и т. д.). Во взаимосвязи данных трех структурных элементов первый из них представляет собой субъективную, а второй и третий – объективную сторону эксперимента.

**В.И. Яковенко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПО МЕХАНИКЕ**

Экспериментальные задачи по механике способствуют повышению учащихся на уроках, развитию логического мышления, заставляют ученика напряженно думать, привлекая все свои теоретические знания и практические навыки. Рассмотрим экспериментальные задачи, которые я проводила по механике в средней школе №1 г.Речицы.

### ***Простые измерения***

Работа 1. Измерение массы, размеров и плотности тел.

Цель работы: проделать простые измерения массы и размеров тел, определить плотности этих тел. Часть тел простой и правильной формы (цилиндр, параллелепипед) и часть – произвольной формы. На этих примерах показано, как оценить точность получаемых результатов. Работа носит тренировочный характер – никаких принципиальных трудностей при измерениях нет.

Приборы: весы и разновес, линейка металлическая (деревянная, на худой конец – пластмассовая), по возможности – штангенциркуль, мерная мензурка, нитки, сосуд с чистой водой. Металлический цилиндр (можно грузик из набора по механике), деревянный параллелепипед, пластиковая или металлическая фигурка неправильной формы – для измерений плотности материалов.

Выполнение работы: для тел простой формы выполнение понятно и описано во множестве пособий – измеряют размеры и по ним рассчитывают объём тела, массу тела измеряют при помощи весов. Для тел неправильной формы прямые измерения размеров для нахождения объёма не проходят – нужно воспользоваться мерной мензуркой, правда точность при этом получается довольно плохой. Главная причина плохой точности – неточность определения объёма как прямым способом – для тел правильной формы, так и при помощи погружения в воду.

Работа 2. Оценка времени реакции экспериментатора.

Немного странное по форме задание: оценить время реакции экспериментатора при помощи простейшего оборудования – деревянной школьной линейки длиной 30 сантиметров. Опыт следует проводить вдвоём. На самом деле задание можно поставить и иначе – не ограничивать экспериментаторов конкретным заданием оборудования, поскольку время реакции довольно мало – оно составляет 0,1–0,3 секунды, и обычным секундомером измерить его нельзя (мешает то же время реакции!). Либо придётся пользоваться электронным секундомером, добавляя к нему несложные электронные или электромеханические приставки, либо нужно придумать что –нибудь нетривиальное. Условие задачи поставлено не очень жёстко – экспериментатор может сам предложить определение «времени реакции», приспособленное к придуманному им методу измерений. В нашем случае разумно предложить такой вариант: заметив какое-то событие (стимул), человек должен на него отреагировать, и время запаздывания мы будем считать искомым временем реакции. Конечно, всё тут нужно сделать так, чтобы не добавить к времени реакции ничего лишнего – действие экспериментатора, которым он реагирует на стимул, не должно само занимать значительного времени – скажем, тут не годится запись в журнал наблюдений времени прихода стимула. Предлагаемый автором вариант выглядит так: помощник держит линейку так, что она свисает вниз, причём нулевое деление удобно

иметь снизу. Экспериментатор держит большой и указательный палец правой (левой – если он левша) руки так, что нижний конец линейки находится между пальцами и ему легко схватить падающую линейку. Помощник неожиданно отпускает линейку, экспериментатор зажимает её двумя пальцами так быстро, как сумеет. Линейка успеет пролететь некоторое расстояние – его можно измерить по её же делениям, удобно вначале держать пальцы напротив нулевого деления линейки. По этому расстоянию определим время падения, считая движение линейки равноускоренным. Важно, чтобы экспериментатор держал пальцы поближе друг к другу, не касаясь при этом линейки.

Важно понять, что результаты такого эксперимента нуждаются в статистической обработке. Обычное расстояние, которое пролетает линейка, составляет 14–22 см, но в части опытов экспериментатор, зазевавшись, вообще не ловит линейку, а иногда ему удаётся «подстеречь» помощника и поймать линейку практически сразу. Ясно, что ни тот, ни другой результат не имеют прямого отношения к времени реакции (хотя – как посмотреть!), поэтому такие результаты мы просто отбросим. Проведём достаточно длинную серию измерений – несколько десятков, очень хорошо сделать несколько серий, меняясь местами с помощником (разумеется, результаты каждого участника нужно учитывать отдельно).

Модификации этого опыта могут быть такими – испытуемый держит глаза закрытыми и должен отреагировать на звуковой сигнал, синхронизированный с моментом отпускания линейки. Сигналом может служить резкое изменение частоты звукового сигнала или прикосновение к его руке. Во всех случаях среднее время реакции будет по порядку величины одним и тем же, но может отличаться весьма существенно (до 50%). На этом примере можно объяснить ребятам способы улучшения точности оценки измеряемой величины за счёт усреднения «разбросанных» результатов. В самом деле – будем полагать, что есть некоторое характерное время реакции данного экспериментатора и множество факторов, которые искажают результат, одни факторы занижают, другие – завышают оценку измерения. Ясно, что при усреднении значительного числа измерений мы уменьшим ошибку определения интересующей нас величины. Куда более сложный вопрос – в какой степени у нас это получится. Только при определённых (и довольно искусственных!) предположениях о характере влияющих на измерение факторов можно это улучшение посчитать. В частности, если факторов много, влияние их независимо и они примерно одинаковы по влиянию на результат, их сумму можно считать гауссовой случайной величиной. Широко распространённые методы расчёта «стандартного отклонения среднего» основаны именно на такой модели. Насколько она разумна? Ну, если речь идёт о хорошей

лабораторной установке, где причины больших возможных ошибок устранены и остались только неустранимые флуктуации, то такая модель вполне подходит. А вот в «школьном» эксперименте с не очень точными и никогда не проверяемыми приборами предположение о гауссовой случайной погрешности вовсе не является разумным и часто приводит к очень заниженным оценкам погрешностей. В нашем случае измерений «с линейкой» сама по себе измеряемая величина не очень чётко определена, поэтому мы не вычисляем погрешность её измерения, а просто уменьшаем влияние факторов разброса.

**В.И. Яковенко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, ст. преподаватель

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Экспериментальные задачи – это физические задачи, постановка и решение которых связаны с экспериментом: с различными измерениями, воспроизведением физических явлений, наблюдениями за физическими процессами, сборкой электрических цепей.

Экспериментальные задачи делятся на качественные и количественные. В решении качественных задач отсутствуют числовые данные и математические расчёты. В этих задачах от ученика требуется или предвидеть явление, которое должно совершиться в результате опыта, или самому воспроизвести физическое явление с помощью данных приборов. Например: «Взять сырую картофелину и разрезать её пополам. В центре среза поместить кусочек марганцовки и соединить половинки. Через некоторое время их разъединить. Назвать наблюдаемое явление и объяснить его».

«В пробирке находится расплавленный парафин. Какую форму примет его поверхность при затвердевании? Проверить опытом, объяснить».

При решении количественных задач сначала производят необходимые измерения, а затем, используя полученные данные, вычисляют с помощью математических формул ответ задачи.

Например: «Определить удельное сопротивление данной проволоки, имея аккумулятор, амперметр, вольтметр, микрометр и масштабную линейку. По таблице удельных сопротивлений установить, из какого материала сделана данная проволока». «Имея мензурку с водой, определить архимедову силу, которая будет действовать на данный кусок металла при погружении его в воду. Ответ проверить опытом с помощью динамометра».

Проверка правильности решения таких задач может быть осуществлена разными способами в зависимости от содержания задач. Решение большинства количественных задач проверяется путём непосредственного измерения искомой величины с помощью соответствующих приборов; с помощью другого контрольного опыта, т.е. другим способом и другими приборами; по паспортным данным или таблицам. Решение качественных задач проверяется, как правило, с помощью постановки контрольного опыта. Например, в задаче дано описание опыта, требуется предсказать его результаты. Контрольный эксперимент, выполненный учеником, либо подтвердит его ответ, либо опровергнет. Частичного совпадения логического решения и опыта здесь не должно быть, поэтому необходимо свести к минимуму все побочные факторы, отрицательно влияющие на результат эксперимента. Приборы для контрольного опыта заранее выдавать не следует. Иначе, как правило, ученик сначала проделывает контрольный опыт, а потом подгоняет решение к результату эксперимента [1].

Основные этапы решения экспериментальной задачи сходны с решением любой физической задачи, но имеются некоторые особенности. Характерным для решения таких задач является работа по отысканию нужных для решения данных, а также способов получения этих данных. Поэтому при анализе задачи и составлении плана решения существенным моментом является поиск ответов на такие вопросы: какие данные необходимы для решения? Как их получить, используя опыт? В каких единицах они должны быть выражены? Поскольку эта работа учащихся носит творческий характер, то этот этап решения должен быть разработан более тщательно. Учитель, готовя экспериментальную задачу, должен не только отобрать необходимое оборудование, но и предварительно опробовать его.

При коллективном решении задач к экспериментальной части предъявляются такие же требования, как к демонстрационному эксперименту: опыты должны быть убедительными, выразительными, хорошо видны со всех мест класса. Поэтому в таких задачах используют только демонстрационные приборы.

Подбирая задачи для урока, учителю необходимо помнить о том что:

а) в условиях некоторых задач не указаны конкретные размеры и масса тела, длина и сечение проволоки, объём жидкости и т. д. Это значит, что учитель сам выбирает необходимое оборудование к задаче;

б) в отдельных задачах не сказано, какие измерительные приборы нужно взять: демонстрационные или лабораторные;

в) все известные в задачах данные должны быть чётко написаны на этикетке соответствующего тела (прибора);

г) полезно составить специальный справочник по экспериментальным задачам, в котором указать все данные о каждом приборе в

физкабинете и о тех предметах, которые используются в эксперименте при решении задач.

Использование экспериментальных задач в процессе обучения может быть в любой части урока. Но при этом цели применения, методика и содержание задач будут несколько различны.

Использование задач при опросе даст возможность выяснить, насколько правильно, глубоко и сознательно ученик усвоил ранее пройденный материал.

Применение задач для проверки степени понимания учениками изучаемого на уроке материала, для его закрепления. Решение задач в этом случае способствует углублению и уточнению нового материала.

Содержание экспериментальной задачи может являться темой урока. В ходе её решения происходит усвоение новых понятий, закономерностей и зависимостей. (Закон Ома – зависимость силы тока от напряжения и сопротивления).

Использование задач в качестве иллюстраций, подтверждающих правильность и важность сделанных теоретических выводов. (Скорость движения молекул и температура тела). Весьма полезны 15–20 минутные классные упражнения учащихся по решению экспериментальных задач с последующим разбором и выяснением причин допущенных ошибок. Возможно проведение контрольных работ по решению экспериментальных задач, что даёт учащимся больше проявить творчества и самостоятельности. Особый интерес у учеников вызовет решение задач в качестве домашнего задания, которые могут быть как общими, так и индивидуальными. Единственное требование, учитель должен быть уверен, что для домашних опытов ученики найдут нужные приборы и предметы.

Экспериментальные задачи строятся так, чтобы в ходе решения ученик сначала высказал предложения, обосновал умозрительные выводы, а потом проверил их на опыте. Такое построение вызывает у учеников большой интерес к задачам и при правильном решении большое удовлетворение своими знаниями. Решение данных задач воспитывает у учащихся стремление активно, собственными силами добывать знания, стремление к активному познанию мира [2].

### **Литература**

1. Горев, Л.А. Занимательные опыты по физике в 6–7 классах средней школы. Кн. для учителя / Л.А. Горев – М. : Просвещение, 1985. – 175 с.

2. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Т.1 / под ред. А.А. Покровского. – М. : Просвещение, 1971. – 368 с.

## Содержание

### Секция 2. Моделирование физических процессов

<b>Аманова М.А.</b> О применении ковариантных методов академика Ф.И. Федорова к определению отличных от нуля компонент тензоров физических величин в кристаллах .....	7
<b>Баранова М.С., Гвоздовский Д.Ч., Скачкова В. А.</b> Свойства графеносодержащих структур. Квантово-механическое моделирование .....	10
<b>Бегель А.М., Гладковский В.И.</b> Компьютерное моделирование вынужденного конвективного теплообмена.....	13
<b>Белявский Ю.В.</b> Компьютерное моделирование ёмкостных токов в сетях 6–10 кв с различными режимами работы нейтралей трансформаторов .....	14
<b>Белявский Ю.В.</b> Моделирование коротких замыканий в системе электроснабжения сельского района .....	16
<b>Бондарь К.Д.</b> Компьютерная обработка графов при решении прикладных задач .....	18
<b>Грибовский А.С., Кравченко А.Ю.</b> Программная реализация решения уравнения Шрёдингера в среде Wolfram Mathematica ....	22
<b>Зуев И.А.</b> Разработка способа повышения качества проката и износостойкости инструмента в условиях стана 150 ОАО «БМЗ – УКХ «БМК».....	25
<b>Каюкало Е.В., Иванчиков П.Г.</b> Разработка сайта на тему «Оптические явления в природе».....	27
<b>Копачев Н.И.</b> Учет физических свойств объектов в системах трехмерной компьютерной анимации .....	31
<b>Кравцов А.С.</b> Преобразования Лоренца биспиноров Дирака .....	34
<b>Кравченко А.Ю.</b> Моделирование полувитковых фрагментов двойной ДНК-подобной спирали и структур на их основе .....	37
<b>Ларочкин Д.В.</b> Разработка Интернет-ресурса по истории развития численных методов .....	40
<b>Лю Имин</b> Численное решение двумерного уравнения Шрёдингера с применением системы Matlab .....	43
<b>Мельникова А.Д.</b> Математическая модель, характеризующая зависимость температуры резания от основных факторов резания.....	46
<b>Михалко И.С.</b> Взаимодействие токов в двойной ДНК-подобной спирали .....	49

<b>Михеев С.С.</b> Обратная задача спектральной эллипсометрии при использовании бинарной модуляции частично когерентного света .....	52
<b>Парахневич А.С.</b> Извлечение информации о ядрах с помощью банков данных .....	55
<b>Поляков К. Д.</b> Интегрирование фазового пространства для двухчастичного распада .....	59
<b>Прохоренко В.А.</b> Использование нейросетевых методов в задаче поиска пути .....	61
<b>Рабатуев Г.Г., Масленникова Е.А.</b> Расчет коэффициента теплопередачи от анодного оксида алюминия в электролит при анодировании .....	64
<b>Скачкова В.А.</b> Исследование влияния вакансии на электронные свойства фосфорена с использованием теории функционала электронной плотности .....	67
<b>Толкачёв А.И.</b> Задачи на собственные значения в цилиндрических координатах .....	70
<b>Трафименко А.Г.</b> Эмиссия электронов в проводящих каналах диоксида гафния, образованных в результате электрического пробоя .....	74
<b>Усатов А.Б.</b> Формирование 3D-изображения микрорельефа поверхности на основе изображений, полученных с помощью оптического микроскопа .....	77
<b>Федоренко М.В.</b> Физические основы алгоритма метода FDTD и особенности его применения .....	78
<b>Фельшерук А.В.</b> Моделирование плазменных эффектов в графеновой наноструктуре .....	81
<b>Фиалка С.И.</b> Сверхрешётки и апериодические структуры фотонных кристаллов на основе частиц диоксида кремния .....	84
<b>Хорт А.А.</b> Воздействие внешней силы сопротивления на цилиндрическое течение вязкой жидкости .....	87
<b>Чудакова А.И.</b> Программирование численных методов интегрирования на языке C++ и решение физических задач .....	90
<b>Шамына А.А.</b> Генерация суммарной частоты от боковой поверхности цилиндрической частицы в приближении gNLRGD... ..	93
<b>Шилов А.В.</b> Модовые характеристики мультикапиллярных волокон для ТГц диапазона частот .....	96
<b>Шур П.Г.</b> Разностные схемы решения уравнения теплопроводности и их реализация на языке СИ.....	99
<b>Ясонов В.А.</b> Оптимизации механизма навески средства энергетического универсального СЭУ-350 в режиме перевода навесной машины из рабочего в транспортное положение .....	102

## Секция 4. Методика преподавания физики

<b>Алексейченко П.Д.</b> Значение задач в процессе обучения и воспитания учащихся на уроках физики.....	104
<b>Брагинец А.В.</b> Мотивационные методы организации и осуществления учебной деятельности ...	105
<b>Василец М.С.</b> Методические основы решения физических задач.....	107
<b>Веркеенко А.А.</b> Научные основы проектирования учебных занятий по физике .....	108
<b>Ганжурова А.В.</b> Информационно-справочная система «Электронный журнал классного руководителя».....	109
<b>Гордиенко Т.В.</b> Организация учебных экскурсий по физике ...	110
<b>Горевой А.Д.</b> Применение информационных технологий для изучения физики в средней школе.....	112
<b>Грибовский А.С., Кравченко А.Ю.</b> Создание приложения для решения задач, изучаемых в курсе «Методы математической физики» .....	114
<b>Гуд Ю.П.</b> Методика решения творческих задач по физике.....	116
<b>Гузовец А.А.</b> Роль курса физики в изучении основ экологии.....	118
<b>Гурбанязов С.Б.</b> Проблемное обучение физике .....	119
<b>Гурин И.А.</b> Принципы экологического образования.....	120
<b>Диченков И.А.</b> Роль курса физики в изучении основ экологии..	121
<b>Ду Инсюань</b> Компьютерные технологии на уроках физики.....	122
<b>Занкевич Д.А.</b> Теоретические основы моделирования систем и процессов .....	125
<b>Зданевич В.В.</b> Дидактические основы моделирования .....	127
<b>Казлов В.А.</b> Разработка действующей модели махолета в рамках факультативного занятия по физике .....	129
<b>Калашников Н.С.</b> Методические проблемы подготовки учителей физики в свете инновационных технологий .....	133
<b>Каученко И.Д.</b> Компьютерная лабораторная работа «Тонкая структура спектральных линий атома водорода».....	134
<b>Комарькова К.В.</b> Условия возникновения познавательного интереса .....	136
<b>Коршунова Ю.Б.</b> Дифференцированный подход к воспитанию и обучению учащихся .....	138

<b>Копертехов К.С.</b> Проблемы организации учебно-исследовательской деятельности учащихся .....	141
<b>Костерев А.Е.</b> Автоматизация учебной лабораторной установки по определению коэффициента поверхностного натяжения методом Ребиндера.....	143
<b>Костров Н.С.</b> Аналогии в курсе физики средней школы .....	146
<b>Кравченко А.В.</b> Структура урока физики как целостная система.....	147
<b>Лисовский В.А.</b> Мировые тенденции в организации экологического образования .....	149
<b>Лозицкая Т.В.</b> Исследовательская деятельность по физике как средство повышения познавательной активности учащихся .....	150
<b>Макарова Л.С.</b> Методика поурочного планирования.....	151
<b>Морозова О.Н., Батюк Л.В.</b> Концепция изучения медицинской аппаратуры в процессе формирования знаний будущих медицинских специалистов в контексте преподавания медицинской и биологической физики .....	156
<b>Мушинская Т.И.</b> Применение специальных заданий на упрочение отдельных сторон мотивации .....	158
<b>Нельп И.С.</b> Моделирование в педагогической практике .....	160
<b>Никитин Д.С.</b> Применение ИКТ на уроках физики .....	163
<b>Петренко В.С.</b> Методика проведения интегрированных уроков .....	165
<b>Пенджиев М.Х.</b> Использование материалов экскурсии в учебном процессе .....	166
<b>Потапенко Ю.В.</b> Методика использования структурно-логических схем для решения ключевых учебных задач по физике .....	167
<b>Пустаханов Д.Д.</b> Дидактические основы развития логического мышления учащихся.....	170
<b>Рытикова М.Н.</b> Роль моделирования в инженерной подготовке учащихся .....	171
<b>Ровшанов Х.Б.</b> экскурсия по физике как метод обучения .....	173
<b>Сулковская И.В.</b> Формы организации учебных занятий с использованием информационных технологий .....	174
<b>Таганов Ю.Х.</b> Виды творческих задач по физике.....	176
<b>Тимошенко А.С.</b> Разработка действующей модели регенеративного двигателя стирлинга.....	177
<b>Чудакова А.И.</b> Физический эксперимент в средней школе .....	179
<b>Яковенко В.И.</b> Экспериментальные задачи по механике .....	181
<b>Яковенко В.И.</b> Применение экспериментальных задач на уроках физики .....	183

Научное электронное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ  
ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

Материалы VI Республиканской  
научной конференции  
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 26 апреля 2017 года)

В трёх частях

Часть 2

Подписано к использованию 1.09.2017 г.

Издатель:  
учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.  
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.  
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.