

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

# **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

**Материалы  
II Республиканской научной конференции  
студентов, магистрантов и аспирантов,  
посвященной памяти первого ректора  
Гомельского государственного университета,  
академика Владимира Алексеевича Белого**

(Гомель, 18 апреля 2013 года)

**В двух частях**

**Часть 1**

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2013

**«Актуальные вопросы физики и техники»**, II Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов, (2013, Гомель). II Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники», 18 апреля 2013 г. : [материалы] : в 2 ч. Ч. 1 / редкол. : А. В. Рогачев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 260 с.

ISBN 978-985-439-789-4 (Ч. 1)

ISBN 978-985-439-788-7

В сборник вошли материалы докладов, представленные на II Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники».

Адресуется научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам, магистрантам, студентам.

#### **Редакционная коллегия:**

А. В. Рогачев (гл. ред.), О. М. Демиденко, И. В. Семченко,  
С. А. Хахомов, А. Н. Сердюков, Ю. В. Никитюк, А. Л. Самофалов,  
В. В. Андреев, Е. А. Дей, В. Д. Левчук, А. В. Воруев,  
В. Н. Мышковец, В. Е. Гайшун, Е. Б. Шершневу, Т. П. Желонкина

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Рогачев А.В.** – ректор УО «ГГУ им. Ф. Скорины», д.х.н., профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

### ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

**Демиденко О.М.** – проректор по научной работе УО «ГГУ им. Ф. Скорины», д.т.н., профессор

**Семченко И.В.** – проректор по учебной работе УО «ГГУ им. Ф. Скорины», д.ф.-м.н., профессор

**Хахомов С.А.** – проректор по учебной работе УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.ф.-м.н., доцент

**Максименко Н.В.** – профессор кафедры теоретической физики УО «ГГУ им. Ф. Скорины», д.ф.-м.н., профессор

**Бойко А.А.** – проректор по научной работе ГГТУ им. П.О. Сухого, к.ф.-м.н., доцент

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Сердюков А.Н.** – профессор кафедры оптики УО «ГГУ им. Ф. Скорины», д.ф.-м.н., профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

### ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

**Никитюк Ю.В.** – декан физического факультета УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.ф.-м.н., доцент

### ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

**Дерюжкова О.М.** – заместитель декана физического факультета УО «ГГУ им. Ф. Скорины» по научной работе, к.ф.-м.н., доцент

**Коваленко Д.Л.** – заместитель декана физического факультета УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.ф.-м.н., доцент

**Алешкевич Н.А.** – заведующий кафедрой оптики УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.ф.-м.н., доцент

**Андреев В.В.** – заведующий кафедрой теоретической физики УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.ф.-м.н., доцент

**Левчук В.Д.** – заведующий кафедрой АСОИ УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.т.н., доцент

**Мышковец В.Н.** – заведующий кафедрой радиофизики и электроники УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.ф.-м.н., доцент

- Шершнев Е.Б.** – заведующий кафедрой общей физики УО «ГГУ им. Ф. Скорины», к.т.н., доцент
- Бабич А.А.** – заведующий кафедрой «Высшая математика» ГГТУ им. П.О. Сухого, к.ф.-м.н., доцент
- Астахов П.В.** – начальник кафедры естественных наук Гомельского инженерного института МЧС Республики Беларусь, к.ф.-м.н., доцент

#### **ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ**

- Самофалов А.Л.** – заместитель декана физического факультета УО «ГГУ им. Ф. Скорины» по НИРС

### **СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ**

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

##### ***Председатели:***

- Мышковец Виктор Николаевич, к.ф.-м.н., доцент  
Алешкевич Николай Александрович, к.ф.-м.н., доцент

#### **2. «Моделирование физических процессов»**

##### ***Председатели:***

- Андреев Виктор Васильевич, к.ф.-м.н., доцент  
Дей Евгений Александрович, к.ф.-м.н., доцент

#### **3. «Автоматизация исследований»**

##### ***Председатели:***

- Левчук Виктор Дмитриевич, к.т.н., доцент  
Воруев Андрей Валерьевич, к.т.н., доцент

#### **4. «Методика преподавания физики»**

##### ***Председатели:***

- Шершнев Евгений Борисович, к.т.н., доцент  
Желонкина Тамара Петровна, ст. преподаватель

## ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

**18 апреля 2013 г.**

**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 5, ауд. 2-25 (ул. Советская, 102).

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

**16<sup>00</sup>** – экскурсия в дворцово-парковый ансамбль Румянцевых и Паскевичей (сбор у корпуса 5, ул. Советская, 102).

### Регламент

|                                |   |             |
|--------------------------------|---|-------------|
| Доклады на пленарном заседании | — | до 30 минут |
| Доклады и сообщения в секциях  | — | до 10 минут |
| Участие в дискуссиях           | — | до 5 минут  |

### 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. Рогачев А.В. Ректор Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины, член-корреспондент НАН Беларуси.

**Открытие конференции.**

2. Лин Д.Г. д.т.н., профессор.

**Научная школа академика В.А. Белого на Гомельщине.**

## **Секция 1 «Новые материалы и технологии»**

### **Председатели:**

Мышковец Виктор Николаевич, к.ф.-м.н., доцент,

Алешкевич Николай Александрович, к.ф.-м.н., доцент

**М.В. Авдашкова (ГУО «Гомельский инженерный институт»  
МЧС Республики Беларусь, Гомель)**

Науч. рук. **П.В. Астахов**, к.ф.-м.н., доцент

### **ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

Одним из нежелательных последствий глобального потепления является увеличение пожароопасности в засушливых регионах планеты.

Как показывают трагическая статистика масштабных пожаров, все традиционные средства тушения пожаров не позволяют эффективно бороться с пожарами большой интенсивности на больших площадях горения, особенно при сильных ветрах. Данную проблему можно эффективно решить с помощью принципиально новой электроогневой технологии тушения пожаров.

Традиционно пламя (пожар) тушат с использованием внешних пенообразующих веществ. В результате применения в известных способах значительного количества расходных материалов для образования пены, затраты на тушение пожаров велики, эффективность тушения зачастую низка, а материальным ценностям и материалам при таком способе тушения наносится существенный урон. Кроме того, эти способы не позволяют надежно предотвратить возникновение очага возгорания.

Для реализации предлагаемого способа в зоне пламени создают внешнее постоянное электрическое поле. Напряженность этого поля выбирают исходя из типа пламени и его интенсивности в пределах 2–25 кВ/см.

Способ электрического подавления пламени основан на физическом эффекте отклонения составляющих пламени к одному из разноименных высоковольтных потенциалов внешнего электрического поля.[1]

Физическая сущность предложенного способа состоит в том, что любое пламя ионизировано, а значит с помощью электричества можно управлять горением, в частности тушить пламя. Опыты показывают, что электрическое поле даже малой мощности может тушить пламя, причем на расстоянии и безопасно для человека. Горение – это самый сложный процесс. В его основе лежит физика протекания цепных реакций деления

заряженных радикалов воспламененных веществ. Значит, электрическое поле при тушении пламени создает именно условия для прекращения протекания этих цепных реакций деления частиц горящего топлива.

Срыв пламени – это, по сути, срыв протекания цепных реакций дробления углеводородных цепочек веществ в очаге возгорания. И при использовании этого метода этот эффект достигается именно за счет знакопостоянного электрического поля высокой напряженности (выше 2 кВ/см). В этом случае внешнее электрическое поле с указанной пороговой напряженностью “вытягивает” из зоны протекания цепных реакций (зоны горения) электроны и разноименно заряженные радикалы горящих веществ, содержащиеся в пламени, путем их отклонения и осаждения на специальные высоковольтные жаростойкие электроды, размещенные в зоне горения за пределами пламени и присоединенные к выходам высоковольтного электрического преобразователя напряжения.

В результате, в зоне горения нарушаются условия поддержания цепных реакций дробления радикалов горящих веществ в ядре пламени, поэтому цепные реакции горения веществ затухают или вообще прекращаются. Визуально возникает эффект лавинного срыва пламени, причем при подаче в зону горения электрического потенциала достаточно высокой напряженности электрического поля, пламя тухнет скачкообразно.

Электроогневая технология предназначена для устранения локальных возгораний и локализации пожаров на больших площадях. Данная технология так же применима для противопожарной профилактики на территориях с засушливым климатом, режимных объектах и частных имениях.

### **Литература**

1. Фарадей, М. История свечи (пер. с англ. / под ред. Б.В. Новожилова). – М: ,1980 г.–128 с.
2. Дудышев, В.Д. Способ тушения пламени. Авторское свидетельство СССР №1621234.
3. Дудышев, В.Д. “Новая электрическая технология бесконтактного тушения пламени и предотвращения его возгорания” журнал ”Новые технологии” № 9 от 2002 года.
4. Дудышев, В.Д. “Новая технология бесконтактного тушения и предотвращения пожаров” журнал ”Экология и промышленность России” декабрь 2003 года.

**Д.В. Адамчук (УО «БрГУ им. А.С. Пушкина», Брест)**

Науч. рук. **А.В. Демидчик**, к.ф.-м.н., доцент

## **МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ $\text{Vi-Cu}$ С СОДЕРЖАНИЕМ $\text{Cu}$ ДО 2 % АТ.**

Проектирование рациональных, конкурентоспособных изделий, организация их производства, эксплуатации и ремонта невозможны без достаточного уровня знаний в области материаловедения. И одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения является использование сверхвысоких скоростей при затвердевании (скорости охлаждения 105 К/с и выше). Структуры материалов, формирующиеся в такой сильно неравновесной охлажденной системе, существенно влияют на свойства (механические, магнитные, химические и др.) получаемого материала. Процесс кристаллизации в такой системе имеет особенности, которые проявляются в морфологии, скорости роста кристалла и сегрегации растворенных компонентов сплава. Так в условиях сверхбыстрого охлаждения расплава при скоростях  $\sim 10^6$  К/с наблюдается нерегулярная морфология затвердевания, причем соседствуют кристаллическая фаза и аморфная матрица. Разрабатываемые технологии получения быстрозакаленных материалов из расплава позволяют повысить растворимость легирующих элементов в твердом растворе, уменьшить размер зерна, получить метастабильные фазы и новые структурные состояния, которые кардинальным образом изменяют физико-химические свойства исходного сплава. Закономерно изменяются и свойства самого материала, которые определяют использование данного материала в технике.

Изучению подверглись тонкие фольги сплавов  $\text{Vi-Cu}$ . Данные фольги образцов сплавов  $\text{Vi-Cu}$  толщиной порядка 30...80 мкм получены в результате затвердевания капли расплава на внутренней поверхности быстровращающегося медного цилиндра. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [1], достигала  $\sim 10^6$  К/с. Поверхность фольги (поверхность А), прилегающая к кристаллизатору, производящему интенсивный теплоотвод, чем достигается сверхвысокая скорость охлаждения, имеет зеркальный вид. Противоположная поверхность (поверхность В) фольги имеет бугристую структуру, напрямую с охладителем не контактирует. Данный метод позволяют в непрерывном технологическом процессе, без дополнительных временных и энергетических затрат получать тонкие фольги микронных толщин. Разработка подобной методики является актуальной, поскольку, при современной миниатюризации применяемых в электронике устройств, необходимы высокоскоростные методики их пайки.



Висмут — металл малопластичный, поэтому его редко применяют для пайки металлов и сплавов. Однако сплавы, богатые висмутом, используют в качестве особо легкоплавких припоев. Использование легкоплавких припоев на основе Вi, позволяет исключить из паяного шва свинец и существенно снизить тепловые напряжения в изделиях, чем и обуславливается практико-ориентированная ценность разрабатываемых методов получения сплавов на основе Вi. Система Вi-Cu представляет собой простую систему эвтектического типа. Температура эвтектики составляет 270,6 °С, эвтектическая точка соответствует 0,46 % (ат.), 0,14 % (по массе) Cu [2]. В сплавах Вi-Cu обнаружено присутствие метастабильного соединения, которое образуется при температуре ниже 300 °С [2]. Указанное соединение можно наблюдать металлографически, закаливая сплавы, содержащие 25...75 % (ат.) Cu, после выдержки в течение 200 ч при различных температурах. Определить структуру соединения рентгенографически не представляется возможным [2].

Измерение микротвёрдости Н<sub>μ</sub> быстрозатвердевших фольг проводилось с помощью микротвердомера ПМТ-3. На алмазный индентор действовала нагрузка 10 г. Время нагружения составляло порядка 1 мин. При измерениях использовали фольги толщиной, лежащей в интервале 25...50 мкм, т. к. было установлено, что при такой толщине в измерения вклад, внесенный подложкой, на которую наклеена фольга, находится в пределах погрешности измерений. Толщина фольги определялась с помощью микроскопа ТПП-2. Фольги приклеивались клеем на стеклянные подложки, выдерживались некоторое время, необходимое для полимеризации клея, а затем производились измерения. Относительная погрешность измерения микротвёрдости не превышала 0,04. Зависимость микротвёрдости фольг сплавов Вi-Cu от концентрации Cu представлена на рисунке 1. Из рисунка 1 видно, что с увеличением концентрации Cu в сплаве микротвёрдость шероховатой поверхности увеличивается. Это обусловлено возникновением упругих деформаций, связанных с различием атомных размеров Вi и Cu, усилением ковалентных сил связи между атомами кристаллической решётки. Зависимость микротвёрдости стороны А связана с процессами равновесной растворимости Cu.

Быстрозатвердевшие фольги являются двухфазными, что подтверждается рентгеноструктурными исследованиями. С помощью растрового электронного микроскопа проведены исследования поверхностей и поперечного сечения фольг исследуемых сплавов. Электронно-микроскопические исследования показали, что быстрозатвердевшие фольги имеют микрокристаллическую структуру, а также выявили наличие включений второй фазы, как со стороны прилегающей к кристаллизатору А, так и с противоположной стороны Б.

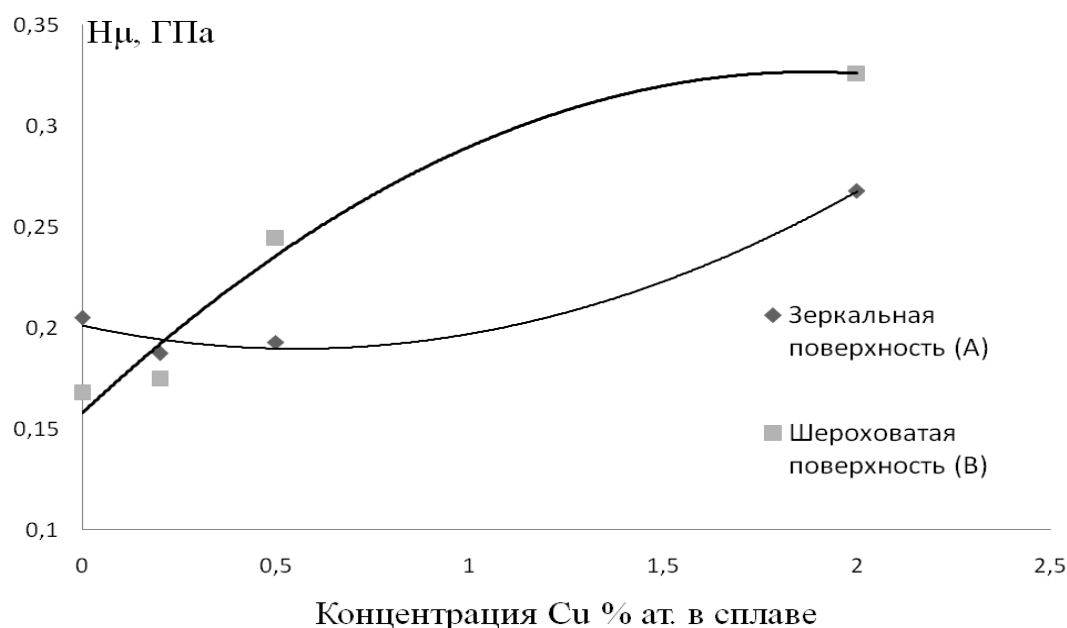


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости фольг сплавов Вi-Cu от концентрации Cu

Можно сделать вывод, что при сверхвысоких скоростях охлаждения происходит значительное переохлаждение жидкой фазы, которое обуславливает значительное увеличение скорости зарождения центров кристаллизации и тем самым приводит к формированию неравновесной микрокристаллической структуры. Таким образом, сверхбыстрая закалка из расплава позволяет получать образцы в виде тонких фольг с образованием микрокристаллической структуры, которая зависит как от условий сверхбыстрого охлаждения (в первую очередь от скорости охлаждения расплава), так и от концентрационного состава легирующих компонентов. Следует отметить, что актуальной проблемой физики конденсированных сред и материаловедения является разработка локально-неравновесного подхода к процессам высокоскоростного затвердевания, который позволит описывать свойства подобных структур.

### Литература

1. Мирошниченко, И.С. Закалка из жидкого состояния / И.С. Мирошниченко. – Москва: Металлургия, 1982. – 352 с.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Д44 Справочник: в 3 т. Т. 1 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – Москва: Машиностроение, 1996. – 992 с.: ил.
3. Вассерман, Г. Текстуры металлических материалов / Г. Вассерман, И. Гревен. – Москва: Металлургия, 1969. – 654 с.

**А.Е. Анисимова, Г.В. Крох**  
**(УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», Мозырь)**  
Науч. рук. **Г.В. Кулак**, д.ф.-м.н., профессор

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ БЕССЕЛЬ-ГАУССОВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ПРИ АКУСТООПТИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В КРИСТАЛЛАХ ПАРАТЕЛЛУРИТА**

**Введение.** Для целей оптимизации акустооптических (АО) устройств (модуляторов, дефлекторов, процессоров) необходимо знать влияние поляризации и амплитудного распределения падающих световых пучков на характеристики дифрагированного света [1]. К настоящему времени хорошо изучена дифракция гауссовых световых пучков на ультразвуке [см. напр. 1].

В настоящей работе с использованием двумерной теории связанных волн рассмотрена брэгговская АО дифракция бессель-гауссовых световых пучков [2], распространяющихся вблизи оптической оси одноосного гиротропного кристалла, на бегущей ультразвуковой (УЗ) волне.

**Теоретические результаты и обсуждение.** Предположим, что область, занятая ультразвуком, занимает пространство между плоскостями  $z=0$  и  $z=l$ . Световой пучок с некоторым распределением амплитуды распространяется в плоскости  $XZ$  под углом  $\varphi_1$  к фронту УЗ волны и дифрагирует под углом  $\varphi_2$ . Плоская УЗ волна имеет вектор смещения вида [1]:

$$U = U_0 \exp[i(Kx - \Omega)t], \quad (1)$$

где  $\Omega = 2\pi f$  – центральная частота УЗ источника,  $U_0$  – амплитуда УЗ волны;  $K = \Omega/v$ , ( $v$  – фазовая скорость УЗ волны). УЗ волна создает периодическое в пространстве и времени изменение тензора диэлектрической проницаемости  $\Delta\varepsilon_{ij}$ , связанное с тензором упругих деформаций  $U_{ik} = (\nabla_k U_i + \nabla_i U_k) / 2$  и тензором фотоупругих постоянных  $P_{ijkl}$ .

Из уравнений Максвелла и материальных уравнений следует волновое уравнение для напряженности светового поля в области, занятой ультразвуком [1]. Решение волнового уравнения ищем в виде суммы двух связанных волн с медленно изменяющимися амплитудами:

$$E = e_{\tau 0} A_0(x, z) e^{i[k_0 r - \omega t]} + e_{\tau 1} A_1(x, z) e^{i[k_1 r - \omega_1 t]}, \quad (2)$$

где  $e_{\tau 0,1}$  – единичные векторы эллиптической поляризации дифрагированных волн;  $\Omega_1 = \omega \pm \Omega$ , где  $\omega$  – частота световой волны;

$k_{0x} = (\omega/c)n_0 \sin \varphi_1$ ,  $k_{0z} = (\omega/c)n_0 \cos \varphi_1$ ,  $k_{1x} = [ \{ (\omega \pm \Omega)/c \} n_1 \sin \varphi_2 ]$ ,  
 $k_{1z} = [ \{ (\omega \pm \Omega)/c \} n_1 \cos \varphi_2 ]$  – волновые векторы падающей и дифрагировавшей волны;  $c$  – скорость света в вакууме;  $n_0 = \sqrt{\varepsilon_{ij} \tilde{k}_{0i} \tilde{k}_{0j}}$ ,  
 $n_1 = \sqrt{\varepsilon_{ij} \tilde{k}_{1i} \tilde{k}_{1j}}$ , где  $\tilde{k}_0$  ( $\tilde{k}_1$ ) – единичные векторы в направлении распространения дифрагированной волны нулевого (первого) порядка. Подставив выражение (2) в волновое уравнение для напряженности светового поля  $E$  получим систему уравнений связанных волн, общее решение которой для амплитудных распределений пучков дифрагированных волн нулевого  $A_0(r)$  и первого  $A_1(s)$  порядка можно представить в виде:

$$A_0(r) = A(r) - 0,5 v_{oe(eo)} \int_{-1}^{+1} A[r - l(1 - \xi) \sin \varphi_1] \frac{J_1[v_{oe(eo)} \sqrt{1 - \xi^2}]}{\sqrt{1 - \xi^2}} d\xi, \quad (3)$$

$$A_1(s) = i0,5 \int_{-1}^{+1} A[l(1 - \xi) \sin \varphi_2 - s] J_0[v_{oe(eo)} \sqrt{1 - \xi^2}] d\xi, \quad (4)$$

где  $v_{oe(eo)} \sim \sqrt{2I_a / \rho v^3}$  – коэффициент АО модуляции при  $o-e$  ( $e-o$ ) преобразовании;  $v$  ( $I_a$ ) – фазовая скорости (интенсивность) ультразвука,  $\rho$  – плотность кристалла.

Предполагается, что падающий световой пучок имеет бessel-гауссово амплитудное распределение [2]:

$$A(r') = \exp[-(r'/2w^2)] J_0(k_0 \gamma r'),$$

где  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ ,  $\lambda_0$  – длина световой волны в вакууме,  $\gamma$  – параметр конусности светового пучка,  $w$  – полуширина гауссовой составляющей пучка,  $J_{0,1}(x)$  – функция Бесселя первого рода, нулевого и первого порядка.

Численные расчеты на основании выражений (3)–(4) проводились для АО дифракции бessel-гауссовых световых пучков с длиной волны  $\lambda_0 = 0,63$  мкм, распространяющихся вблизи оптической оси кристалла  $TeO_2$ , на медленной сдвиговой УЗ волне с фазовой скоростью  $v = 617$  м/с.

На рисунке 1 представлена зависимость нормированной амплитуды дифрагированного светового пучка нулевого ( $A_0^n = |A_0| / |A_{0\max}|$ ) и первого ( $A_1^n = |A_1| / |A_{1\max}|$ ) порядка от поперечной координаты  $r$  и  $s$  соответственно. Из рисунка 1 а,б следует, что для падающего светового пучка, близкого по форме к бesselевому, дифрагированный пучок нулевого порядка имеет форму, близкую к бesselевому амплитудному распределению. При этом не симметричная форма пучка обусловлена акустооптическим дифракционным процессом.

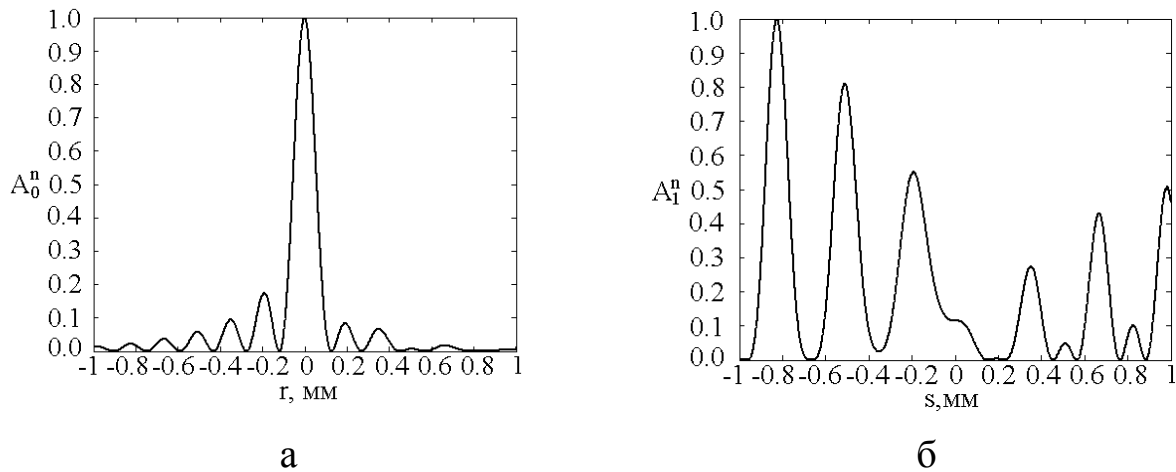


Рисунок 1 – Нормированная амплитуда дифрагированного светового пучка нулевого  $A_0^n$  (а) и первого  $A_1^n$  (б) порядка

для падающего Бессель-гауссового светового пучка с  $w=10^{-3}$  мм ( $l=5$  мм,  $n_o = 2,21$ ;  $n_e = 2,35$ ;  $\gamma=2$  мрад,  $f=30$  МГц,  $p_{11}=0,0074$ ;  $p_{12}=0,187$ ;  $p_{44}=-0,17$ ;  $\rho = 5,72$  кг/см<sup>3</sup>,  $I_a=1$  Вт/см<sup>2</sup>)

Дифрагированные световые пучки первого порядка претерпевают значительные амплитудные преобразования, причем падающий бессель-гауссов пучок приобретает многопиковую ( $w=10^{-3}$  мм) или зигзагообразную ( $w=10^{-4}$  мм) форму в первом дифракционном порядке. Для гауссовых падающих световых пучков ( $\gamma \rightarrow 0$ ) дифрагированные световые пучки нулевого и первого порядка имеют гауссово амплитудное распределение [1].

**Заключение.** Полученные результаты показывают, что при дифракции световых пучков, распространяющихся вблизи оптической оси одноосного кристалла, на медленной сдвиговой ультразвуковой волне, дифрагированные световые пучки первого порядка имеют форму, существенно отличающуюся от формы падающих пучков; дифрагированные пучки нулевого порядка испытывают менее существенные изменения формы.

### Литература

1. Кулак, Г.В. Основы акустооптики гиротропных кристаллов / Г.В. Кулак, Мн.: Изд. Центр БГУ. – 2005. – 127 с.
2. Jiang, Zhi-Ping. Supper-Gaussian-Bessel beam / Zhi-Ping Jiang // Opt. Commun. – 1996. – V.125. – P. 207–210.

**Т.В. Артёменко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**  
Науч. рук. **А.В. Семченко, к.ф.-м.н., доцент**

## **ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОД СИНТЕЗА ГИДРОФИЛЬНЫХ ТИТАНОСИЛИКАТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Тонкоплёночные покрытия, синтезированные золь-гель методом на основе оксидов титана и кремния, характеризуются высокой оптической однородностью, механической прочностью и представляют собой особый вид материалов, которые могут найти своё применение на поверхности линз, зеркал и стёкол. Широкое применение гидрофильные покрытия нашли в методиках предупреждения запотевания защитных и спортивных очков.

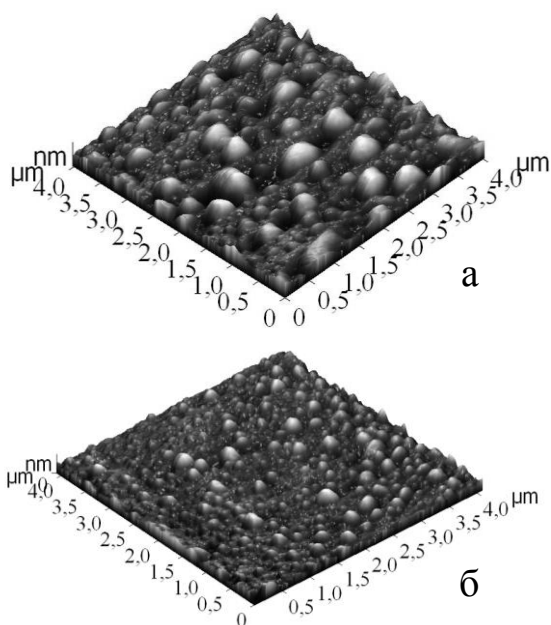


Рисунок 1 – Топография поверхности синтезированных образцов

Получение коллоидного раствора основано на реакции гидролиза эфиров ортокремневой и ортитановой кислот. В работе рассматривается синтез пленкообразующих растворов на основе тетраэтилортосиликата ( $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ) и этоксида титана ( $\text{C}_8\text{H}_{20}\text{O}_4\text{T}$ ). После смешивания исходных компонент происходит созревание, в золе проходят процессы гидролиза и поликонденсации. Нанесение золя на подложку возможно методами окунания и центрифугирования. После нанесения золя на поверхность образцы помещают в муфельную печь и нагревают до температуры от  $400^\circ\text{C}$ , затем извлекают и оставляют остывать на воздухе.

Методом атомно-силовой микроскопии была исследована топография поверхности полученных пленок. Поверхность пленок однородная

с наличием островковых образований в виде глобул, на размер которых влияет температура обработки. Так, при температуре обработки 200 °С (рисунок 1а) размер глобул у основания 700–800 нм, высота 60–80 нм. При температуре обработки 400 °С (рисунок 1б) размер глобул у основания 350–450 нм, высота 27–28 нм.

Установлено, что при меньшей температуре обработки покрытия обладают лучшими гидрофильными свойствами. Это может быть связано как с уменьшением размера глобул, так и с наличием на поверхности пленки химически адсорбированных групп ОН.

### **Литература**

1. Максимов А. И., Мошников В. А., Таиров Ю. М., Шилова О.А. Основы золь-гель технологии нанокompозитов: Монография. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2007. – 156 с.

**Е.С. Белоусова, М.Ш. Махмуд (УО БГУИР, Минск)**  
Науч. рук. **Л.М. Лыньков**, д.т.н., профессор

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА ШУНГИТОВЫХ КРАСОК**

Шунгитовые породы Карелии – высокоэффективное энергосберегающее сырье. Энергосберегающий потенциал породам сообщает уникальное сочетание состава, структуры и свойств. В одной тонне породы около 300 кг шунгитового углерода по активности превосходящего кокс. Этот углерод находится в исключительно развитом (до 20 м<sup>2</sup>/г) и тесном контакте с кварцем, содержание которого достигает 55 %. Благодаря такому сочетанию шунгитового углерода с кварцем химическая реакция между ними протекает настолько активно, что в термических процессах производства литейного чугуна, ферросплавов, карбида и нитрида кремния, металлургии кобальта и никеля одна тонна шунгитовой породы заменяет до одной тонны кокса.

Шунгит обладает высокой электропроводностью, характеризуется высокой механической плотностью и прочностью, отличной адгезией ко всем связующим, а также хорошими экранирующими свойствами.

На основе шунгита созданы порошковые краски, широкая гамма электропроводных и радиоэкранирующих строительных материалов. Шунгитовые краски являются экологически чистыми, не выделяют при нагреве никаких вредных веществ. Шунгитовые краски могут быть использованы для создания инфракрасных нагревателей малой удельной

мощности (от 1 до 10 Вт/дм<sup>2</sup>). Такие нагреватели являются безопасными в пожарном и ожоговом отношении [1].

Проведены исследования красок содержащих в своем составе порошок шунгита, поэтому было изготовлено 2 образца: образец № 1 в своем составе включал масляную краску с шунгитом и силикагелем, образец № 2 состоял из водной краски с теми же добавками. Полученные растворы наносились равномерным слоем на ДВП. Далее образцы подвергались термической обработке воздействием открытого пламени температурой 1700 °С в течении 28...60 с. Оба образца вследствие воздействия открытого пламени не прогорели и сохранили свои механические свойства (рисунок 1).



Рисунок 1 – Исследование термического воздействия открытым пламенем температурой 1700 °С образцов

Были проведены измерения коэффициентов отражения и передачи для образцов до и после отжига.

Для измерения экранирующих характеристик использовался панорамный измеритель ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводным трактом, который обеспечивает выделение и детектирование уровней падающей и отраженной волн электромагнитного излучения, прошедших и отраженных от образца. Калибровка оборудования перед началом измерений экранирующих характеристик производилась по стандартной методике [2].

Для исследуемых образцов экспериментально были получены значения коэффициента передачи, который по абсолютной величине равен ослаблению ЭМИ, и коэффициента стоячей волны по напряжению, переведенного в коэффициент отражения в диапазоне частот 8–12 ГГц. Относительная погрешность установки составляет 5 %.

Как видно из рисунка 1, в результате воздействия открытого пламени коэффициент отражения у образца №2 существенно не изменился,



в то время как у образца № 1 значения коэффициента отражения после отжига увеличилось на 1,8...2 дБ в диапазоне частот 8... 12 ГГц. Необходимо отметить, что частотные характеристики образца № 1 до отжига совпадают с образцом № 2 после отжига (рисунок 1а). В случае использования металлического отражателя при измерениях коэффициент отражения образца № 1 уменьшается с -1,5...-2,5 дБ (до отжига) до -2,4...-3,4 дБ (после отжига). У образца №2 до отжига коэффициент передачи имеет значения -2... -3 дБ, после отжига -1,1... -2,4 дБ в диапазоне 8–12 ГГц.

Коэффициент передачи наименьший у образца № 1 после отжига, его значения изменяются в пределах -9...-11 дБ, в то время как для образца № 2 значения коэффициента передачи составляет -7,9... -10 дБ до и после отжига.

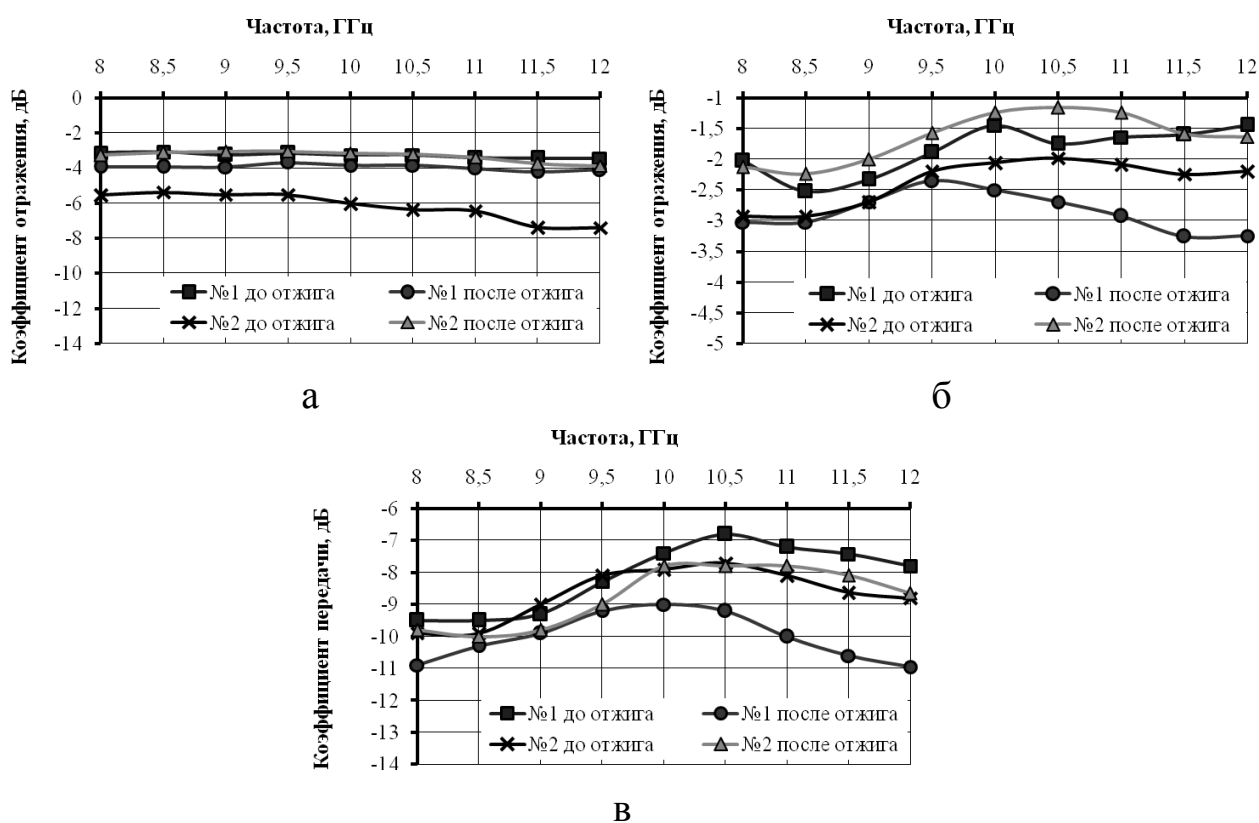


Рисунок 1 – Графики частотной зависимости:

а – коэффициента отражения без металла;

б – коэффициента отражения с металлом;

в – коэффициента передачи в диапазоне частот 8–12 ГГц

Таким образом, можно сделать вывод, что термический отжиг повысил отражающие способности образца с масляной краской, силикагелем и шунгитом, но необходимо заметить, что меньшее электромагнитное излучение пропускает образец с водной краской, шунгитом и силикагелем, при этом оба образца обладают огнестойкими свойствами и способны выдерживать высокие температуры в течение 1 минуты.

## Литература

1. Шунгит – наполнитель красок. Энергосбережение. Экологические Шунгитовые краски // НПО Экология [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : <http://www.promc.ru/schungite/index.php?page=dyes>. – Дата доступа : 14.03.2013.

2. Криштопова, Е.А. Влияние свойств выбранного связующего на эффективность поглотителей ЭМИ, изготовленных из порошкообразного шунгита / Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. – 2007. – № 6. – С. 3–8.

**П.С. Богдан (УО БНТУ, Минск)**

Науч. рук. **М.Г. Киселев**, д.т.н., профессор

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОЛОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА С ЦЕЛЬЮ ПРИДАНИЯ ЕЙ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ**

В предшествующих исследованиях изучалось использование электроконтактной обработки (ЭКО) поверхности проволочного инструмента с точки зрения ее влияния на повышения его режущей способности при выполнении операции распиливания твердых материалов с применением абразивных частиц, подаваемых в зону обработки в составе абразивной суспензии. На основании анализа полученных экспериментальных данных было установлено, что после ЭКО в результате электрической эрозии на поверхности проволочного инструмента образуются характерные лунки (углубления). В процессе распиливания они выполняют роль конструктивных элементов, препятствующих перекатыванию абразивных частиц в зоне скользящего контакта поверхностей инструмента и заготовки. В результате ее материал подвергается воздействию большего, чем при использовании инструмента с исходной (гладкой) поверхностью, количества абразивных частиц, находящихся в зоне обработки в закрепленном состоянии. По сравнению с перекатывающимися, они вызывают более интенсивное разрушение материала заготовки, обуславливая тем самым повышение режущей способности (интенсивности распиливания) проволочного инструмента с модифицированной за счет ЭКО поверхностью в сравнении с аналогичным показателем у инструмента, применяемого в исходном ее состоянии.

Специфической особенностью формируемых на поверхности инструмента лунок является наличие по их краям характерных наплывов металла, выходящих за исходный диаметр проволоки. В процессе ЭКО

они образуются в результате выброса расплавленного металла из лунки и его последующего затвердевания по ее краю в месте пересечения с поверхностью проволоки. В принципе, эти наплывы металла на поверхности проволоки оправданно рассматривать как режущие элементы, способные в процессе распиливания разрушать (срезать) материал заготовки, твердость которого ниже твердости металлической проволоки, отказавшись при этом от использования абразивного материала. Следовательно, в этом случае применение электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента направлено на придание непосредственно ей режущей способности.

В этой связи, цель данной работы заключалась в экспериментальной оценке эффективности использования электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента для обеспечения его режущей способности.

Для исследований использовались специально созданные лабораторные установки по электроконтактной обработке проволочного инструмента (использовался проволочный электрод-инструмент, напряжение накопительного конденсатора изменялось ступенчато от 36 до 45 В) и по определению режущей способности проволочного инструмента (на которой инструмент закреплялся на специальной рамке, прижимался к заготовке постоянным усилием и совершал возвратно-поступательное движение). Для численного определения режущей способности использовался показатель интенсивности распиливания, выраженный в отношении площади полученного пропила ко времени распиливания. Высота наплывов измерялась электронным микрометром.

Влияние напряжения накопительного конденсатора при выполнении ЭКО проволочного инструмента на высоту наплывов металла, получаемых на его поверхности, а также на значение интенсивности распиливания им образцов из различных материалов отражают данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Высота наплывов металла на поверхности проволочного инструмента и значение интенсивности распиливания им образцов из различных материалов в зависимости от напряжения накопительного конденсатора

| Напряжение накопительного конденсатора, В | Высота наплывов металла на модифицированной поверхности проволочного инструмента, мкм | Интенсивность распиливания образцов из различных материалов, мм <sup>2</sup> /мин |                     |       |        |
|---|---|---|---------------------|-------|--------|
|   |   | Мрамор  | Органическое стекло | Кость | Дерево |
| 36  | 4   | 0   | 0,15                | 1,2   | 0,27   |
| 42  | 5   | 0,45  | 0,3                 | 1,2   | 0,45   |
| 75  | 18  | 2,4   | 3,3                 | 8     | 16,2   |

Из анализа этих данных следует, что с повышением напряжения накопительного конденсатора в ходе выполнения электроконтактной обработки проволочного инструмента, высота формируемых на его поверхности наплывов металла нелинейно возрастает, достигая при  $U = 75$  В 18 мкм, против 4 мкм при  $U = 36$  В. Такая зависимость объясняется тем, что с повышением  $U$  возрастает энергия электрического импульса, действующего между электродами, а соответственно, увеличивается размер образовавшейся на поверхности проволочного образца лунки. Это сопровождается возрастанием количества выброшенного из нее расплавленного металла, в результате чего увеличивается высота его напыла по ее краям. Следовательно, путем изменения энергии импульса за счет регулирования напряжения накопительного конденсатора, его емкости и длительности протекания импульса, можно целенаправленно влиять на высоту получаемых на обрабатываемой поверхности наплывов металла.

#### Выводы

1. Установлено, что геометрические параметры наплывов (их форма и высота) зависят от энергии импульса в процессе электроконтактной обработки поверхности проволоки. Так, при низких ее значениях (напряжение накопительного конденсатора  $U = 36$ – $42$  В), образуются напылы небольшой высоты (4–5 мкм), которые имеют скругленную форму поперечного сечения и характеризуются плавным сопряжением с исходной поверхностью проволоки, а поэтому они не способны осуществлять процесс резания. В случае большой энергии импульса ( $U = 75$  В) одновременно с увеличением высоты наплывов до 18 мкм изменяется форма их поперечного сечения, которая характеризуется наличием выступающей острой кромки в месте сопряжения с исходной поверхностью проволоки, т. е. формируется элемент в виде миниатюрного фасонного резца, благодаря чему она приобретает режущую способность.

2. Получены экспериментальные данные, отражающие влияние напряжения накопительного конденсатора (энергии импульса) в процессе электроконтактной обработки исходной поверхности стального проволочного инструмента на интенсивность распиливания им образцов. На основании их анализа установлено, что с увеличением  $U$  в диапазоне от 36 до 75 В интенсивность распиливания образцов нелинейно возрастает, а с повышением их твердости она снижается.

3. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что применение электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента является эффективным и простым в реализации способом придания ей режущей способности, что достигается путем формирования на ней, за счет явления электрической эрозии, конструктивных элементов (наплывов металла), выполняющих роль

миниатюрных фасонных резцов, обеспечивающих при распиливании (вырезании) процесс резания материала заготовки, если его твердость ниже твердости проволоки.

**К.А. Богданчук (БНТУ, Минск)**

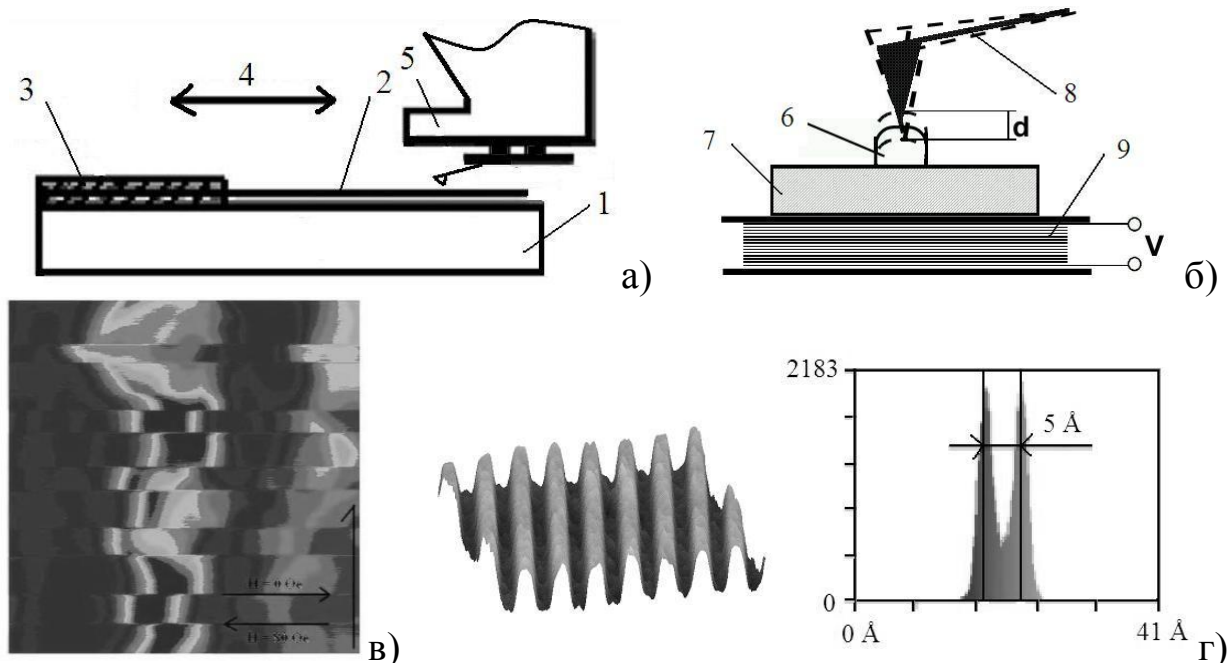
Науч. рук. **Д.А. Степаненко**, к.т.н., доцент

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**

Измерение магнитострикционных свойств материалов является актуальной задачей в связи с широким применением эффектов прямой и обратной магнитострикции в науке и технике. В частности, прямой магнитострикционный эффект применяется в прецизионных приводах, а эффект обратной магнитострикции – в датчиках различных физических величин, таких как перемещения и механические напряжения. В обоих случаях требуется знание магнитострикционных свойств используемого в приводе или датчике материала. Основной проблемой при измерении магнитострикционных свойств материалов является необходимость регистрации очень малых деформаций (в случае прямого магнитострикционного эффекта) или изменений намагниченности (в случае эффекта обратной магнитострикции). Эта проблема становится особенно критической при необходимости измерения магнитомеханических параметров материалов со слабо выраженными магнитострикционными свойствами. В работе [1] авторами предложен способ измерения магнитострикционных коэффициентов таких материалов, основанный на регистрации переменного магнитного поля, возникающего в материале в результате эффекта обратной магнитострикции при возбуждении в нем стоячих ультразвуковых волн. Однако для подтверждения достоверности результатов измерений, полученных с помощью этого метода, требуется определение магнитострикционных коэффициентов исследуемого материала с помощью других методов. В качестве одного из таких методов потенциально может быть использован метод атомно-силовой микроскопии (АСМ), позволяющий измерять абсолютные деформации материала с точностью до 0,1 нм (1 Å).

Возможность измерения магнитострикционных деформаций с помощью АСМ доказывается рядом исследований [2, 3]. В частности, авторы работы [2] использовали АСМ для измерения магнитострикционных деформаций проволоочных образцов никеля, пермаллоя и меди.

Схема измерения и пример экспериментальных данных приведены на рисунках 1а и 1в.



1 – подложка; 2 – образец (проволока); 3 – клей; 4 – направление сканирования; 5 – сканер с зондом; 6 – исследуемый объект (магнитная точка); 7 – кремниевая подложка; 8 – зонд; 9 – катушка  
 Рисунок 1 – Измерение магнитострикционных деформаций с помощью АСМ: а)-б) схемы измерения [1, 2]; в)-г) примеры экспериментальных данных [1, 2]

Исследуемый образец в виде проволоки 2 фиксировался клеем 3 на подложке 1, закрепляемой в держателе образца микроскопа. Магнитное поле прикладывалось вдоль оси образца с помощью электромагнита с горизонтально расположенным U-образным сердечником. Сканирование производилось в направлении оси образца. При последовательном включении и выключении магнитного поля происходил сдвиг топографических элементов поверхности образца в направлении магнитострикционной деформации и их последующий возврат в исходное состояние, что проявляется на топографической карте поверхности в виде разрывов изолиний высоты. В частности на рисунке 1в наблюдается 10 разрывов, соответствующих 5-кратному включению и выключению поля – направлению сканирования соответствует координата x. Величина смещений используется для расчета относительной магнитострикционной деформации образца.

Авторы работы [3] использовали АСМ для измерения магнитострикционных деформаций цилиндрических образцов никеля и кобальта, а

также магнитных точек кобальта и никеля на кремниевой подложке. Схема измерения и пример экспериментальных данных приведены на рисунках 1б и 1г.

Приложение магнитного поля к образцам осуществлялось в направлении, перпендикулярном плоскости сканирования, с помощью катушки 9, расположенной вокруг держателя образца микроскопа. На катушку подавались низкочастотные (с частотой 10 Гц) прямоугольные импульсы напряжения, соответствующие периодическому включению и выключению магнитного поля. При этом происходило смещение поверхности образца в направлении, перпендикулярном плоскости сканирования, с ее последующим возвратом в исходное положение, что проявляется на трехмерном изображении поверхности (рисунок 1г) в виде периодического псевдорельефа, высота которого определяется величиной магнитострикционных деформаций. Для определения величины деформаций строится гистограмма распределения высот точек поверхности, на которой наблюдаются два четко выраженных максимума. Разность высот, соответствующих этим максимумам, принимается за величину абсолютной магнитострикционной деформации. Чтобы избежать влияния физического микрорельефа поверхности на результаты измерений, сканирование производится на малом участке поверхности образца с размером порядка  $5 \times 5$  нм, который при отсутствии магнитострикционных деформаций является атомарно-гладким.

При измерении очень малых магнитострикционных деформаций предпочтительным является использование методики согласно работе [2], так как вертикальное разрешение атомно-силового микроскопа всегда выше его разрешения в плоскости сканирования. Для экспериментального тестирования этой методики планируется измерение магнитострикционных деформаций образцов из анодного никеля с помощью атомно-силового микроскопа NT-206 ОДО «Микротестмашины» (Республика Беларусь). Результаты измерений будут использованы для подтверждения достоверности результатов, полученных с помощью предложенного авторами ультразвукового метода [1].

### Литература

1. Bogdanchuk, K. Measurement of magnetostrictive properties of materials by means of ultrasonic method / K. Bogdanchuk, D. Stepanenko, V. Minchenya // 56th Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences "Open Readings 2013". – Vilnius, 2013. – P. 83.
2. Papageorgopoulos, A.C. Magnetostriction measurements with atomic force microscopy: a novel approach / A.C. Papageorgopoulos [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2004. – Vol. 268. – P. 198–204.

3. Wittborn, J. Nanoscale studies of functional materials using scanning probe microscopy: PhD Thesis / J. Wittborn. – Stockholm, 2000. – 81 p.

**О.В. Бойправ, Д.В. Столер, М.Р. Неамах (УО «БГУИР», Минск)**  
Науч. рук. **Т.В. Борботько, д.т.н., доцент**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ШЛАМА ОЧИСТКИ ВАГРАНОЧНЫХ ГАЗОВ**

Композитные материалы (КМ) образуются в результате совмещения армирующих элементов (наполнителей) и матрицы (связующего). Данные материалы характеризуются свойствами и преимуществами, которыми не обладают их компоненты по-отдельности. Основные достоинства КМ заключаются в их высокой удельной прочности, жесткости, износоустойчивости [1]. Кроме того, КМ характеризуются высокой технологичностью, т. к. путем изменения их компонентов в большинстве случаев возможно управляемо изменять их физические характеристики, в перечень которых входят параметры неоднородностей, образующих микрорельеф поверхности (высота шероховатостей, глубина дефектов). Цель настоящей работы состояла в исследовании микрорельефа поверхности КМ, наполнителями которых являются различные типы шлама очистки ваграночных газов (ШОВГ), каждый из которых характеризуется определенным размером фракций. Для проведения исследований были изготовлены три образца КМ. В качестве связующего вещества использовался силикон. В образце № 1 размер фракций наполнителя составлял 5 мкм, в образцах № 2 и № 3 – 20 мкм и 30 мкм соответственно. Соотношение масс связующего и наполнителя – 80 % : 20 %. Использование силикона в качестве связующего вещества при изготовлении КМ обусловлено следующими его преимуществами: может быть отформован изделия сложной формы, а также превращен в массу, затвердевающую при комнатной температуре; сохраняет эластичность при температурах, при которых иные связующие (например, смолы) либо становятся хрупкими, либо превращаются в клейкую массу; устойчив к воздействиям окружающей среды. Преимущества использования ШОВГ в качестве наполнителя при изготовлении КМ заключаются в его низкой стоимости, а также в том, что он характеризуется однородностью размера фракций, т. е. не требует дополнительного измельчения либо просеивания. Размер фракций ШОВГ зависит от того, на какой стадии фильтрации ваграночных газов он был отобран.



Измерения параметров микрорельефа поверхности изготовленных КМ были произведены с помощью измерительной системы, включающей в себя микроскоп металлографический агрегатный МЕТАМ-Р1 и фотоэлектрический окулярный микрометр ФОМ-2-16, состоящий из окулярного микрометра и электронно-вычислительного устройства. Процесс измерений включал в себя три этапа. На первом этапе осуществлялась настройка микроскопа в соответствии с его техническим описанием. На втором этапе проводились измерения параметров, необходимых для расчета значения увеличения объектива микроскопа ( $V$ ):  $V = W \cdot Q / Z \cdot C$ , где  $W$  – цена импульса, равная 4 мкм,  $Q$  – число импульсов, соответствующих длине измеряемого отрезка в плоскости изображения объект-микрометра,  $Z$  – число делений объект-микрометра,  $C$  – цена деления шкалы объект-микрометра. Установлено, что значение  $V$  равно 13,71. На третьем этапе на предметном столике микроскопа размещался один из образцов, после чего с помощью объектива осуществлялась фокусировка микроскопа на резкое изображение измеряемой неоднородности. Далее микрометр разворачивался таким образом, чтобы его подвижный штрих совпадал с краем измеряемой неоднородности. После этого при помощи электронно-вычислительного устройства автоматически производился расчет значения размера неоднородности на основании формулы  $L_i = W \cdot Q_i / V$ , где  $Q_i$  – число импульсов, соответствующих размеру измеряемой неоднородности. После проведения расчетов значений размеров неоднородностей поверхности образца определялись величины среднеквадратического отклонения (СКО) случайной составляющей погрешности измерений ( $y$ ), исходя из формулы  $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (L_{cp} - L_i)^2 / (n - 1)}$ , где  $L_{cp}$  – среднее арифметическое результатов нескольких измерений,  $L_i$  – результат одного измерения,  $n$  – количество измерений, равное в данной работе 10. Установлено, что размеры шероховатостей и дефектов с учетом СКО у образца №1 соответственно составляют  $12,4 \pm 4,7$  мкм и  $24,9 \pm 8,2$  мкм, у образца № 2 –  $28,8 \pm 9,2$  мкм и  $24,4 \pm 4,5$  мкм, у образца № 3 –  $39,8 \pm 8,7$  мкм и  $28,4 \pm 8,1$  мкм.

Таким образом, размер фракций наполнителя КМ оказывает влияние на размеры шероховатостей их поверхности, но не влияет на размеры дефектов последней. Микрофотографии поверхности исследованных КМ представлены на рисунке 1. Образец № 1 характеризуется наибольшим объемным содержанием наполнителя. В связи с этим он, по сравнению с образцами № 2 и № 3, обладает наибольшими пористостью поверхности и количеством шероховатостей и дефектов на единицу площади.

Параметры микрорельефа поверхностей материалов оказывают влияние на их значения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ). При угле падения излучения диапазона длин волн 370...1000 нм, равном 65°, и угле наблюдения 45° значения КСЯ для образца №1 составляют 0,55...0,7, для образцов №2 и №3 – 0,045...0,055 и 0,04...0,05.

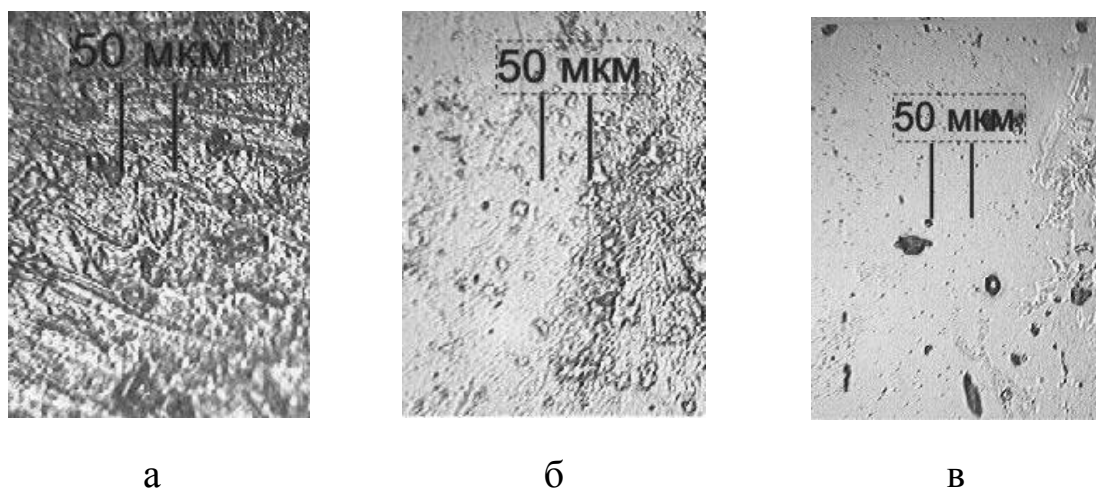


Рисунок 1 – Микрофотография поверхности образца № 1 (а), образца № 2 (б), образца № 3 (в)

При взаимодействии излучения видимого и инфракрасного диапазонов длин волн с КМ наблюдается процесс его рассеяния на неоднородностях поверхности последних. Количественной характеристикой данного процесса является параметр, называемый сечением рассеяния. Если длина падающей на поверхность КМ волны ( $\lambda$ ) меньше размеров неоднородностей этой поверхности ( $L$ ), то значения сечения равны  $6\pi L^2$ . То есть с увеличением размера неоднородностей поверхности материала рассеяние излучения на них усиливается. Это приводит к снижению КСЯ данного материала [2].

Таким образом, изменяя размер фракций наполнителей КМ, возможно управляемо изменять размер шероховатостей поверхности и, как следствие, оптические характеристики последних.

### Литература

1. Горчаков, Г. И. Строительные материалы / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1986. – 688 с.
2. Прохоров, А. М. Физическая энциклопедия / А. М. Прохоров [и др.]. – М. : «Большая российская энциклопедия», 1994. – 704 с.

**В.Я. Гусейнова (УО «БГПУ им. М. Танка», Минск)**

Науч. рук. **К.А. Саечников**, к.ф.-м.н., доцент

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИНАРНОЙ СМЕСИ КРАСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛАЗЕРОВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

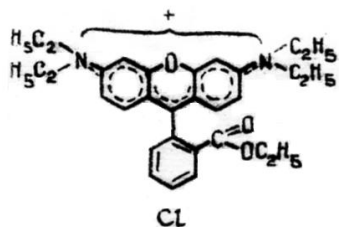
В лазерах на красителях в качестве активных сред используются сложные органические соединения, обладающие интенсивными полосами поглощения в ближней УФ -, видимой и ближней ИК- областях спектра. Среди обширного семейства лазеров на красителях особый интерес представляют лазеры с распределенной обратной связью (РОС), позволяющие без применения внешнего резонатора и спектрально-селективных элементов получать узкую линию генерации, оперативно перестраиваемую в пределах контура усиления активной среды. В настоящее время известно несколько тысяч различных марок красителей, причем все они синтезированы искусственным путем. Для органических красителей характерно сильное поглощение света в видимой области спектра. Спектр поглощения лазерного красителя должен перекрываться со спектром излучения источника накачки. Если источником накачки служит лазер с монохроматическим излучением, краситель должен обладать сильным поглощением на этой длине волны. В принципе малый коэффициент поглощения можно компенсировать высокой концентрацией красителя, однако это часто нежелательно, поскольку одновременно увеличивается поглощение на длине волны генерации и, следовательно, возрастают потери в резонаторе.

Для осуществления перестройки частоты генерации в широкой спектральной области требуются красители с необычайно широкой полосой флуоресценции. Как правило, для получения генерации в РОС-лазере обычно применяются однокомпонентные растворы красителей, однако для перекрытия некоторых областей спектра необходимо использовать их бинарные растворы. Использование в РОС-лазере бинарной смеси растворов красителей представляет практический интерес с двух точек зрения.

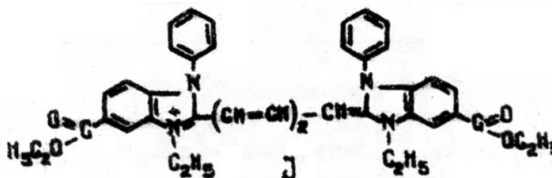
Во-первых, такие растворы позволяют повысить эффективность генерации тех красителей, которые слабо генерируют в однокомпонентном растворе или не генерируют вообще вследствие малого поглощения на длине волны лазера накачки. Во-вторых, такие смеси расширяют диапазон перестройки длины волны генерации, достигаемый на одном растворе.

Цель работы заключалась в приготовлении бинарной смеси красителей для лазеров с распределенной обратной связью, обладающей всеми вышеперечисленными свойствами.

В работе использовалась приготовленная бинарная смесь этанольных растворов двух красителей: ксантеновый краситель – родамин 4С (донор) и полиметиновый краситель-1,1'-дифенил, 3,3'-диэтил, 5,5'-дикарбоэтокси- 2,2'- имидадикарбоцианин йодид (акцептор). На рисунке 1 приведены структурные формулы использованных красителей.



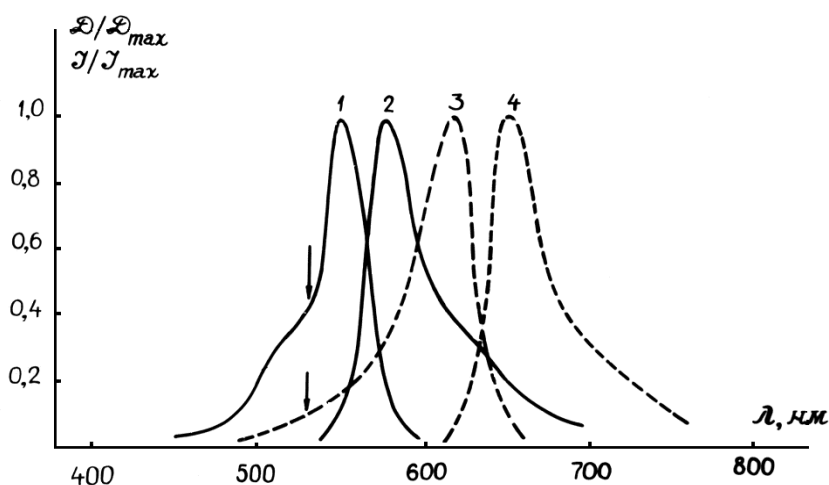
Родамин 4С



Полиметиновый краситель

Рисунок 1 – Структурные формулы красителей

На рисунке 2 представлены спектры поглощения и люминесценции использованных красителей.



1,2–родамин 4С ( $\lambda_{\text{max поглол}} = 554$  нм;  $\lambda_{\text{max люм}} = 578$  нм);  
 3,4 –1,1'-дифенил, 3,3'-диэтил, 5,5'- дикарбоэтокси- 2,2'-  
 имидадикарбоцианин йодид ( $\lambda_{\text{max поглол}} = 618$  нм;  $\lambda_{\text{max люм}} = 652$  нм).

Рисунок 2 – Спектры поглощения (1,3) и люминесценции (2,4)

Возбуждение бинарной смеси осуществлялось вертикально поляризованным излучением второй гармоники ( $\lambda = 532$  нм) АИГ:Nd<sup>+3</sup>–лазера. Спектральная ширина излучения второй гармоники составляла  $\Delta\lambda_{0,5} \approx 6 \cdot 10^{-3}$  нм, энергия импульса достигала  $E_T \sim 60$  мДж, длительность

$\tau_{0,5} \approx 17$  нс, частота следования импульсов  $f$  – до 50 Гц. Спектральные характеристики измерялись с помощью автоматизированного спектрографа S 3804 (спектральное разрешение  $\sim 0,01$  нм).

Длина зоны возбуждения раствора красителя (т. е., формируемой в активной среде РОС-структуры) была равна  $L_{РОС} = 12$  мм при высоте  $h \approx 0,1$  мм.

Из приведенных на рисунке 2 спектров видно, что излучение второй гармоники лазера на АИГ: $\text{Nd}^{+3}$  ( $\lambda = 532$  нм) слабо поглощается полиметиновым красителем. Вследствие этого, при мощности накачки на длине волны  $\lambda = 532$  нм вплоть до 300 кВт генерацию в этанольном растворе полиметинового красителя возбудить не удалось.

Однокомпонентный этанольный раствор эффективно генерирует при его возбуждении излучением второй гармоники АИГ: $\text{Nd}^{+3}$  –лазера. При мощности импульса накачки равной 120 кВт коэффициент полезного действия генерации этанольного раствора родамина 4С достигал 25 % при спектральной ширине линии излучения равной 0,03 нм. Диапазон перестройки длины волны генерации составлял 595–635 нм.

Как видно из спектров приведенных на рисунке 2 полиметиновый краситель эффективно поглощает излучение в области генерации родамина 4С. В бинарной смеси использованных красителей при возбуждении раствора излучением второй гармоники происходит перенос энергии электронного возбуждения от молекул донора к молекулам акцептора. В результате этого создается населенность полиметинового красителя, достаточная для возбуждения генерации. В этих условиях была получена генерация полиметинового красителя и достигнута перестройка длины волны в диапазоне 658-710 нм. Спектральная ширина линии излучения генерации составляла  $\approx 0,03$  нм. При мощности импульса накачки равной 120 кВт коэффициент полезного действия генерации достигал 15 %.

Таким образом, установлено, что использование смеси этанольных растворов родамина 4С (донор) и полиметинового красителя (акцептор), возбуждаемой излучением второй гармоники АИГ: $\text{Nd}^{+3}$  –лазера, позволяет получить эффективную генерацию в спектральном диапазоне акцептора, в то время как при возбуждении излучением на длине волны  $\lambda = 532$  нм однокомпонентного раствора полиметинового красителя генерация не наблюдалась.

А.М. Данченко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)  
Науч. рук. В.И. Кондратенко, ст. преподаватель

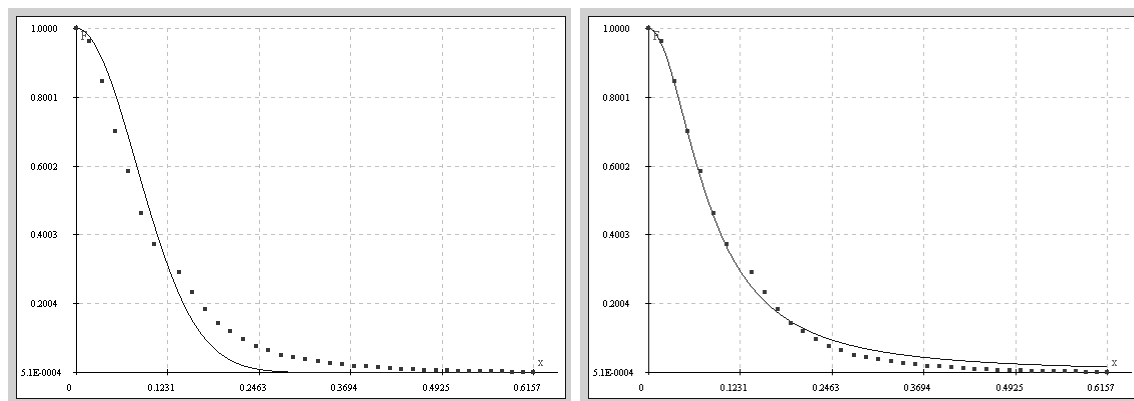
## ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ

В работе приводятся расчеты анализа светорассеяния аморфных и анизотропных поверхностей.

Для проверки информативности фотометрического метода, основанного на анализе дифференциального светорассеяния, применялся метод фотометрического контроля, основанный на измерении

$$TIS = I_0 / I_3,$$

т. е. отношения интегральной интенсивности рассеянной компоненты светового поля  $I_0$  к интенсивности световой волны, отраженной зеркально  $I_3$ . Проводился анализ рассеянного излучения на поверхности прозрачных образцов – скола кубического кристалла фтористого лития и матированного стекла при прохождении лазерного излучения He-Ne лазера, а также на поверхности кристаллического кремния при отражении. Затем на поверхность наносилась методом вакуумного осаждения полимерная пленка и определялись характерные изменения в индикатрисе светорассеяния. Одновременно поверхность образцов контролировалась профилометрическим методом. Анализ рассеянного излучения проводился путем преобразования индикатрисы светорассеяния к спектру мощности пространственных частот и дальнейшей аппроксимации гауссианой и лоренцевым контуром. Количественный вывод осуществлялся на основании сравнения остаточных дисперсий. Профилометрические исследования проводились путем построения автокорреляционной функции профиля и последующего расчета спектра пространственных частот методом дискретного преобразования Фурье в соответствии с теоремой Винера – Хинчина. После напыления пленки характер поверхности претерпевает определенные изменения. Центральный максимум приобретает характер более близкий к нормальному и становится уже, однако периодичность структуры сохраняется, причем с той же характерной длиной. Это позволяет судить о том, что размеры неоднородностей образующейся пленки не связаны со структурой подстилающей поверхности, но их положение является регулярным и обусловлено статистическими свойствами подложки.



1)

2)

Рисунок 1 – Аппроксимация спектра светорассеяния на поверхности фтористого лития (1 – распределением Гаусса, 2 – распределением Пуассона)

К сожалению, произвести регистрацию спектра светорассеяния на поверхности кристалла фтористого лития до напыления пленки не представилось возможным ввиду низкой чувствительности оборудования. Дело в том, что поверхность скола не имеет мелкодисперсной структуры, и для контроля светорассеяния необходимо применения зондирующего светового пучка с большой апертурой, для которого условия приема (дальняя зона) нереализуемы в условиях существующей лаборатории. На малых же участках зоны контроля ( $\sim 1$  мм) светорассеяние на чистой поверхности имеет весьма малую интенсивность, как при исследовании «на просвет», так и при исследовании «на отражение». На рисунке 1 представлен нормированный спектр светорассеяния пленки, нанесенной на подложку из монокристаллического фтористого лития и результаты его аппроксимации гауссианой и Лоренцевым контуром. Очевидно хорошее совпадение именно Лоренцевым контуром, особенно в области низких пространственных частот (крупномасштабные неоднородности). В области высоких пространственных частот спадание экспериментальной зависимости более быстрое, что свидетельствует об отклонении статистики от пуассоновской и хорошо согласуется с результатами автокорреляционного анализа профиля поверхности. После нанесения пленочного покрытия характер АКФ существенно изменяется. На АКФ проявляется скрытая периодичность наносимой структуры. Следует предположить, что, как и в случае подложки фтористого лития, структура поверхности кристалла является определяющей для процесса зародышеобразования. Существенный интерес представляет сравнение данных профилометрических исследований и результатов анализа рассеянного излучения. На рисунке 2 представлен нормированный спектр светорассеяния кремниевой подложки и результат его аппроксимации

Лоренцевым контуром и гауссианой соответственно. Видно, что для аппроксимации процесса светорассеяния распределением Пуассона характерно практически полное совпадение как в области высоких пространственных частот (мелкодисперсная структура), так и в области низких пространственных частот (крупноразмерные) неоднородности. Имеется определенное отклонение в промежуточной области, которое хорошо согласуется с наличием скрытой периодичности структуры, которое вытекает и проведенного выше автокорреляционного анализа. Аппроксимация Гауссовым распределением дает неудовлетворительное соответствие. После нанесения пленочного покрытия характер спектра пространственных частот кардинально меняется (рисунок 3) В кривой распределения спектральной мощности появляется осциллирующий характер, что говорит о наличии квазипериодической структуры. Именно это мы отмечали ранее при анализе АКФ линии профиля пленочной структуры, нанесенной на поверхность кремния.

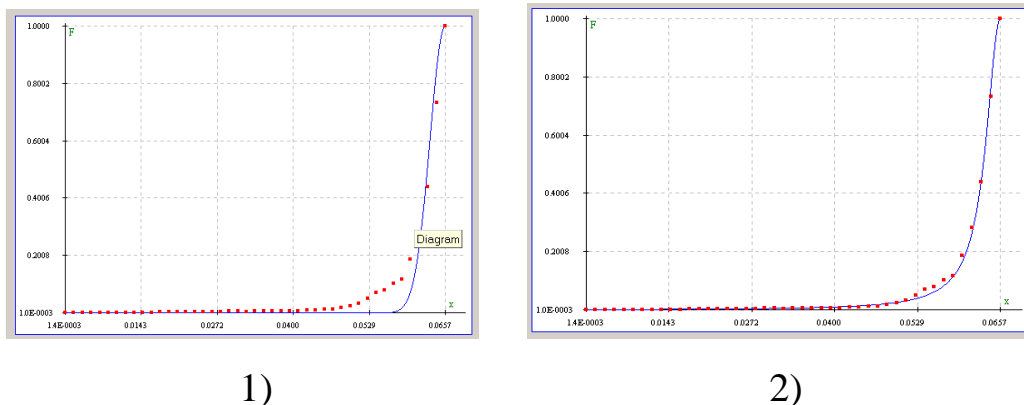


Рисунок 2 – Аппроксимация спектра светорассеяния на поверхности монокристалла кремния

(1– распределением Гаусса, 2 – распределением Пуассона)

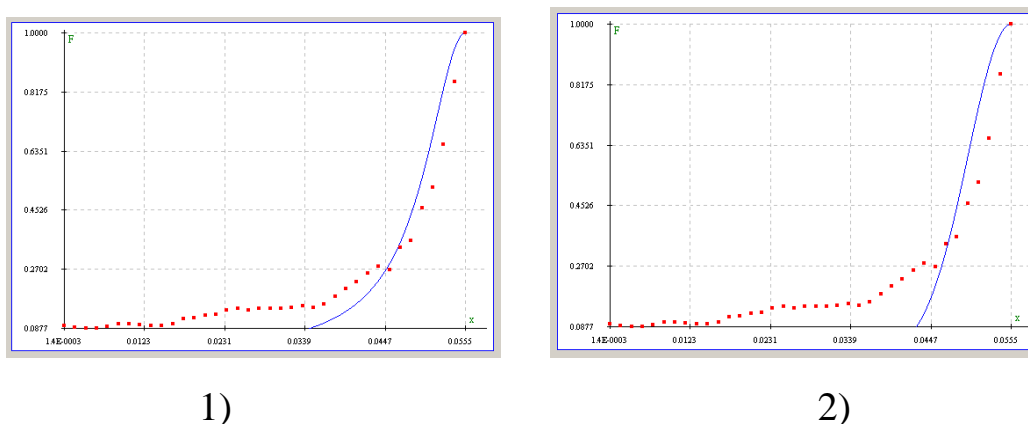


Рисунок 3 – Аппроксимация спектра светорассеяния на поверхности пленки, нанесенной на монокристалл кремния

(1– распределением Гаусса, 2 – распределением Пуассона)



Совпадение характерных изменений в АКФ линии профиля и в спектре пространственных частот рассеянного на поверхности лазерного излучения позволяет сделать вывод о перспективности применения методов дифференциального светорассеяния к оперативному контролю состояния поверхности. В качестве аморфного образца применялось стекло. До напыления АКФ носит характер гладкой монотонной функции, что приближает структуру поверхности по своим статистическим свойствам к нормальной. На АКФ также отмечается волнистость линии профиля. После напыления пленки характер поверхности изменяется в сторону появления мелкопериодических неоднородностей, которые накладываются на волнистость. При этом автокорреляционная длина соответственно уменьшается. Появление «колебаний» АКФ является следствием ограниченности выборки и указывает на соотношение между размерами неоднородностей и длиной области контроля профиля. На рисунке 4 представлены результаты аппроксимации спектра светорассеяния на поверхности стекла в приближении статистики Гаусса и Пуассона соответственно.

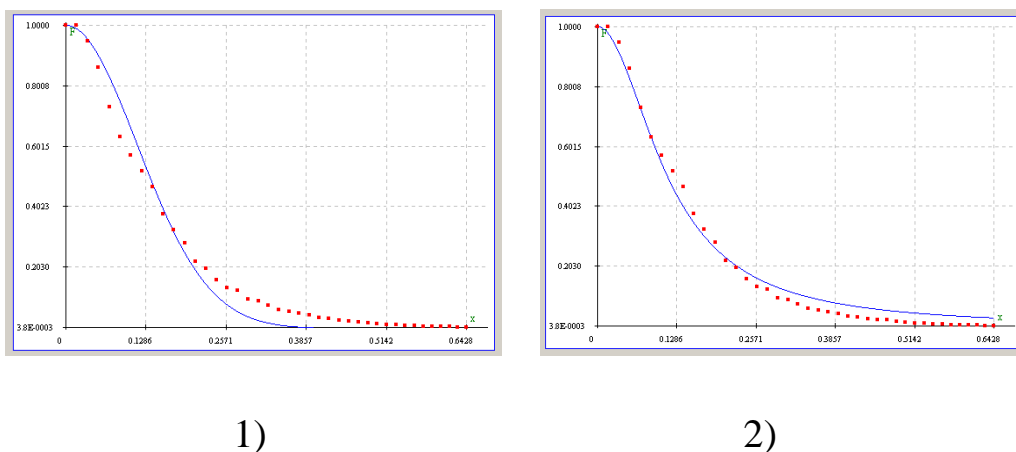


Рисунок 4 – Аппроксимация спектра светорассеяния пленки, нанесенной на поверхность стеклянной подложки (1 – распределением Гаусса, 2 – распределением Пуассона)

Видно, что ни одна из кривых не обеспечивает достаточно удовлетворительного соответствия, однако более предпочтительным оказывается Лоренцев контур. Поверхность пленки, нанесенной на стекло приобретает характер, более соответствующий нормальному распределению как в области высоких, так и в области низких пространственных частот. Это позволяет утверждать, что на поверхности аморфного материала зародышеобразование носит случайный характер и в целом подчиняется статистике Гаусса. На наш взгляд дальнейшим перспективным направлением является представление спектральной кривой суперпозицией двух

составляющих – лоренцева контура и гауссианы, что соответствует разделению на нормальную и Пуассоновскую составляющие. Как следует из исследований последних лет, нормальное распределение является скорее исключением, чем правилом. Спад спектральной кривой для статистики Пуассона имеет гиперболический характер в отличие от экспоненциального характера при нормальном распределении. Исследование проводилось на стеклянных образцах, так – как именно ввиду аморфности материала можно было ожидать, что статистика светорассеяния будет максимально приближена к нормальной, и кривая распределения интенсивности в спектре пространственных частот рассеянного излучения будет иметь Гауссов характер, так как коэффициенты разложения гауссовского процесса по ортонормированной системе, которой является преобразование Фурье, являются совместно нормальными случайными величинами.

**М.В. Дубина, А.В. Макаревич**  
**(УО МГПУ им. И.П. Шамякина, Мозырь)**  
Науч. рук. В.В. Шепелевич, д.ф.-м.н., профессор

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМЕШАННЫХ ГОЛОГРАММ, ЗАПИСАННЫХ В ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛАХ**

В ряде работ, например [1], указывается на то, что в средах, традиционно используемых для записи статических голограмм, наряду с амплитудной может иметь место и фазовая решетка. В последнее время появились работы, в которых указывается на аналогичное сосуществование амплитудной и фазовой решеток в средах, применяемых для записи динамических голограмм, в частности в фоторефрактивных кристаллах (ФРК). Так в [2] рассмотрено влияние на процесс записи голограмм в GaAs нелинейного поглощения, благодаря которому в этом фоторефрактивном кристалле наряду с фазовой решеткой существует амплитудная решетка, причем вклад последней настолько значительный, что возникает необходимость его обязательного учета.

Известно, что для эффективного использования ФРК в прикладных целях необходимо оптимизировать условия их эксплуатации, в частности ориентировать кристалл таким образом, чтобы дифракционная эффективность записанных в них голограмм достигала максимальных значений. В целях голографической интерферометрии нами используется фоторефрактивный кристалл  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (ВТО) среза (110), а так как в нем

наряду с фазовой может быть записана амплитудная решетка, то необходимо оценить, как изменится при ее учете ориентационная зависимость дифракционной эффективности голограмм, записанных в этом кристалле. Для этого механизм, описывающий формирование голограмм в фоторефрактивных кристаллах, расширен путем учета вклада амплитудной решетки и поглощения энергии светового пучка по мере его прохождения через кристалл. На рисунке 1 представлена теоретическая зависимость от ориентационного угла  $\theta$  дифракционной эффективности смешанных голограмм, записанных в кристалле ВТО. Азимут линейной поляризации  $\psi_0$  взаимодействующих в кристалле волн до входа в кристалл равен нулю. Параметры кристалла: пьезоэлектрический коэффициент  $e_{14}=1,1$  Кл/м<sup>2</sup> электрооптический коэффициент  $r_{41}^S=4,75$  пм/В; фотоупругие постоянные  $p_{11}=0,173$ ;  $p_{12}+p_{13}=-0,003$ ;  $p_{44}^E=-0,005$ ; коэффициенты упругости  $c_{11}=13,7 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;  $c_{12}=2,8 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;  $c_{44}^E=2,6 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>; удельное вращение плоскости поляризации  $\rho=6,3$  град/мм; показатель преломления  $n=2,58$  [3]; амплитуда пространственной модуляции мнимой части диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_2=2,6$  м<sup>-1</sup>; коэффициент поглощения  $\alpha=40$  м<sup>-1</sup>; толщина кристалла  $h=7,7$  мм; угол Брэгга вне кристалла  $\varphi=18,5^\circ$ ; электрическое поле решетки  $E_g=5,75 \cdot 10^4$  В/м; азимут линейной поляризации взаимодействующих пучков  $\psi_0=0^\circ$ .

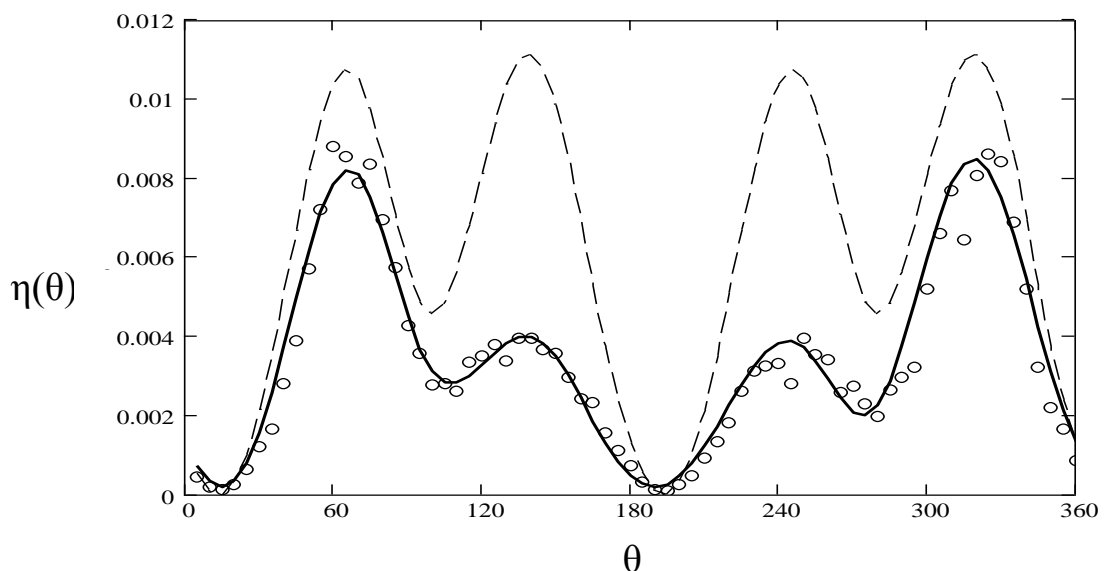
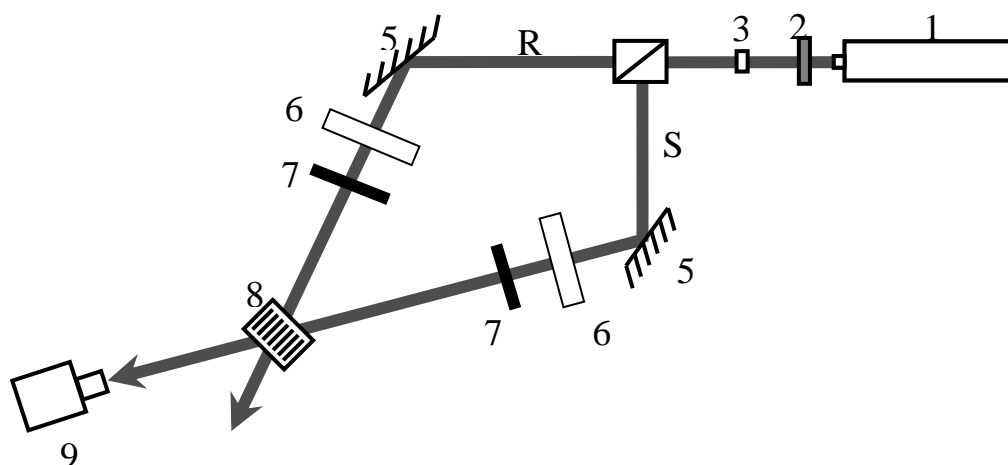


Рисунок 1 – Зависимости дифракционной эффективности  $\eta(\theta)$  голограмм, записанных в ВТО, от ориентационного угла  $\theta$ :  
штриховая линия – зависимость  $\eta(\theta)$  без учета вклада амплитудной составляющей;  
сплошная линия – зависимость  $\eta(\theta)$  с учетом вклада амплитудной составляющей;  
○ – экспериментальные данные

Для проверки верности полученного теоретически результата нами было проведено экспериментальное исследование ориентационной зависимости дифракционной зависимости голограмм, записанных в кристалле ВТО. Схема эксперимента представлена на рисунке 2.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. На первом этапе в исследуемом образце осуществлялась запись голограмм, при этом схема эксперимента выстраивалась так, как показано на рисунке 2, причем в фотодиод 8 свет не попадал. На втором этапе, по истечении времени записи голограммы ( $\approx 30$  с), достигалось одновременное перекрытие предметного пучка  $S$  и попадание дифрагированного пучка на фотодиод. После измерения интенсивности дифрагированного пучка кристалл ВТО поворачивался на  $5^\circ$  и описанные выше действия повторялись. Полученные в ходе эксперимента данные представлены на рисунке 1.



1 – He-Ne лазер, 2 – ослабитель, 3 – фазовая пластинка,  
4 – светоделительный кубик, 5 – глухое зеркало, 6 – поляризатор,  
7 – диафрагма, 8 – фоторефрактивный кристалл, 9 – фотодиод

Рисунок 2 – Оптическая схема экспериментальных исследований зависимости дифракционной эффективности записанных в ВТО голограмм от ориентационного угла  $\theta$

Как видно из рисунка 1 теоретическая зависимость дифракционной эффективности смешанной голограммы более соответствует экспериментальным данным, чем аналогичная зависимость фазовой решетки. Таким образом, учет абсорбционной составляющей смешанной голограммы, записанной в ВТО, является необходимым.

Работа выполнена при поддержке Государственной комплексной программы научных исследований «Электроника и фотоника», задание

«Фотоника 2.2.09», а также БРФФИ и РФФИ (проекты № Ф12Р-222 и № 12-02-90038-Бел\_а соответственно).

### Литература

1. Якимович, А.П. Дифракционная эффективность несинфазных амплитудно-фазовых объемных голограмм / А.П. Якимович // Квантовая электроника. – 1982. – № 7. – С. 1447–1450.

2. Shcherbin, K. Contribution of nonlinear absorption and elasto-optic effect in photorefractive grating recording in GaAs / K. Shcherbin, S. Odoulov, R. Litvinov et al. // J. Opt. Soc. Am. B. – 1996. – Vol. 13, № 10. – P. 2268–2277.

3. Shamonina, E. Diffusion recording in photorefractive sillenite crystals: an analytical approach for engineering purposes / E. Shamonina, Hu Yi, V.P. Kamenov et al. // Opt. Commun. – 2000. – Vol. 180, № 1–3. – P. 183–190.

**Ю.А. Дышлевич (БГУ, Минск)**

Науч. рук. **Ю.М. Покотило**, к. ф.-м. н., доцент; **А.В. Гиро**, ассистент

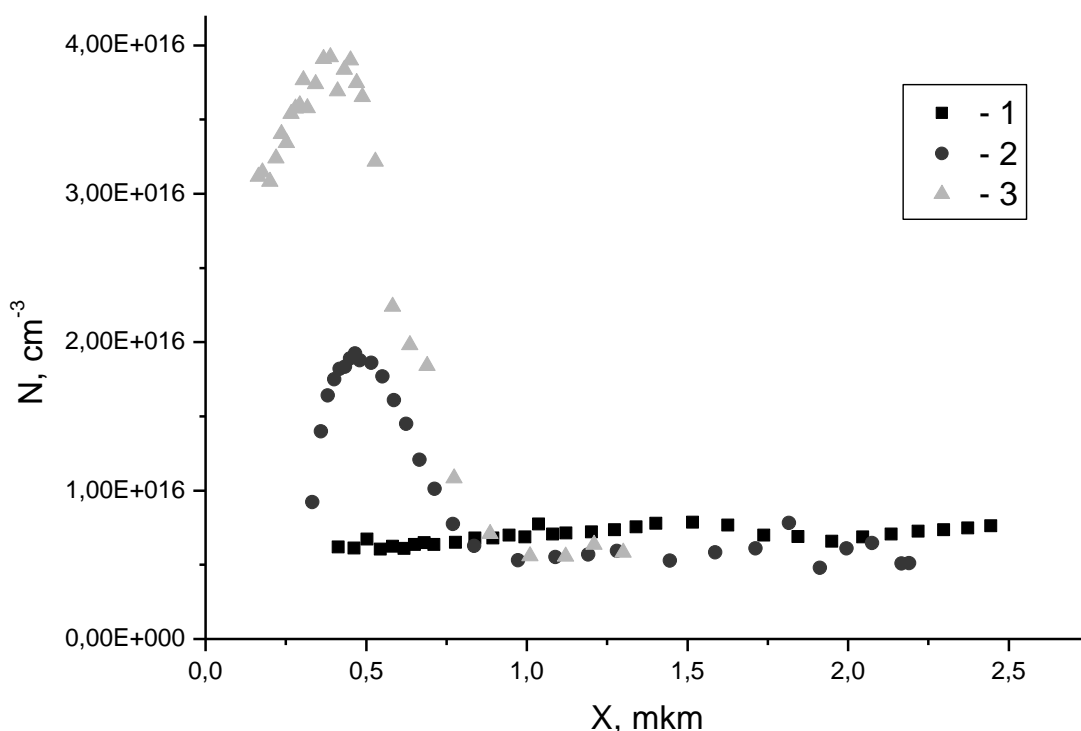
### **ФОРМИРОВАНИЕ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ДОНОРОВ В КРЕМНИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫСОТУ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА ДИОДОВ ШОТТКИ**

Облучение пучками протонов является перспективным физико-технологическим методом модификации электрофизических параметров кристаллов кремния [1]. Одним из наиболее интересных свойств внедренного водорода является то, что при взаимодействии его с радиационными дефектами в процессе термообработки в тонком слое, локализованном в области проецированной длины пробега ионов, формируются мелкие водородосодержащие доноры (H-доноры) с высокой (до  $10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) концентрацией [2]. В настоящей работе исследуются влияние низкоомного слоя на величину потенциального барьера диода Шоттки.

Исследования проводились на диодных кремниевых (Mo-Si) структурах Шоттки (удельное сопротивление базы, легированной фосфором  $\sim 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ), облученных через металлический контакт. Измерения электронных профилей осуществлялось стандартным методом C-V характеристик (рабочая частота – 1 МГц) при комнатной температуре. Образцы отжигались в кварцевой трубке на воздухе.

На рисунке 1 представлены профили распределения доноров в кристаллах кремния. В исходном образце концентрация доноров составляла  $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . После облучения образца протонами с энергией

300 кэВ дозой  $10^{15} \text{ см}^{-2}$  и последующего отжига при температуре  $350^\circ \text{ C}$  в течение 20 мин. в образце формируются водородосодержащие доноры. Доноры распределены неоднородно (профиль распределения доноров близок к профилю распределения внедренных протонов) с максимумом концентрации  $4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . Затем образец был подвергнут термообработке при  $100^\circ \text{ C}$  в течение 6 часов, в результате чего концентрация доноров в максимуме распределения достигла значения  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . Это связано с наличием двух типов доноров, один из которых является неравновесным и разрушается при термообработке ( $100^\circ \text{ C}$  6 часов).



1 – исходный образец, 2 – дополнительно выдержан при  $100^\circ \text{ C}$  6 часов, 3 – отжиг при  $350^\circ \text{ C}$  20 мин.

Рисунок 1 – Профили распределения водородосодержащих доноров в кристаллах Si, облученных протонами с дозой  $10^{15} \text{ см}^{-2}$

Для анализа зависимости высоты потенциального барьера от концентрации доноров был использован метод вольтамперных характеристик [3]. Типичная вольтамперная характеристика для диода Шоттки представлена на рисунке 2.

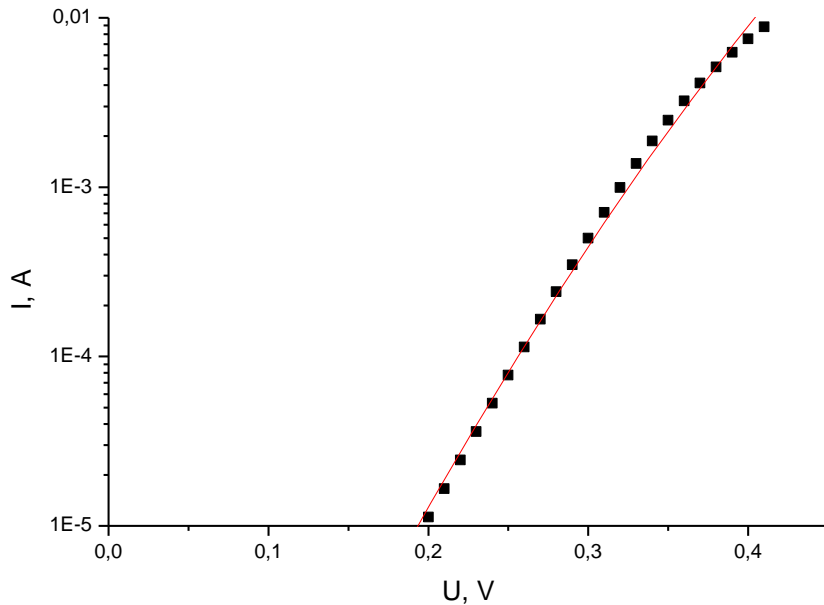


Рисунок 2 – Типичная вольтамперная характеристика диода Шоттки

Уравнение для прямой ветви ВАХ реального контакта металл-полупроводник (контакта с барьером Шоттки) при напряжениях, больших чем  $3kT/q$  может быть записана в следующем виде:

$$I = S j_S \exp\left(\frac{eU}{nkT}\right),$$

где  $S$  – площадь контакта,  $j_S$  – плотность тока насыщения,  $n$  – показатель неидеальности.

Высота потенциального барьера  $\varphi_B$  определяется из прямой ветви ВАХ контакта металл-полупроводник следующим образом.

Аппроксимируем прямую ветвь ВАХ в полулогарифмическом масштабе  $y = \lg I$ ,  $x = U$  отрезком прямой линии  $y=ax+b$ .

Таким образом, имеем:

$$b = \lg[I(U = 0)] = \lg I_S = \lg(S j_S).$$

Рассчитываем значения плотности тока насыщения  $j_S$  и высоты потенциального барьера  $\varphi_B$  по следующим формулам:

$$j_S = 10^b / S$$

$$\varphi_B = -kT \ln\left(\frac{j_S}{A^* T^2}\right) = kT \ln\left(\frac{A^* T^2}{j_S}\right).$$

В результате вычислений и обработки ВАХ были найдены значения для высоты барьера 0,8 и 1 эВ для образцов 2 и 3 (см. рисунок 1).

В ходе работы были измерены профили распределения концентрации доноров в кристаллах кремния, имплантированного протонами и

подвергнутого термообработке. Методом вольтамперных характеристик рассчитана высота потенциального барьера. Было обнаружено, что с ростом концентрации доноров высота потенциального барьера увеличивается.

### Литература

1. Абдулин Х.А., Горелкинский Ю.В., Мукашев Б.Н., Токмолдин С.Ж. // ФТП. – 2002. – Т. 36. – № 3. – С. 257.
2. Покотило Ю.М. и др.// Неорганические материалы – 2009. – Т. 45 – № 11 – С. 1285.
3. К.А. Валиев, Ю.И. Пашинцев, Г.В. Петров. Применение контакта металл-полупроводник в электронике. М: «Радио и связь», 1981.

**А.И. Зеленкевич, (УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», Мозырь)**  
Науч. рук. **В.С. Савенко, д.т.н., профессор**

## **ЭВОЛЮЦИЯ ДИСЛОКАЦИОННЫХ АНСАМБЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ ДВОЙНИКОВАНИИ КРИСТАЛЛОВ ВИСМУТА**

В работе представлены результаты экспериментального исследования эволюций дислокационных ансамблей в кристаллах висмута при возбуждении электронной подсистемы металла импульсами тока. Приведен сравнительный анализ стартовых напряжений двойникующих дислокаций в условиях электропластичности металла. Показано, что с ростом плотности тока в импульсе стимулируются процессы генерирования двойникующих дислокаций, и их трансляция вдоль готовой поверхности раздела, что открывает возможности дополнительной пластификации двойникующего материала.

Импульсы электрического тока, прошедшие через кристалл во время деформирования, не только увеличивают пробег двойникующих дислокаций, увеличивая зону двойникования, но и возбуждают новые источники двойникующих дислокаций. Начиная с порогового значения электропластичности ( $i=50 \text{ А/мм}^2$ ), увеличивается количество двойников, возникших у отпечатка индентора. Причем, возбуждаются не только источники двойникующих дислокаций, возникшие от механических концентраторов напряжений, но и генерируются новые «электродвойники», в условиях уменьшения стартовых напряжений перемещения двойникующихся дислокаций при возбуждении электронной подсистемы металла (рисунок 1).



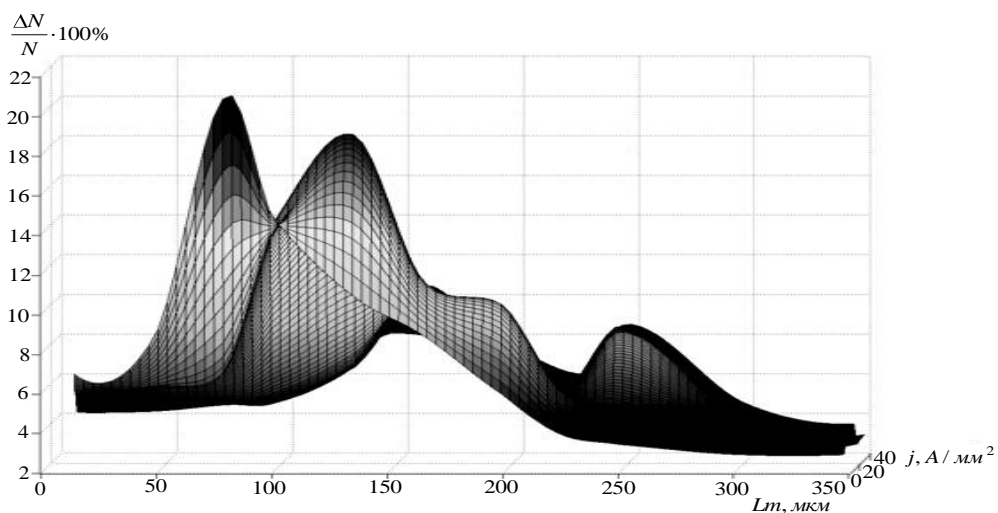


Рисунок 1 – Количество двойников, возникающих при двойниковании кристаллов висмута от плотности тока в импульсе

Эволюцию дислокационного развития двойникования в условиях электропластичности можно описать суперпозицией нескольких элементарных процессов: возбуждение дислокационных источников двойниующих дислокаций, уменьшение стартовых напряжений для перемещения винтовых дислокаций, образование поверхности раздела, трансляция двойниующих дислокаций вдоль готовой поверхности раздела, с образование остаточного клиновидного двойника. Следует отметить, что при плотностях тока до  $300 \text{ A/mm}^2$  преобладает процесс возбуждения дислокационных источников, с ростом плотности тока в импульсе стимулируются процессы образования поверхности раздела и трансляции двойниующих дислокаций вдоль готовой поверхности раздела и завершения процесса двойникования (рисунок 2).

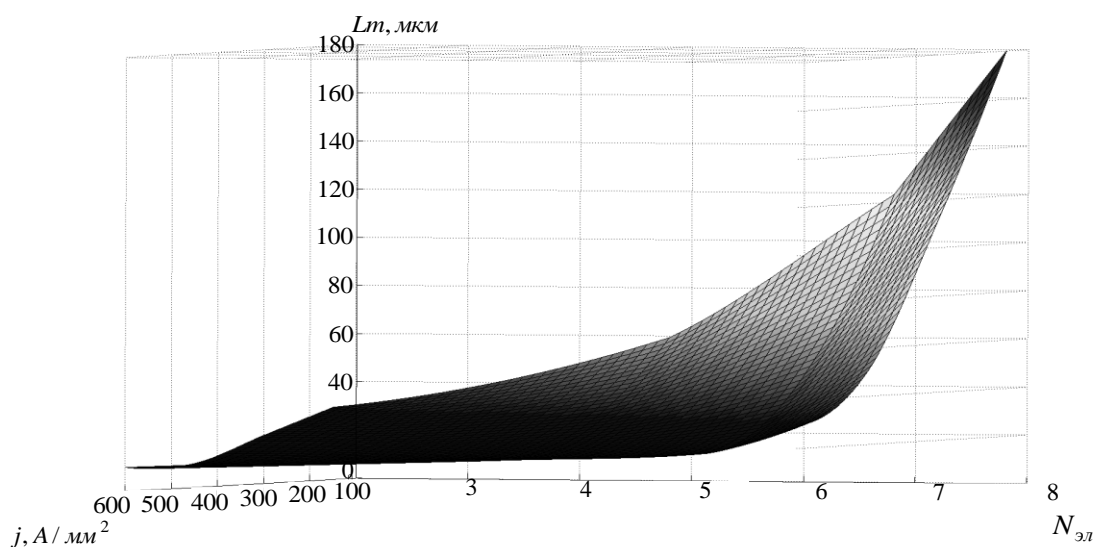


Рисунок 2 – Пробег и генерирование двойниующих дислокаций от плотности тока в кристаллах висмута

На рисунке 3 показана зависимость величины  $P/L_m^2$  от плотности тока в импульсе. Видно, что значения  $P/L_m^2$  начинают падать при плотностях тока в импульсе 50-70 А/мм<sup>2</sup> (пороговые значения электропластического эффекта при двойниковании), затем величина  $P/L_m^2$  значительно уменьшается, и при больших значениях плотности тока в импульсе происходит стабилизация величины  $P/L_m^2$ .

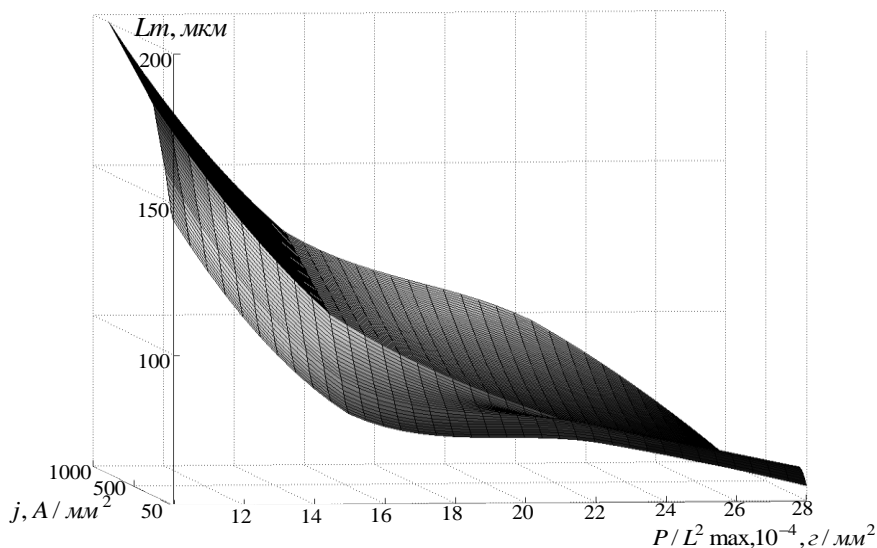


Рисунок 3 – Зависимость величины  $P/L_m^2$  от плотности тока в кристаллах висмута Вi 99,99%

Если рассматривать влияние электрических импульсов тока на развитие двойникования с этой точки зрения, то значения  $P/L_m^2$  при одновременном воздействии внешней нагрузки и импульса тока уменьшаются в несколько раз, т. е. пропускание импульса тока в момент нагружения кристалла сопровождается значительным уменьшением сопротивления кристаллической решетки двойникованию. Таким образом, одновременное действие нагрузки и электрических импульсов дает возможность дополнительной пластификации материала за счет двойникования [1].

Установлены физические основы эволюции дислокационных ансамблей развития двойникования в условиях возбуждения электронной подсистемы металла. Показано, что с ростом плотности тока в импульсе стимулируются процессы образования поверхности раздела, и трансляции двойникующих дислокаций вдоль готовой поверхности раздела, увеличивается пробег и генерирование двойникующих дислокаций, что открывает возможности дополнительной пластификации двойникующего материала, повышая долю двойникования в общей пластической деформации, увеличивая тем самым резерв пластичности двойникующихся материалов.

## Литература

1. Савенко В.С., Спицын В.И., Троицкий О.А. Электронно-пластический эффект при двойниковании монокристаллов висмута // Доклады академии наук СССР, 1985, 283, № 5. – С. 1181–1183.

**А.В. Карабельников (ГУО «Гомельский инженерный институт»  
МЧС Республики Беларусь, Гомель)  
Науч. рук. С.А. Чудиловская, преподаватель**

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ДИАМЕТРА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для уменьшения тепловых потерь (т. е. для увеличения термического сопротивления) конструкций применяются различные теплоизоляционные материалы.

Анализ формулы общего термического сопротивления изолированной цилиндрической стенки

$$R = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{uz}} \ln \frac{d_{uz}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_{uz}} \quad (1)$$

(где составляющие полного термического сопротивления  $\frac{1}{\alpha_1 d_1}$  и  $\frac{1}{\alpha_2 d_{uz}}$  представляют собой линейные термические сопротивления теплоотдачи на соответствующих поверхностях, а величины  $\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}$  и  $\frac{1}{2\lambda_{uz}} \ln \frac{d_{uz}}{d_2}$  являются линейными термическими сопротивлениями теплопроводности соответствующих слоев) показывает, что дополнительный слой тепловой изоляции не всегда приводит к увеличению общего термического сопротивления стенки и уменьшению теплового потока [1]. При наложении изоляции на выпуклую (сферическую или цилиндрическую) поверхность внутреннее термическое сопротивление увеличивается, но, благодаря увеличению поверхности соприкосновения стенки с внешним теплоносителем, уменьшается внешнее термическое сопротивление. Поэтому при использовании материалов с достаточно большим коэффициентом теплопроводности для покрытия изоляцией сферической или цилиндрической поверхности можно получить не уменьшение, а увеличение теплового потока, что приведет к нежелательным потерям тепловой энергии.

В результате исследования на экстремум функции  $R=f(d_{из})$  в предположении, что коэффициент теплоотдачи  $\alpha_2$  не зависит от диаметра трубы  $d_2$  получено условие, при котором материал, используемый для изоляции трубы, уменьшает тепловой поток при любом значении внешнего диаметра изолируемой поверхности:

$$d_{кр} = \frac{2\lambda_{из}}{\alpha_2}, \quad (2)$$

где  $d_{кр}$  – критический диаметр тепловой изоляции,  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала,  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи внешней поверхности изолированного цилиндра.

Критерием пригодности теплоизоляционного материала для конкретной цилиндрической поверхности может служить параметр

$$A_{кр} = \frac{d_{кр}}{d_2}, \quad (3)$$

где  $d_2$  – внешний диаметр неизолированной трубы.

При значении  $A_{кр} \leq 1$  слой изоляции любой толщины позволяет уменьшить тепловой поток через трубу [1].

Но, поскольку коэффициент теплоотдачи является величиной, зависящей от температуры окружающей среды, возникает вопрос, как эта зависимость может повлиять на величину критического диаметра изоляции.

Для ответа на этот вопрос на примере горизонтально расположенной трубы с внешним диаметром  $d$  при ламинарном режиме движения воздуха для конкретного изоляционного материала была получена следующая формула зависимости критического диаметра изоляции от температуры окружающей среды:

$$d_{кр} = \frac{4\lambda_{из}}{\lambda_г} \left[ \frac{d_2 \nu_г a_г T_г}{g(T_c - T_г)} \right]^{0,25}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{из}$  и  $\lambda_г$  – коэффициенты теплопроводности материала изоляции и воздуха при соответствующей температуре,  $d_2$  – внешний диаметр трубы,  $T_г$  – температура воздуха вдали от трубы,  $T_c$  – температура внешней стенки трубы,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\nu_г$  и  $a_г$  – динамическая вязкость и коэффициент теплоотдачи воздуха при соответствующей температуре.

В качестве теплоизоляционного материала был выбран пенополиуретан, имеющий достаточно низкий коэффициент теплопроводности

$\lambda_{из} = 0,058 \frac{Вт}{мК}$ , практически не зависящий от температуры [2].

Результаты расчета критического диаметра изоляции для труб с различными внешними диаметрами, изолированных пенополиуретаном представлены на рисунке 1.

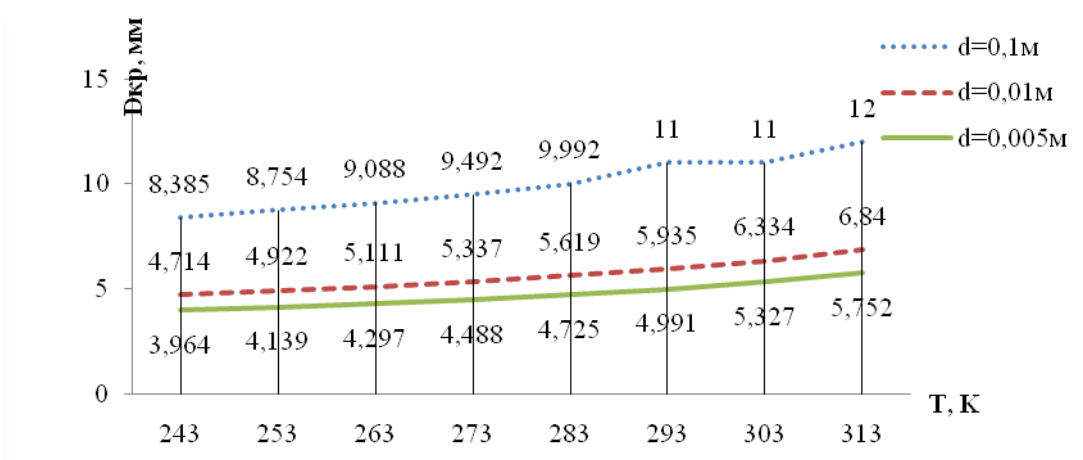


Рисунок 1 – Зависимость критического диаметра изоляции из пенополиуретана от температуры окружающей среды для труб различных диаметров

Из представленных на рисунке 1 графиков видно, что при изоляции пенополиуретаном для труб с внешними диаметрами  $d=0,1$  м (верхний график) и  $d=0,01$  м (средний график) максимальное значение критического диаметра изоляции значительно меньше диаметра трубы. Параметр  $A_{кр} > 1$  только для трубы с внешним диаметром  $d=0,005$  м (нижний график) при температурах окружающего воздуха  $T_e \geq 293$  К.

Анализ формулы (4) позволяет предположить, что и для других современных теплоизоляционных материалов (энергофлекс, магнофлекс, вспененный полиэтилен и др.) с низкими значениями коэффициентов теплопроводности ( $\lambda = 0,028 - 0,058 \frac{Вт}{мК}$ ), зависимость критического диаметра изоляции от температуры играет существенную роль только для труб малого диаметра при низкой интенсивности теплообмена.

### Литература

1. Карминский В.Д. Техническая термодинамика и теплопередача: Курс лекций. – М: Маршрут, 2005. – 224 с.
2. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков / под общ. ред. П.Л. Кириллова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1990.

**М.А. Ковалевич (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Л.С. Пинчук**, д.т.н., профессор

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦЕННЫХ БУМАГ**

Эффективным способом решения проблемы защиты ценных бумаг от фальсификации является введение в состав бумажной массы окрашенных химических волокон. Чаще всего применяются защитные волокна, содержащие люминесцентные красители, однако их закрепление на поверхности синтетических волокон представляет собой сложную технологическую проблему [1].

В настоящее время наиболее перспективным методом модифицирования синтетических волокон является введение в них целевых добавок по механизму крейзинга. Этот высокопроизводительный способ обработки не требует значительного переоснащения технологического оборудования. Он позволяет совместить процесс вытяжки волокон с введением в них любого комплекса модифицирующих добавок [2].

Крейзинг происходит в процессе ориентационной вытяжки волокон, осуществляемой в жидкой адсорбционно-активной среде. В нем можно выделить несколько стадий. На первых этапах растяжения на поверхности волокон образуются крейзы (микротрещины, стенки которых соединены фибриллярными тяжами). При дальнейшей деформации крейзы растут в направлении, перпендикулярном оси растяжения образца, пока не пересекут его поперечное сечение. На следующей стадии крейзы уширяются в направлении оси растяжения, а волокно переходит в ориентированное фибриллярное состояние. В жидкой технологической среде возникающие крейзы мгновенно заполняются жидкой фазой, что дает возможность ввести в структуру полимера практически любые несовместимые с ним добавки (бактерициды, антипирены, красители и др.), обеспечивая их равномерное распределение в поверхностном слое волокон. Захваченные крейзами добавки удерживаются в поверхностном слое волокна и не подвергаются действию щелочной бумажной массы, которая «гасит» люминесценцию и ослабляет другие свойства защитных волокон [3].

Крейзинг позволяет совмещать крашение с введением любых модифицирующих добавок для придания волокну дополнительных полезных свойств (ферромагнетизма, способности поглощать излучение и др.). Это дает широкие возможности для дальнейшего совершенствования технологии модифицирования волокон, в частности, для окрашивания волокон на участках, чередующихся с неокрашенными, и представляется наиболее перспективным для получения волокон, реализующих разнообразные механизмы защиты ценных бумаг.

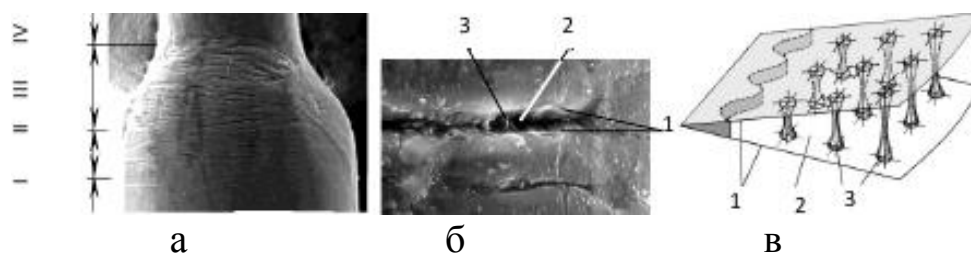


Рисунок 1 – РЭМ-изображения (а, б) и схема (в) образования крещов в ПЭТФ-волокнах. Римскими цифрами обозначены участки напряженного состояния волокна, на которых происходит:

- I – зарождение крещов, II – рост, III – уширение крещов, IV – формирование фибриллярной структуры волокна;  
1 – стенки трещины, 2 – трещина, 3 – тяжи

### Литература

1. Корочкин Л., Гореленко А. Проблемы защиты банкнот и ценных бумаг от подделки // Банкаўскі веснік. – 2002. – № 9. – С. 42–45.
2. Волинский А.Л. Крейзинг в жидких средах – основа для создания уникального метода модификации полимеров / А.Л. Волинский [и др.] // Российский химический журнал. – 2005. – Т. XLIX, № 6. – С. 118–128.
3. Пинчук, Л.С. Модифицирование полиэфирных волокон для защиты ценных бумаг / Л.С. Пинчук [и др.] // Химические волокна. – 2012. – № 5. – С. 13–19.

**А.А. Ковалев (УО ГГУ им. Ф. Скорины)**  
Науч. рук. А.А. Давиденко, к.пед.н., доцент

### ПРЯМОЙ ЦИФРОВОЙ СИНТЕЗ

Прямой цифровой синтез (Direct Digital Synthesizers) — относительно новый метод синтеза частоты, появившийся в начале 70-х годов прошлого века. Появление микросхем с DDS и удобных средств разработки делает их сегодня привлекательными для разных сфер применения.

DDS уникальны своей цифровой определенностью — генерируемый ими сигнал синтезируется со свойственной цифровым системам точностью. Частота, амплитуда и фаза сигнала в любой момент времени точно известны и подконтрольны. DDS практически не подвержены температурному дрейфу и старению. Единственным элементом, который обладает свойственной аналоговым схемам нестабильностью, является ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь). Высокие технические характеристики

стали причиной того, что в последнее время DDS вытесняют обычные аналоговые синтезаторы частот.

Основные преимущества DDS:

- очень высокое разрешение по частоте и фазе, управление которыми осуществляется в цифровом виде;
- экстремально быстрый переход на другую частоту (или фазу), перестройка по частоте без разрыва фазы, без выбросов и других аномалий, связанных со временем установления;
- архитектура, основанная на DDS, ввиду очень малого шага перестройки по частоте, исключает необходимость применения точной подстройки опорной частоты, а также обеспечивает возможность параметрической температурной компенсации;
- цифровой интерфейс позволяет легко реализовать микроконтроллерное управление;
- для квадратурных синтезаторов имеются DDS с I и Q выходами, которые работают согласованно.

Частотное разрешение DDS составляет сотые и даже тысячные доли герца при выходной частоте порядка десятков мегагерц. Такое разрешение недостижимо для иных методов синтеза. Другой характерной особенностью DDS является очень высокая скорость перехода на другую частоту. Поскольку выходной сигнал синтезируется в цифровом виде, очень просто можно осуществить модуляцию различных видов.

Как с технической, так и с экономической стороны DDS удовлетворяет большинству критериев идеального синтезатора частоты: простой, высокоинтегрированный, с малыми габаритами. Кроме того, многие параметры DDS программно-управляемые, что позволяет заложить в устройство новые возможности. Современные DDS используют субмикронную CMOS-технологии, трехвольтовую логику, миниатюрные корпуса. Одновременно постоянно снижаются цены на них. Все это делает DDS очень перспективными приборами.

С процессами дискретизации и цифро-аналогового преобразования, который имеет место в DDS, связаны и некоторые ограничения:

- максимальная выходная частота не может быть выше половины тактовой (на практике она еще меньше). Это ограничивает области применения DDS областями HF и части VHF-диапазона;
- отдельные побочные составляющие выходного на выходе DDS могут быть значительными, по сравнению с синтезаторами других типов. Спектральная чистота выходного сигнала DDS сильно зависит от качества ЦАП;
- потребляемая DDS-мощность практически прямо пропорциональна тактовой частоте и может достигать сотен милливатт. При больших



тактовых частотах DDS могут оказаться непригодными для устройств с батарейным питанием.

Если сразу рассматривать реальную структуру конкретного DDS, то она может показаться необоснованно сложной и запутанной. Для того чтобы та или иная особенность структуры DDS была очевидной, начнем рассмотрение с конечного результата, который нужно получить.

Задача DDS — получить на выходе сигнал синусоидальной формы заданной частоты. Поскольку в DDS формирование выходного сигнала происходит в цифровой форме, совершенно очевидна необходимость цифро-аналогового преобразования. Это означает, что в структуре DDS должен быть ЦАП. В любом случае на выходе ЦАП должен присутствовать ФНЧ (фильтр нижних частот) для подавления образов выходного спектра, повторяющихся с периодичностью  $F_{CLK}$  (anti-aliasing filter). Для получения синусоидального сигнала на вход ЦАП необходимо подать последовательность отсчетов функции синус, следующих с частотой дискретизации  $F_{CLK}$ . Закон изменения синусоидальной функции во времени сложен и цифровыми методами просто не реализуется. Можно, конечно, используя полиномиальное представление, вычислять значения функции  $\sin$  с помощью АЛУ. Однако такой метод вряд ли будет быстродействующим, а высокое быстродействие как раз является одним из основных требований к DDS. Поэтому наиболее подходящим методом формирования отсчетов функции  $\sin$  является табличный метод. Перекодировочная таблица (Look Up Table) чаще всего размещается в ПЗУ. Код, который подается на адресные входы ПЗУ, является аргументом функции  $\sin$ , а выходной код ПЗУ равен значению функции для данного аргумента. Аргумент функции  $\sin$  или фаза, в отличие от значения функции, меняется во времени линейно. Сформировать линейно меняющуюся во времени последовательность кодов гораздо проще. Это способен сделать простой двоичный счетчик. Поэтому простейший DDS выглядит так: двоичный счетчик формирует адрес для ПЗУ, куда записана таблица одного периода функции  $\sin$ , отсчеты с выхода ПЗУ поступают на ЦАП, который формирует на выходе синусоидальный сигнал, подвергающийся фильтрации в ФНЧ и поступающий на выход (рисунок 1). Для перестройки выходной частоты используется делитель с переменным коэффициентом деления, на вход которого поступает тактовый сигнал с опорного генератора.

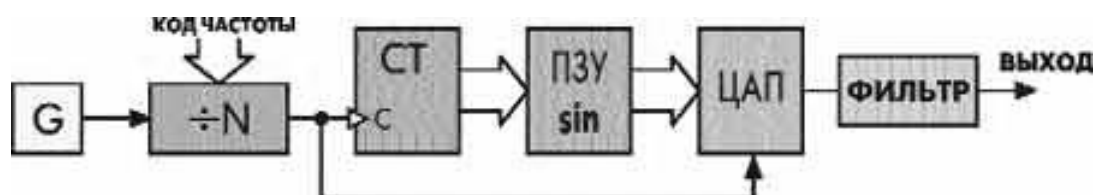


Рисунок 1— Простейший цифровой синтезатор синтезатор

Рассмотренная выше структура применяется во всех современных DDS.

Кроме интегрированного ЦАП DDS могут иметь некоторые дополнительные цифровые блоки, выполняющие над сигналом различные дополнительные операции. Эти блоки обеспечивают большую функциональность и улучшенные пользовательские характеристики DDS.

### **Литература**

1. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. – М.: Радио и Связь, 1991. – 264 с.
2. Синтезаторы частот (Теория и проектирование): М.: Связь, 1979. – 384 с. ил.

**Е.И. Лабунь (БНТУ, Минск)**

Науч. рук. **М.Г. Киселев**, д.т.н., профессор

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ СТАДИЙ И ИХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ОДНОКРАТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЛОПАСТИ С УПРУГОЙ МОДЕЛЬЮ КОЖНОГО ПОКРОВА ЧЕЛОВЕКА**

С целью повышения эффективности выполнения процедуры электростимуляции авторами предложено осуществлять ее с использованием массажера ударно – фрикционного действия [1]. В этом случае массажер подключается к персональному компьютеру с программным обеспечением для генерации и регистрации импульсных токов SpectraPro и блоку питания; для усиления импульсных токов применяется усилитель. На вращающемся валу массажера неподвижно посажена насадка, в которой консольно закреплены кожаные лопасти. На их свободных концах предусмотрены электроды, выполненные в виде легких металлических заклепок, питание которых обеспечивается с помощью токосъемного устройства. Второй электрод неподвижно закрепляется на теле пациента. При вращении лопасти прерывисто механически воздействуют на поверхность тела пациента, обеспечивая, с одной стороны, их массажное влияние, а с другой – изменяют режим протекания процесса электростимуляции за счет периодического прерывания электрической цепи между электродами.

По результатам проведенных экспериментальных исследований [2] установлено, что по сравнению с традиционными условиями выполнения

процедуры электростимуляции применение предложенного способа позволяет при одинаковых электрических параметрах осуществления процедуры до 50 % снизить уровень болевых ощущений у пациентов. Это в свою очередь дает возможность повысить эффективность выполнения этой процедуры за счет увеличения токов электростимуляции, значение которых как раз и ограничивается возникновением у пациента острых болевых ощущений. При этом установлено, что существует диапазон частот вращения насадки N, при котором анальгетический эффект проявляется в наибольшей степени. В частности, для условий проводимых экспериментов [2] оптимальное значение N составило 150–200 мин<sup>-1</sup>, что при восьми лопастях в насадке соответствует частоте прерывания электрической цепи равной 20–30 Гц. Это свидетельствует о том, что в основе механизма анальгетического эффекта лежат явления связанные с особенностями контактного взаимодействия лопасти массажера с поверхностью тела человека. Поэтому для его раскрытия, в первую очередь, необходимо располагать данными, отражающими характерные стадии этого взаимодействия.

В этой связи, цель данной работы заключалась в разработке методики определения характерных стадий контактного взаимодействия вращающейся лопасти массажера с поверхностью тела человека и определении их временных параметров с учетом, частоты ее вращения и величины натяга относительно поверхности тела.

Экспериментальный комплекс, компоновка которого показана на рисунке 1, состоит из трех основных блоков. Первым является массажер ударно-фрикционного действия, представляющий собой электродвигатель 1, на валу которого посажена насадка 2, в которой консольно закреплены гибкие лопасти 3. Второй блок представляет собой упругое основание, моделирующее поверхность тела человека. Он состоит из П-образной рамки 5, между концами которой в натянутом состоянии закреплена резиновая лента 4, воспроизводящая механические свойства кожной поверхности тела человека. В частности, её модуль упругости, который составляет  $E=5\pm 2$  Мпа [3], а также коэффициент трения материала лопасти (кожа) о поверхность резины, который изменяется от 0.3 до 0.7, что соответствует аналогичным свойствам человеческой кожи [4]. Третьим блоком является цифровая фото-видео камера Canon с частотой съемки 240 кадров в секунду при разрешении 320x240 точек.

Процедура проведения экспериментов включала в себя последовательное выполнение следующих действий. Массажер подводился к поверхности резиновой ленты таким образом, чтобы расстояние от неё до оси вращения насадки составляло 65 мм, т. е. максимальная величина

натяга лопастей была равна 20 мм. После этого одновременно включались привод вращения насадки и цифровая камера, что позволяет получать изображения контактного взаимодействия лопасти массажера с поверхностью упругого основания. Эксперименты выполнялись при трех частотах вращения насадки (90, 200 и 300 мин<sup>-1</sup>) и неизменной величине максимального максимального натяга лопасти равного 20 мм.

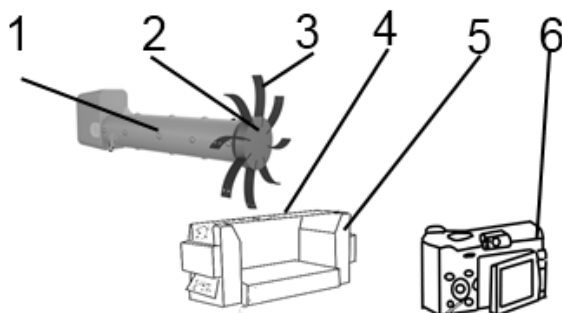


Рисунок 1– Блок-схема примененного в исследованиях экспериментального комплекса

Из анализа полученных экспериментальных данных следует, что с увеличением частоты вращения лопасти, продолжительность её однократного взаимодействия с поверхностью упругого основания снижается. При этом изменяется соотношение между ней и продолжительностью протекания отдельных стадий этого взаимодействия. В частности, происходит увеличение времени ударной стадии за счет уменьшения продолжительности стадий фрикционного взаимодействия и релаксации. При  $N=300$  мин<sup>-1</sup> релаксационная стадия вообще отсутствует, в результате чего каждое последующее взаимодействие лопасти с поверхностью упругого основания протекает в условиях, когда её материал находится в напряженном (деформированном) состоянии.

### Литература

1. Осипов, А.Н. Экспериментальная оценка анальгетического эффекта при сочетанном воздействии электростимуляции и ударно-фрикционного массажа / А.Н. Осипов, М.Г. Киселев, Е.И. Лабунь / Научный журнал «Доклады БГУИР», Мн.: БГУИР, 2012. – № 5.– С. 5–8.
2. Комплексное применение электростимуляции и механического массажа для изменения двигательного навыка человека/ / Е.И. Лабунь, М.Г. Киселев, Н.С. Давыдова, М.М. Меженная, М.В. Давыдов, А.Н. Осипов / Сборник научных статей VI Межд. науч.-тех. конференции «Медэлектроника-2010. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии», Мн.: БГУИР, 2010. – С. 316–319

3. Азнабаев, М. Т. Первичная блефаропластика при опухолях век у детей / М. Т. Азнабаев, В. К. Суркова, А. Ж. Жуманиязов / Офтальмохирургия, 2002. – № 3. – С. 33–36.

4. ZHANG, M. In vivo friction properties of human skin / M. ZHANG and A. F. T. MAK / Rehabilitation Engineering Centre, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong Prosthetics and Orthotics International, 1999.– № 23. – P. 135–141.

**М.В. Ловгач (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **И.А. Мурашко**, д.т.н., доцент

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА**

Кластерный анализ (англ. clusteranalysis) – задача разбиения заданной выборки объектов (ситуаций) на подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались. Задача кластеризации относится к статистической обработке, а также к широкому классу задач обучения без учителя.

Кластерный анализ – это многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы (кластеры) (Q-кластеризация, или Q-техника, собственно кластерный анализ).

Кластер – группа элементов, характеризующихся общим свойством, главная цель кластерного анализа – нахождение групп схожих объектов в выборке. Спектр применений кластерного анализа очень широк: его используют в археологии, медицине, психологии, химии, биологии, государственном управлении, филологии, антропологии, маркетинге, социологии и других дисциплинах. Однако универсальность применения привела к появлению большого количества несовместимых терминов, методов и подходов, затрудняющих однозначное использование и непоследовательную интерпретацию кластерного анализа.

Кластеризация может быть использована для разбиения цифрового изображения на отдельные области с целью обнаружения границ (англ. edgedetection) или распознавания объектов. Для кластеризации был использован алгоритм разрастания областей.

В данной алгоритме применяются разные критерии, на основании которых точка присоединяется или не присоединяется к региону:

близость (в некотором смысле) точки к центру региона, близость к соседней точке, присоединенной к региону на предыдущем шаге, близость по некоторой статистике региона, стоимость кратчайшего пути от точки до центра региона, и т. п.

В основном процедура выращивания региона используется для получения отдельных регионов, однако, применяя эту процедуру последовательно или одновременно для нескольких регионов, можно получить разбиение всего изображения.

Классическим определением сегментации изображения на регионы является следующее:

Пусть двухмерный массив, представляющий собой изображение. Сегментация – это набор попарно-непересекающихся множеств  $x_1, x_2, \dots, x_n$  удовлетворяющих следующим условиям:

$$\sum_{i=1}^n x_i = x, \quad (1)$$

$$P(x_i) = \text{true}, \quad (2)$$

$$P(x_i \cup x_j) = \text{false}, \quad (3)$$

где  $P(x_i)$  – предикат, который присваивает значение true или false региону  $x_i$  в зависимости от значений пикселей в данном регионе.

Эти условия можно интерпретировать следующим образом. Первое условие означает, что каждый пиксель должен принадлежать какому-то региону (формула 1). Второе означает, что каждый регион должен быть связанным (формула 2). Третье условие определяет критерий, т.е. каким условиям должны удовлетворять два пикселя изображения, чтобы считаться похожими (формула 3).

Однако такое определение сегментации не лишено недостатков. Во-первых получаемая сегментация зависит от порядка прохода по изображению. Во-вторых, не определяется понятие оптимальности сегментации. Все сегментации, удовлетворяющие условиям, считаются одинаково хорошими.

Решение вышеуказанных проблем представлено следующим образом. Пусть двухмерный массив, представляющий собой изображение. Сегментация – это набор попарно-непересекающихся множеств  $x_1, x_2, \dots, x_n$  удовлетворяющих следующим условиям:

$$\sum_{i=1}^n x_i = x, \quad (4)$$

$$\sum_i G(x_i), i = 1, 2, \dots, n; (\min), \quad (5)$$

$$G(x_i \cup x_j) > G(x_i) + G(x_j), \quad (6)$$

где  $G(x_i)$  – функция эвристической оценки региона.

Эти условия можно интерпретировать следующим образом. Первое условие означает, что каждый пиксель должен принадлежать какому-то

региону (формула 4). Второе условие означает, что это разбиение имеет минимальную эвристическую оценку среди всех возможных сегментаций изображения на  $n$  регионов (формула 5). Четвертое условие означает, что дальнейшее объединение любых двух регионов увеличивает эвристическую оценку сегментации, полученную в третьем условии (формула 6). В таком определении результат не зависит от порядка прохода по изображению.

Для начала работы алгоритма сегментации цифрового изображения методом разрастающихся областей необходимо выбрать начальную точку разрастания региона. Выбор точки осуществляется случайным образом так, чтобы точка находилась в фокусе изображения – не далеко от центра кадра. Изображение, получаемое с источника захвата изображения должно быть как можно более резким, но при этом иметь низкий уровень зашумлённости.

После выбора начальной точки разрастания региона, производится включение в него всех пикселей, находящихся вокруг него. Затем вычисляется математическое ожидание по цветовой характеристике пикселей полученного региона. Затем происходит циклический обход по контуру полученного региона, при этом производится включение в регион, если цвет пикселя не сильно отличается от среднего цвета региона (математического ожидания, вычисленного по цветовым характеристикам региона). При этом, после каждого включения нового пикселя в регион, производится перерасчет математического ожидания. Разрастание региона прекращается тогда, когда площадь региона прекращает расти после обхода круга по контуру. Полученный регион считается сегментом. Далее производится повторение вышеперечисленных действий, для получения необходимого числа сегментов.

Рассмотрим результаты экспериментов, полученные в результате работы алгоритма. В данном алгоритме можно задать порог сегментирования, от которого зависит, на какое количество сегментов будет разбито тестируемое изображение.

В таблице 1 представлена качественная характеристика работы алгоритма сегментации по времени в зависимости от разрешения изображения.

В таблице 2 приведены результаты сравнения вычисления площади зоны деформации испытываемых образцов путем оптического измерения и при помощи искомого алгоритма сегментации изображений и дальнейшей обработки интересующего сегмента.

Таблица 1 – Результаты скорости работы алгоритма сегментации

| № | Разрешение изображения | Время работы алгоритма сегментации, с. |
|---|------------------------|--|
| 1 | 320×240                | 2                                      |
| 2 | 640×320                | 3                                      |
| 3 | 1204×768               | 4                                      |
| 4 | 1366×768               | 7                                      |
| 5 | 1600×1200              | 14                                     |
| 6 | 1920×1200              | 25                                     |
| 7 | 2560×1920              | 40                                     |

Таблица 2 – Сравнение оптического метода и компьютерной обработки для вычисления площади зон деформации

| № | Порог | Зона деформации     | Площадь (оптический метод), мкм <sup>2</sup> | Площадь (комп. обработка), мкм <sup>2</sup> | Отклонение, % |
|---|-------|---------------------|--|---|---------------|
| 1 | 15    | Отпечаток индентора | 20736  | 20436                                       | 0,9           |
|   |       | Попутная деформация | 7202   | 7326  | 1.1           |
| 2 | 30    | Отпечаток индентора | 20736  | 20506                                       | 1             |
|   |       | Попутная деформация | 7202   | 6126  | 11            |
| 3 | 40    | Отпечаток индентора | 20736  | 20596                                       | 0,8           |
|   |       | Попутная деформация | 7202   | 3686  | 51            |
| 4 | 60    | Отпечаток индентора | 20736  | 20636                                       | 0,5           |
|   |       | Попутная деформация | 7202   | 1026  | 86            |
| 5 | 80    | Отпечаток индентора | 20736  | 20676                                       | 0,2           |
|   |       | Попутная деформация | 7202   | 426   | 95            |

По результатам, представленным выше, можно судить о том, что вычисление площади зон деформации зависит от заданного порога сегментации. Были проведены тесты, которые показывают, что при большом пороге сегментации зоны деформации на изображениях начинают сливаться с фоном, что делает невозможным вычисления площади заданных сегментов. Порог сегментации должен подбираться для каждого испытуемого изображения, что увеличивает накладные расходы времени для вычисления площади заданной зоны деформации.

**А.В. Макаревич, М.В. Дубина**  
 (УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», Мозырь)  
 Науч. рук. **В.В. Шепелевич**, д.ф.-м.н., профессор

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОЛОГРАММ

В связи с возможностью практического применения фоторефрактивных кристаллов (ФРК) в голографической интерферометрии



представляет интерес симплификация процесса проведения эксперимента по определению зависимости дифракционной эффективности голограмм, записанных в ФРК, от пространственной ориентации кристалла. В первую очередь это обусловлено тем, что такие исследования являются сложными в плане технического исполнения, но актуальными в случае отсутствия информации о пространственной ориентации кристаллического образца, вследствие чего описанный в [1] способ определения зависимости дифракционной эффективности голограммы от ориентационного угла оказывается неприемлемым. Поэтому в настоящей работе мы предлагаем использовать устройство, которое одновременно позволяет упростить и оптимизировать процесс проведения подобных исследований.

Макет данного устройства изображен на рисунке 1. Два диска (диск 1 и диск 2) равного диаметра жестко закрепляются на стержне, способном поворачиваться вокруг оси  $OO'$  так, как это показано на рисунке 1. При этом из обоих дисков вырезано по одному сектору одинаковой формы таким образом, чтобы любая нормаль к плоскости диска 1, проходящая через вырезанный в нем сектор, не проходила через вырезанный сектор диска 2.

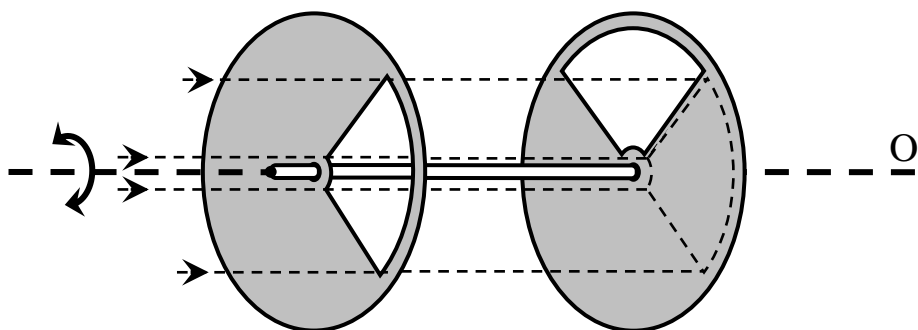


Рисунок 1 – Макет устройства для проведения экспериментальных исследований дифракционной эффективности голограмм, записанных в ФРК

Экспериментальная апробация данного устройства была проведена для пропускающей геометрии записи голограмм в ФРК. В качестве исследуемого образца ФРК использовался кристалл  $Bi_{12}TiO_{20}$  (ВТО) толщиной 7,7 мм.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. На первоначальном этапе (рисунок 2) устройство ориентировалось таким образом, чтобы предметный пучок  $S$  проходил через вырезанный сектор

диска 1 и интерферировал с предметным пучком R в кристалле ВТО, размещенном между дисками (режим записи голограммы). После прохождения кристалла предметный пучок S нормально падал на диск 2, вследствие чего частично поглощался и диффузно рассеивался.

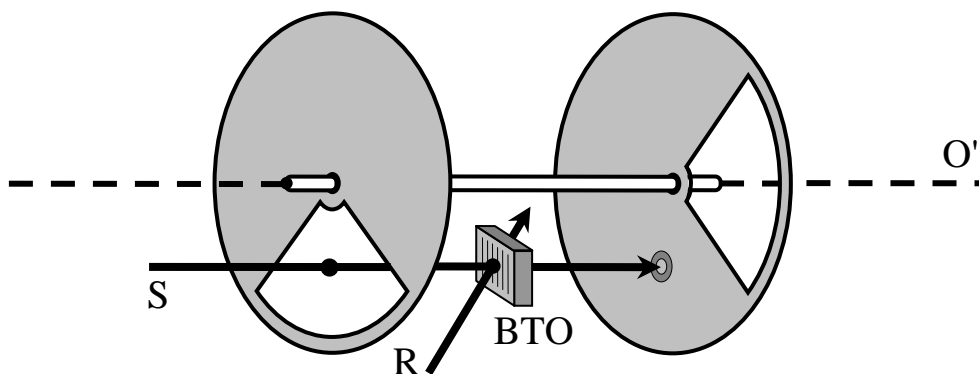


Рисунок 2 – Режим записи голограммы

На втором этапе, после истечения времени формирования голографической решетки ( $\tau \approx 30$  с), диски устройства поворачивались таким образом, чтобы диск 1 перекрывал предметный пучок S, а восстановленный с голограммы пучок S' проходил через вырезанный сектор диска 2 (режим считывания голограммы). Данная конфигурация представлена на рисунке 3.

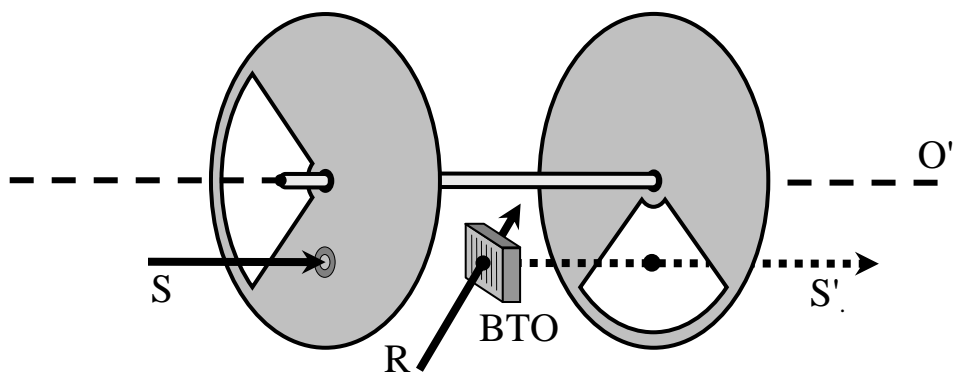


Рисунок 3 – Режим считывания голограммы

На рисунке 4 представлены экспериментальные данные зависимости дифракционной эффективности голограммы, записанной в кристалле ВТО, от ориентационного угла кристалла, которые были получены с помощью предложенного здесь устройства.

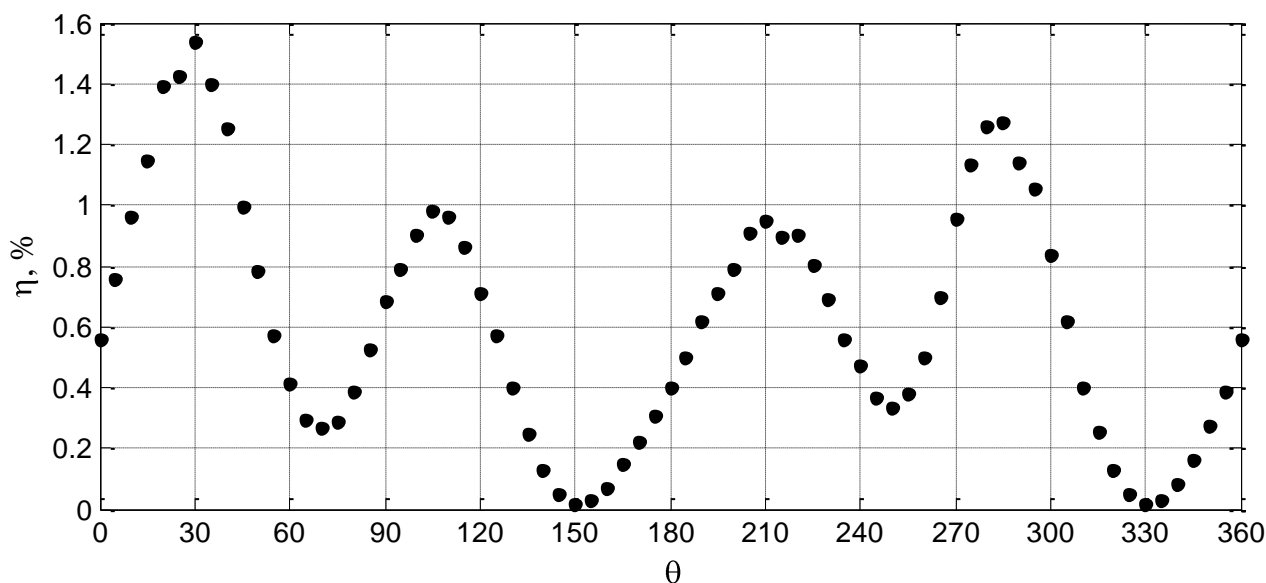


Рисунок 4 – Экспериментальные значения зависимости дифракционной эффективности  $\eta$  голограммы, записанной в кристалле ВТО, от ориентационного угла кристалла  $\theta$

При проведении экспериментальных исследований опорный и предметный пучки были поляризованы в плоскости, перпендикулярной к плоскости падения. Угол Брэгга  $\varphi$  вне кристалла составлял  $18,5^\circ$ . Отношение интенсивностей пучков  $I_S/I_R$  до вхождения в кристалл было равно 0,3. Значение интенсивности пучка  $S'$ , восстановленного за счет дифракции на голограмме опорного пучка  $R$ , измерялось при помощи полупроводникового диода ФД-7К.

Как видно из рисунка 4, использование данного устройства дает возможность с большой степенью точности эмпирически выявить ориентации кристалла, при которых достигаются максимальные значения дифракционной эффективности голограмм. Для повышения точности получаемых экспериментально данных поворот устройства при переходах из одного режима в другой (рисунки 2–3) может осуществляться автоматически.

### Литература

1. Макаревич, А.В. Способ определения оптимальной ориентации кристалла с известным срезом / А.В. Макаревич, М.В. Дубина // Актуальные вопросы физики и техники: материалы I Республ. научн. конф. студ., магистр. и аспирантов, Гомель, 17 апреля 2012 г. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: А.В. Рогачев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель. – 2012. – С. 177–180.

Д.В. Мальцев, П.С. Богдан (УО БНТУ, Минск)

Науч. рук. М.Г. Киселев, д.т.н., профессор

## К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

На кафедре «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета БНТУ в настоящий момент проходят исследования непрофилированных режущих инструментов (проволочные и струнные пилы, штрипсы и пр.) и способов повышения их режущей способности (преимущество отдается высокоэнергетическим методам обработки). Естественно, одной из основных лабораторных установок, используемых при исследованиях, является испытательный стенд по определению режущей способности инструмента (рисунок 1).

Распиливаемый материал закрепляется в П-образной планке 1, которая размещена на каретке 2, установленной на цилиндрических направляющих 3. Каретка через кривошипно-шатунный механизм соединена с электродвигателем 4 (РД-09). При вращении двигателя происходит возвратно-поступательное движение каретки с материалом. Испытываемый инструмент закрепляется на рамке 5, которая закреплена на вертикальной стойке 6, установленной на цилиндрических направляющих 7. На стойке смонтирована площадка 8, на которой устанавливаются грузы. По мере распиливания стойка под действием массы груза опускается вниз, обеспечивая движение инструмента в заготовке. По глубине пропила заготовки при одинаковой нагрузке и времени распиливания определялась режущая способность образца.

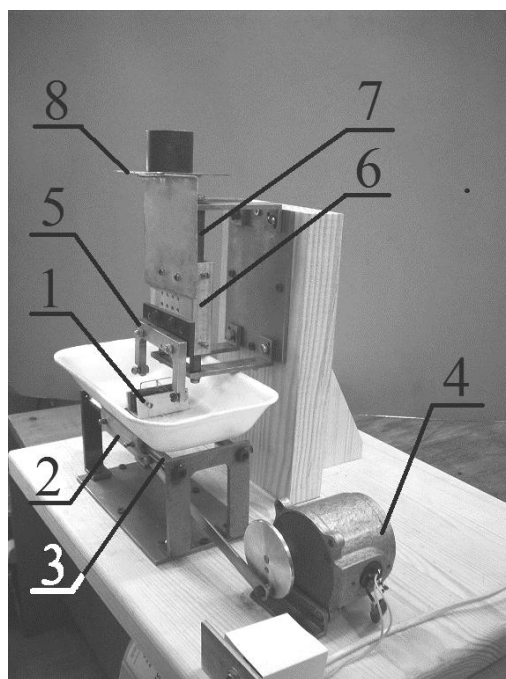


Рисунок 1 – Фотография испытательного стенда

По мере развития исследований и увеличения количества испытуемых образцов режущего инструмента вскрылись существенные недостатки данной установки:

- отсутствие возможности регулировки скорости вращения двигателя, то есть скорости распиливания;
- необходимость измерения глубины полученного пропила на отдельном приборе (для этого используется измерительный микроскоп ММИ-2, измерения на котором отнимают значительное время);
- необходимость контроля времени отдельным прибором, для чего приходится использовать часы, секундомеры, хронометры и пр., что также не всегда удобно.

С целью устранения вышеупомянутых недостатков было решено провести комплекс мер по автоматизации наиболее трудоемких процессов.

В качестве управляющего элемента был выбран микроконтроллер, являющийся, по сути, миниатюрным компьютером и позволяющий программным путем задавать принцип работы электрической схемы.

Скорость вращения используемого конденсаторного электродвигателя переменного тока невозможно регулировать простыми способами. Гораздо легче управлять двигателем постоянного тока, причем управление облегчается при использовании широтно-импульсной модуляции. Многие современные микроконтроллеры имеют аппаратно реализованный широтно-импульсный модулятор. Поэтому было решено заменить электродвигатель переменного тока электродвигателем постоянного тока. Для управления скоростью вращения двигателя использована ШИМ и применен транзисторный ключ.

Глубину пропила было решено измерять путем определения разности высот начального и конечного положения П-образной планки с натянутой проволокой. Для определения текущей высоты был выбран индуктивный преобразователь. Катушка закрепляется на неподвижной цилиндрической направляющей, а якорь соединяется с подвижной вертикальной стойкой, жестко соединенной с П-образной планкой – держателем проволочного инструмента. Катушка включена в микросхему AD698 по полумостовой схеме. Микросхема AD698 является, по сути, измерителем малых перемещений, содержащим внутренний генератор синусоидального сигнала, предназначенный для возбуждения катушки, а так же делитель, фильтр, усилитель и т. п. элементы, необходимые для обработки сигнала. По мере перемещения якоря внутри катушки изменяется уровень постоянного напряжения на выходе микросхемы. Сигнал попадает на порт ввода аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав микроконтроллера. После обработки по заданной программе результат

выводится на восьмисегментный четырехразрядный индикатор в виде величины глубины пропила в миллиметрах, с точностью до сотых долей.

Управление установкой осуществляется с помощью клавиатуры. С целью изменения скорости распиливания (скорости вращения двигателя) используются кнопки «+» и «-» соединенные с портами ввода микроконтроллера.

Для изменения времени распиливания используются те же кнопки «+» и «-», что и для изменения скорости распиливания. Чтобы это было возможно, предусмотрена кнопка изменения режимов «Скорость», «Время» и «Глубина». Для отображения активного режима используется первый разряд индикатора, на котором высвечивается соответствующая буква латинского алфавита «V», «T» или «H».

Кроме того, предусмотрены кнопки «Пуск» и «Стоп/Сброс», используемые для запуска, остановки или сброса параметров соответственно.

На основании данных рассуждений была составлена условная электронная схема (рисунок 2).

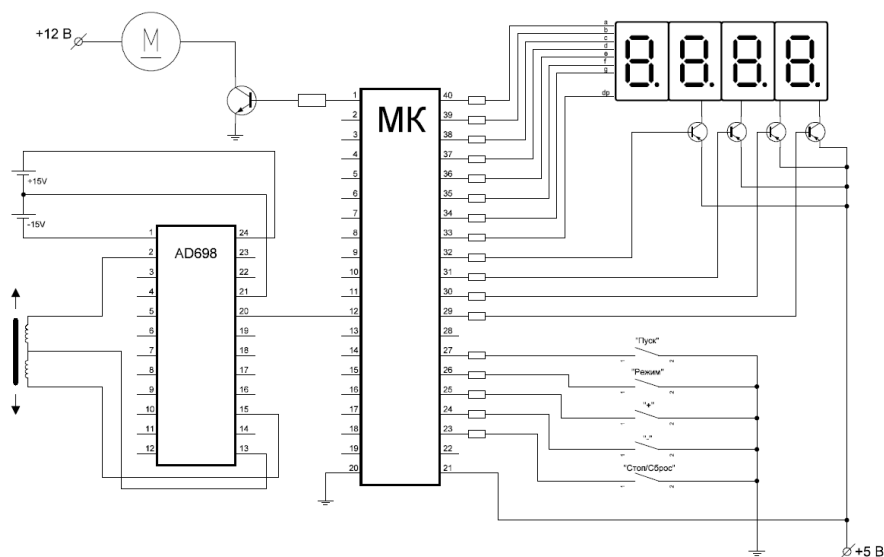


Рисунок 2 – Условная электронная схема автоматизации станда

**А.Г. Матвеева, Г.В. Крох**  
**(УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», Мозырь)**  
Науч. рук. **Г.В. Кулак**, д.ф.-м.н., профессор

## **ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

**Введение.** Оптико-акустические источники ультразвуковых (УЗ) волн имеют ряд преимуществ перед традиционными (пьезоэлектрическими

и электромагнитно-акустическими): отсутствие контакта со средой, возможность легкого изменения геометрических параметров акустической антенны, диагностики объектов, движущихся с любой скоростью [1, 2]. Схема возбуждения и рассеяния поверхностной акустической волны (ПАВ) поверхностным дефектом, имеющим форму трапеции, представлена на рисунке 1 (Об – образец, ПАВ – падающая УЗ волна, Р ПАВ – рассеянная УЗ волна, ЛИ – лазерный импульс; ПР – приемник УЗ волны;  $d$  – глубина трещины,  $l$  – длина трещины,  $\varphi$  – угол наклона боковой грани трещины).

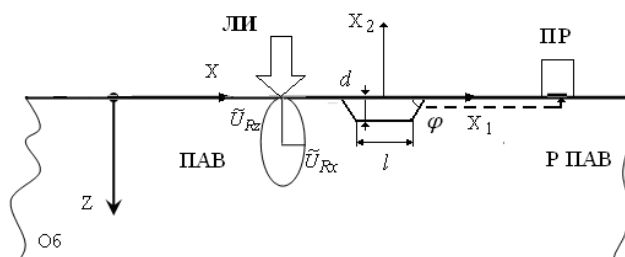


Рисунок 1 – Схема рассеяния ПАВ на трещине, имеющей форму трапеции

**Теоретические результаты и обсуждение.** Область лазерного возбуждения гиперзвука имеет вид прямоугольника шириной  $a$  и длиной  $b$ . Лазерный импульс длительностью  $\tau$  распространяется вдоль оси  $Z$  и возбуждает высокочастотные УЗ волны разной поляризации и пространственно-углового распределения. Частотный спектр акустического импульса, возбуждаемого с поверхности твердого тела имеет вид:  $F(\Omega) \approx \tau \sqrt{\pi} \exp(-\tau_a^2 \Omega^2 / 4)$ , где  $\Omega$  - круговая частота УЗ волны.

Выполнив расчеты с использованием тензорной функции Грина, произведя интегрирование по поверхности трещины, получаем выражение для компонент вектора смещений рассеянной поверхностной УЗ волны:

$$\tilde{U}_{Rz,z}^{sc} = \pm \sqrt{2 / \pi \rho' k_{L,T}} e^{-i\pi/4} |\tilde{U}_{Rz,x}| Q_{L,T} I_{L,T}, \quad (1)$$

где  $\tilde{U}_{Rz,x}(\Omega)$  – фурье-спектры  $Z$  и  $X$  – составляющих падающей рэлеевской ПАВ:

$$Q_L = -k_L^3 \lambda / 4k_T^2 \mu, \quad \Omega_T = k_T / 4, \\ I_{L,T} = \sin \left[ \pm k_{L,T} + k_R \right] (l / 2 + d \cos \varphi) / (\pm k_{L,T} + k_R), \quad (2)$$

причем знак «+» в выражении (2) соответствует рассеянию ПАВ в прямом направлении, а знак «-» – рассеянию в обратном направлении;  $\lambda$ ,  $\mu$  – постоянные Ламе;  $\rho'$  – расстояние от рассеивающего центра до приемника

УЗ волн;  $k_{L,T,R} = \Omega / v_{L,T,R}$ , где  $v_L, v_T, v_R$  – фазовая скорость продольной, сдвиговой и рэлеевской УЗ волны.

Временная форма рассеянного акустического импульса определяется выражением [1]:

$$U_{Rx,z}^{sc}(\mathbf{R}, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \tilde{U}_{Rx,z}^{sc}(\mathbf{Q}, \Omega) \right| e^{-i\Omega \tilde{t}_R} d\Omega, \quad (3)$$

где  $\tilde{t}_R = t - (\rho + \rho') / v_R$  ( $t$  – время,  $\rho$  – расстояние от источника до рассеивающего центра).

Численные расчеты с использованием (1)–(3) проводились для ПАВ Рэлея, распространяющихся по свободной поверхности материала, выполненного из стали (*Fe*). Предполагалось, что трещина длиной  $l$  имеет плоскую границу и ориентирована вдоль оси  $OX$ . Использование ПАВ, падающей под малым углом наклона  $\alpha$  к оси  $X_1$ , позволяет разделить в пространстве падающую и рассеянную УЗ волны при обратном рассеянии.

На рисунке 2 представлены зависимости амплитуды  $Z$ -составляющей рассеянной ПАВ от положения источника лазерного УЗ возбуждения.

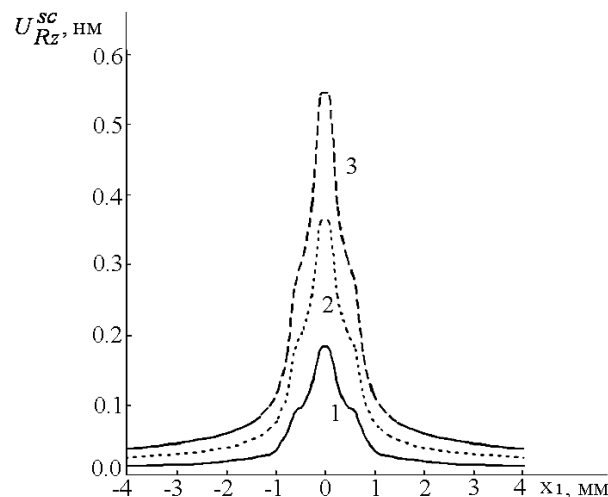


Рисунок 2 – Зависимость амплитуды поперечной составляющей  $U_{Rz}^{sc}$  импульса рассеянных ПАВ при изменении положения центра области возбуждения  $x_1 = \rho$  при различных ее ширинах  $a$ : 1–44, 2–88, 3–132 мкм ( $\alpha=0, \rho'=10$  мм,  $l=0,2$  мм,  $b=20$  мм,  $\varphi=90^\circ, d=1$  мм, Fe)

Как видно из рисунка 2 при перемещении лазерного пучка относительно трещины имеет место ярко выраженный максимум амплитуды рассеянной волны, достигаемый при расположении центра лазерного пучка в окрестности трещины ( $x_1=0$ ). При отклонении области возбуждения от центра амплитуда рассеянного импульса значительно уменьшается. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными результатами, приведенными в работе [3].



Численные расчеты на основании выражений (2) дают типичные осциллограммы рассеянных ПАВ на дефекте в форме трещины, приведенные в работе [3]. При этом геометрические соотношения для размеров трещины, ширины полосы возбуждения, расположения приемника и источника оптико-акустического возбуждения ПАВ близки к размерам, использованным в [3]. Показано, что при увеличении длины трещины ( $l = 0,2 - 0,8$  мм) амплитуда импульса при попутном и обратном рассеянии растет. При этом амплитуда импульса при обратном рассеянии ( $\alpha=30^\circ$ ) несколько ниже, чем при попутном рассеянии ( $\alpha=0$ ).

**Заключение.** Показано, что при увеличении длины трещины амплитуда рассеянного импульса растет для попутного и обратного рассеяния. При расположении центра пучка возбуждения в окрестности трещины достигается максимум рассеянных ПАВ, величина которого быстро уменьшается при отклонении от центра трещины в условиях попутного и обратного рассеяния.

### Литература

1. Егерев, С.В. Лазерная динамическая оптоакустическая диагностика конденсированных сред / С.В. Егерев, Л.М. Лямшев, О.В. Пученное // УФН. – 1990. – Т. 160, № 9. – С. 1–40.
2. Tam, A.C. Pulsed-laser generation of ultrashort acoustic pulses: Application for thin film ultrasonic measurement / A.C. Tam // Appl. Phys. Lett. – 1984. – V.45, №5. – P. 510–512.
3. Баев, А.Р. Оптико-акустический метод обнаружения поверхностных несплошностей / А.Р. Баев, В.Г. Гуделев, А.И. Митьковец, И.В. Стойчева // Материалы IX Международной научной конференции «Лазерная физика и оптические технологии». Т. 2. 30 мая – 2 июня 2012 г. С. 134–137.

**Е.А. Миткевич (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **А.В. Семченко**, к.ф.-м.н., доцент

## ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ZnO ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Оксид цинка ZnO – это многофункциональный кристаллический материал, являющийся прямозонным полупроводником  $n$ -типа с шириной запрещенной зоны  $\Delta E=3,3$  эВ при  $T=300$  К, обладает уникальными электрофизическими свойствами, и в связи с этим, имеет большой потенциал применения при создании оптико-электронных устройств.

В данной работе приведена методика золь-гель синтеза ZnO-содержащих пленок. Исследования структурных свойств проводили на дифрактометре ДРОН – с использованием  $\text{Cu}_{K\alpha}$ -излучения.

В настоящее время одними из самых перспективных тонкопленочных покрытий для использования в качестве верхнего электрода солнечного элемента являются прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов (цинка, олова, индия). Прозрачные проводящие оксиды принадлежат к классу полупроводников с широкой запрещенной зоной и находят все более широкое применение в производстве плоских дисплеев, прозрачных электродов и нагревательных элементов, теплосберегающих технологиях и т.п. Оксид цинка рассматривается как наилучшая альтернатива дорогостоящим покрытиям оксида индия – олова.

Золь-гель методом возможно получать покрытия высокого оптического качества и, одновременно, более гибко контролировать свойства получаемых пленок по сравнению с другими существующими методами (вакуумного осаждения, магнетронного распыления и др.). Более того, использование золь-гель метода упрощает технологическую схему производства приборов.

Для получения пленки ZnO были приготовлены пленкообразующие растворы. Соли азотнокислых металлов цинка растворяли в этиленгликоле с добавлением лимонной кислоты. После этого pH раствора доводили до значения 7–8 путем нейтрализации избытка лимонной кислоты аммиаком. Молярное соотношение между лимонной кислотой и металлом равнялось 2. Массовое соотношение лимонная кислота – этиленгликоль равнялось 3:2. Золь на подложку наносили методом центрифугирования. Скорость вращения составляет 2500 об/мин. Данная скорость вращения является достаточной для равномерного распределения золя по поверхности пластины. После нанесения золя пластины прошли ступенчатую термообработку при 100 °С в течение 10 минут, а затем отжиг в атмосфере кислорода при температуре 550 °С в течение 20 минут.

Итак, разработана методика золь-гель синтеза ZnO – содержащих пленок. Оптимизация технологии позволит получить поликристаллические слои ZnO с высокой текстурой. Толщина плёнок колеблется от 100 до 550 нм.

**С.Г. Монич (БНТУ, Минск)**

Науч. рук. **М.Г. Киселев**, д.т.н., профессор

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИМПЛАНТАТА ПУТЕМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ**

Имплантаты представляют собой класс изделий медицинского назначения, используемых для вживления в организм, прежде всего, в роли протезов (заменителей отсутствующих органов человека) [1].

Основным условием имплантации является использование инертных материалов для изготовления имплантата, не вызывающих иммунологической реакции. В современной имплантологии для изготовления металлических имплантатов используются титан, никель-хром-ванадиевые сплавы, которые наилучшим образом отвечают предъявляемым требованиям. Кроме того используются имплантаты с модифицированной поверхностью, в частности с развитым микрорельефом, который является биоактивным, то есть за счет модификации прорастание костной ткани к имплантату происходит быстрее и вживление становится более надежным. В настоящее время для модификации поверхности металлического имплантата используют пескоструйную и дробеструйную обработки [2]. Однако в результате пескоструйной обработки на обработанной поверхности формируется так называемой «безразличная» шероховатость, не имеющая определенного направления следов обработки, а состоящая из множества перекрывающихся друг друга лунок. При этом на их краях формируются острые кромки, что в результате нагрузок, действующих на помещенный в тело пациента имплантат, может приводить к разрушению поверхности костной ткани, с которой он контактирует. При дробеструйной обработке поверхностный слой имплантата претерпевает местное упрочнение, а поверхность приобретает волнообразный профиль, который недостаточно развит для разрастания костной ткани.

Электроконтактная обработка обладает широкими технологическими возможностями, с точки зрения модификации поверхности, и приводит к формированию лунок, имеющих скругленные края. При этом параметрами получаемых лунок можно управлять в момент электрической эрозии, что должно способствовать повышению биомеханических характеристик обработанной поверхности. В этом случае имплантаты считаются наиболее качественными, процент случаев отторжения их организмом минимален, а сроки вживления значительно сокращаются.

Для технической реализации электроконтактной обработки предлагается использовать устройство, приведенное на рисунке 1, которое позволяет модифицировать поверхность металлического имплантата. Для того чтобы осуществить процесс модификации исходный образец металлического имплантата 3 фиксируют в оправке 2, которая связано со шпинделем токарного станка.

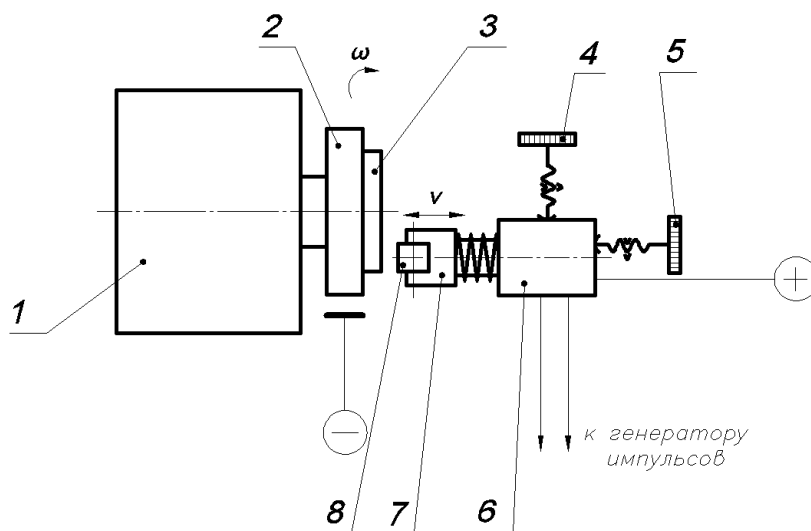


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства для электроконтактной обработки

После этого к поверхности имплантата, которая будет подвергаться модификации подводят с помощью винта поперечной 4 и продольной 5 передачи электромагнитный вибратор, состоящий из обмотки 6, сердечника 7 и ролика 8. Для сообщения ролику колебаний с частотой  $\nu = 1..10$  Гц электромагнитный вибратор подключают к генератору импульсов. В то же время заготовку подключают к «-» электроискрового устройства, а ролик к «+» для осуществления электроконтактной обработки. Затем приводят во вращение шпиндель токарного станка, и посредством поперечной подачи проводят модификацию всей поверхности образца металлического имплантата.

На рисунке 2 приведены фотографии образцов металлических имплантатов до (рисунок 2а) и после (рисунок 2б, в) электроконтактной обработки. Проведя сравнительный анализ полученных поверхностей, установлено, что параметры шероховатости:  $R_a$ ,  $S_m$  – увеличиваются с повышением выходного напряжения электроискрового устройства. Так для рисунка 2а при выходном напряжении  $U_{\text{вых.}} = 160$  В параметры шероховатости составили:  $R_a = 7,8$  мкм,  $S_m = 327,9$  мкм, а при  $U_{\text{вых.}} = 80$  В – параметры шероховатости:  $R_a = 5,9$  мкм,  $S_m = 280,6$  мкм.

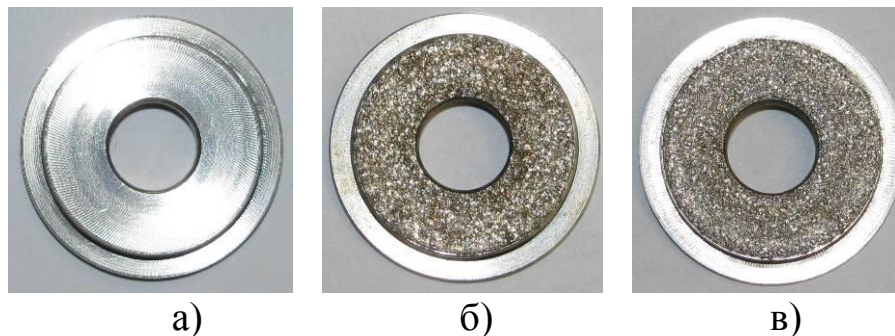


Рисунок 2 – Фотографии поверхности образцов металлических имплантатов после их электроконтактной обработки

Таким образом, в результате проведения экспериментальных исследований разработано устройство для проведения электроконтактной обработки металлических имплантатов, а также методика для осуществления данного способа модификации. Установлено, что электроконтактная обработка обладает преимуществами по сравнению с традиционными методами обработки (пескоструйной и дробеструйной), тем самым повышая остеоинтеграцию металлических имплантатов с модифицированной таким способом поверхностью.

### Литература

1. Имплантаты - Википедия. [Электронный инструмент] / Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%C8%EC%EF%EB%E0%ED%F2%E0%F2%FB> - Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Савич В.В. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В.В. Савич, Д.И. Сарока, М.Г. Киселев, М.Г. Макаренко; под научн. ред. В.В. Савича. – Мн.: «Беларус. навука». – 2012. – 244 с.

**Е.А. Окунец (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **О.М. Дерюжкова**, к.ф.-м.н., доцент

### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ МАТНЕМАТІСА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ГАМИЛЬТОНА-ЯКОБИ

Практически ни одну из реальных задач механики нельзя изучать без использования подходящего приближенного метода. Если даже решение найдено, то оно может оказаться непригодным для интерпретации. Гамильтонов подход позволяет получить решение как каноническое преобразование начальных данных, не обращаясь непосредственно к уравнениям. Гамильтонов формализм обладает уникальным достоинством: вся информация об эволюции системы содержится в единственной функции – гамильтониане. С её помощью можно описать практически все явления, изучаемые в классических теориях; гамильтонов формализм является основой квантовой механики и теорий вторично-квантовых полей. Теория канонических преобразований позволяет развить универсальные методы получения точных и приближенных решений систем нелинейных уравнений. Уравнение Гамильтона-Якоби имеет вид:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + H \left( q_1, q_2, \dots, q_s; \frac{\partial S}{\partial q_1}, \frac{\partial S}{\partial q_2}, \dots, \frac{\partial S}{\partial q_s}; t \right) = 0 .$$

Это уравнение движения механической системы, в котором основную роль играет функция действия. Производящая функция  $S(t, q_i, \alpha_i)$  с основными переменными  $t$  и  $q_i$  удовлетворяет уравнению в частных производных Гамильтона-Якоби. Решение  $S(t, q_i, \alpha_i)$  уравнения в частных производных Гамильтона-Якоби, содержащее  $s$  произвольных постоянных  $q_i$  ( $i=1, \dots, s$ ), называется полным интегралом этого уравнения. Если известно решение ( $S(t, q_i, \alpha_i)$  – полный интеграл) одного уравнений в частных производных, то интегралы системы канонических уравнений можно получить дифференцированием известного полного интеграла по координатам и постоянным [1]:

$$\frac{\partial S}{\partial q_i} = p_i, \frac{\partial S}{\partial \alpha_i} = \beta_i, \text{ где } \alpha_i \text{ и } \beta_i \text{ – произвольные постоянные.}$$

Рассмотрим как реализуется решение уравнений Гамильтона-Якоби в системе Mathematica. Это полностью интегрированная система компьютерной алгебры широко применяется в физических и математических дисциплинах, вычислительной технике и других областях. Система Mathematica является языком программирования высокого уровня, позволяющего использовать, в частности, процедурный стиль программирования. Она содержит ряд возможностей: аналитическое преобразование, численные расчеты, теория чисел, линейная алгебра и графика [2]. Исходя из возможностей системы, решение уравнений Гамильтона-Якоби можно выполнить с помощью аналитических преобразований, численных расчетов и графической интерпретации. Система Mathematica дает возможность решить уравнения Гамильтона-Якоби быстрее и эффективно произвести вычисления с любой заданной точностью.

И так, с помощью системы Mathematica найдем полный интеграл уравнения Гамильтона-Якоби, закон движения и траекторию электрона, движущегося в постоянном однородном магнитном поле в декартовых, цилиндрических и сферических координатах.

Пусть вектор-потенциал магнитного поля имеет вид:  $A = -Hy n_x$ . Тогда уравнение Гамильтона-Якоби для электрона ( $e = -e_0$ ), движущегося в магнитном поле с заданным потенциалом запишем следующим образом:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{1}{2m} \left[ \left( \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{e_0}{c} Hy \right)^2 + \left( \frac{\partial S}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial S}{\partial z} \right)^2 \right] = 0. \quad (1)$$

Его полный интеграл определяется уравнением:

$$S = -E_0 t + \alpha_1 x + \alpha_2 x + f(y). \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), находим производящую функцию:

$$f = \int (2mE - \alpha_2^2 - (\alpha_1 - \frac{e_0}{c} Hy)^{1/2} dy.$$

Далее согласно теореме Якоби (если  $S(t, q_i, \alpha_i)$  – некоторый полный интеграл уравнения движения механической системы с данной функцией

Гамильтона  $H$ , то интегралы системы канонических уравнений можно получить дифференцированием известного полного интеграла по координатам и постоянным:  $\frac{\partial S}{\partial q_i} = p_i, \frac{\partial S}{\partial \alpha_i} = \beta_i$ ), получим интегралы и найдем их, решив систему алгебраических уравнений:

$$-t_0 = \frac{\partial S}{\partial E_0}, t - t_0 = \int \frac{m dy}{[2mE_0 - \alpha_2^2 - (\alpha_1 - \frac{e_0}{c}Hy)]^{1/2}}, \quad (3)$$

$$x_0 = \frac{\partial S}{\partial \alpha_1}, x - x_0 = \int \frac{(\alpha_1 - \frac{e_0}{c}Hy) dy}{[2mE_0 - \alpha_2^2 - (\alpha_1 - \frac{e_0}{c}Hy)^2]^{1/2}}, \quad (4)$$

$$z_0 = \frac{\partial S}{\partial \alpha_2}, z - z_0 = \int \frac{\alpha_2 dy}{[2mE_0 - \alpha_2^2 - (\alpha_1 - \frac{e_0}{c}Hy)^2]^{1/2}}. \quad (5)$$

Вычисляя интегралы (3) и (4), имеем:

$$y = \frac{\alpha_1 c}{eH} - \frac{pc}{eH} \text{Sin } \omega (t - t_0), \quad (6)$$

$$\text{здесь } \omega = \frac{e_0 H}{mc}, p = \sqrt{2mE_0 - \alpha_2^2}, x - x_0 = \frac{c}{e_0 H} [p^2 - (\alpha_1 - \frac{e_0}{c}Hy)^2]^{1/2}.$$

Последнее уравнение является уравнением проекции траектории на плоскость  $XOY$

$$(x - x_0)^2 + \left(\frac{c\alpha_1}{e_0 H} - y\right)^2 = \left(\frac{cp}{e_0 H}\right)^2. \quad (7)$$

Из (6) и (7) также следует

$$x - x_0 = \frac{pc}{e_0 H} \text{Cos } \omega (t - t_0). \quad (8)$$

Наконец, (3) и (5) приводят к закону движения электрона вдоль напряженности магнитного поля:

$$z = z_0 + \frac{\alpha_2}{m} (t - t_0). \quad (9)$$

Из уравнений (6), (8) и (9) следует, что траекторией движения электрона в однородном магнитном поле является винтовая линия. Движение электрона происходит в полосе, лежащей в плоскости  $XOY$ , и может быть наглядно представлено как равномерное вращение заряда с постоянной угловой скоростью  $\omega$  по окружности, центр которой движется параллельно оси  $OY$ . Однако, ширина полосы, в которой происходит движение электрона, а значит и вид траектории зависит от удельного заряда (для произвольных частиц), напряженности магнитного поля, начальной скорости электрона и не зависит от начального положения электрона ввиду однородности поля.

Визуализация траектории движения электрона в однородном магнитном поле в соответствии с решением уравнения Гамильтона-Якоби в различных системах координат представлена на рисунках 1-3.

В декартовой системе координат:

$$x(t) = x; y(t) = y; z(t) = z.$$

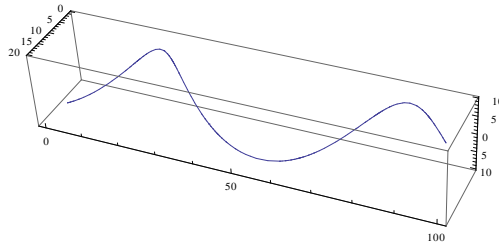


Рисунок 1 – График зависимости  $x, y, z = f(t)$   
в декартовой системе координат

В цилиндрической системе координат:

$$x(t) = \rho(t)\cos(\varphi(t)); y(t) = \rho(t)\sin(\varphi(t)); z(t) = z.$$

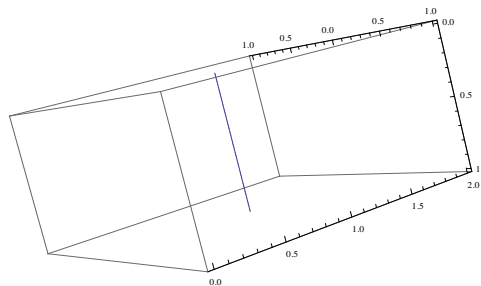


Рисунок 2 – График зависимости  $x, y, z = f(t)$   
в цилиндрической системе координат

В сферической системе координат:

$$x(t) = \rho(t)\cos(\varphi(t))\sin(\theta(t)); y(t) = \rho(t)\sin(\varphi(t))\sin(\theta(t)); z(t) = \rho(t)\cos(\theta(t)).$$

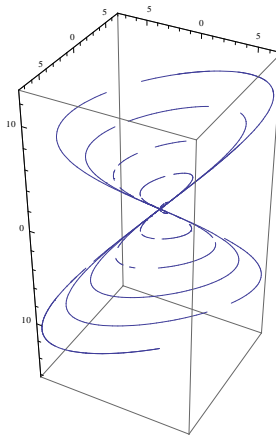


Рисунок 3 – График зависимости  $x, y, z = f(t)$   
в сферической системе координат

Рисунки подтверждают проделанные ранее аналитические вычисления. В декартовой системе координат на рисунке 1 представлена



фронтальная проекция цилиндрической винтовой линии. В цилиндрической системе координат винтовая линия разворачивается в прямую линию (рисунок 2). В сферической системе координат (рисунок 3) траекторией является коническая винтовая линия, расположенная на круглом конусе.

### Литература

1. Савельев, И.В. Основы теоретической физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1991. – 496 с.
2. Воробьев, Е.М. Введение в систему Mathematica / Е.М. Воробьев. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 258 с.

**А.Н. Редько (УО «БГПУ им.М.Танка», Минск)**

Науч. рук. **В.М. Катаркевич**, к.ф.-м.н., вед.н.с. (ИФ НАН Беларуси)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКОГО СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО НАНОКОМПОЗИТА**

Благодаря своим уникальным характеристикам, трехмерные (объемные) голограммы находят все более широкое применение в научных и прикладных исследованиях, составляя основу создания систем трехмерной оптической памяти, оптических элементов современных устройств оптических информационных процессоров, голографических оптических элементов в системах телекоммуникаций (мультиплексоры/демультиплексоры, волоконные брэгговские решетки), фотонных кристаллов и др. При этом особый интерес представляют глубокие объемные голограммы, записываемые на слоях толщиной  $\sim 0,1 - 1$  мм и более, отличающиеся чрезвычайно высокой угловой и спектральной селективностью. Несмотря на многолетнюю историю развития объемной голографии, до настоящего времени светочувствительные среды, пригодные для глубокой объемной голографической записи, существуют главным образом в виде лабораторных образцов. Поэтому поиск и разработка новых регистрирующих сред для записи эффективных объемных голограмм является весьма актуальной задачей.

Ранее нами был предложен и исследован новый вид самопроявляющейся светочувствительной активной среды для фазовой записи и лазеров на красителях – активированный красителем желатиновый гель [1]. Такая среда на слоях толщиной  $\sim 1$  мм позволяет осуществлять запись объемных голограмм с высокими значениями дифракционной эффективности

(~70–90 %) и угловой селективности (~18–20'). Было установлено, что введение в состав желатинового геля неорганических наночастиц позволяет заметно улучшить реологические характеристики такого материала, а также эксплуатационные характеристики записываемых в нем голограмм [2, 3]. Вследствие простоты приготовления, низкой стоимости, экологичности такого органо-неорганического светочувствительного нанокompозита, а также перспективности его использования при создании голограммных оптических элементов и миниатюрных лазеров на красителях с распределенной обратной связью, представляет интерес исследование его спектрально-люминесцентных характеристик.

В настоящей работе изучено влияние добавки наночастиц серебра ( $Ag$ ) и диоксида кремния ( $SiO_2$ ) на спектрально-люминесцентные характеристики активированного родамином 6Ж желатинового геля. Использовались гелевые растворы красителя с концентрацией  $C_d = 0,12$  мг/г при концентрации желатина  $C_g = 0,1$  г/г. В качестве наночастиц были использованы коллоидные растворы  $Ag$  и  $SiO_2$  в воде со средним диаметром 5 и 12 нм, соответственно. Для проведения измерений приготовленный по ранее отработанной технологии [2] гелевый раствор красителя заливался в плоскопараллельную оптическую кювету с толщиной рабочего слоя ~ 1 мм и студенился при комнатной температуре в течение не менее одних суток.

Проведенные исследования показали, что добавка наночастиц  $Ag$  в активированный красителем желатиновый гель приводит к деформации спектра оптической плотности материала – появлению дополнительного поглощения в спектральной области плазмонного резонанса наночастиц, которое зависит от концентрации наночастиц, возрастая с ее увеличением. Так, например, при концентрации наночастиц  $Ag$  в геле  $C_{Ag} \sim 0,02$  мг/г в области  $\lambda \sim 425$  нм оптическая плотность раствора возростала примерно в 2 раза (с  $D \approx 0,11$  до  $D \approx 0,22$ ) по сравнению со случаем без наночастиц. В то же время в максимуме спектра поглощения, спектральное положение которого сохранялось практически неизменным ( $\lambda \sim 529$  нм), оптическая плотность материала увеличивалась всего лишь на несколько процентов. Это связано со слабостью поглощения наночастиц  $Ag$  в указанном спектральном диапазоне.

Введение в состав гелевого раствора родамина 6Ж наночастиц  $SiO_2$  ( $C_{SiO_2} \geq 30$  мг/г) также сопровождалось деформацией спектра оптической плотности раствора, которое, однако, носило несколько иной характер. Во-первых, наблюдалось возрастание оптической плотности в области длин волн  $\lambda < \lambda_{ip}$ , где  $\lambda_{ip} \approx 511$  нм – изобестическая точка гелевого раствора родамина 6Ж, представляющего собой смесь мономерных

и димерных молекул красителя. Во-вторых, имело место некоторое понижение пика поглощения мономеров ( $\lambda_m \approx 529$  нм) при соответствующем повышении пика поглощения димеров ( $\lambda_d \approx 504$  нм). Причем, увеличение концентрации наночастиц сопровождалось соответствующим усилением указанных выше эффектов. В то время как первый эффект обусловлен главным образом рэлеевским рассеянием излучения на наночастицах  $SiO_2$ , второй из них является проявлением агрегирующей способности наночастиц  $SiO_2$ . Дело в том, что используемые в работе наночастицы  $SiO_2$  (торговая марка «*Ludox AM-30*») имеют отрицательно заряженную поверхность и поэтому притягивают к себе молекулы родамина 6Ж, обладающего ярко выраженными катионными свойствами. При близком соседстве молекул, локализованных на поверхности наночастицы, создаются благоприятные условия для их ассоциации в нелюминесцирующие комплексы - димеры, что и наблюдается в эксперименте.

Сравнительные исследования люминесцентных характеристик активированного красителем желатинового геля с наночастицами и без наночастиц были выполнены при возбуждении его низкоинтенсивным излучением 2-й гармоники ( $\lambda = 532$  нм) наносекундного АИГ: $Nd^{3+}$ -лазера. Было установлено, что присутствие в гелевом растворе наночастиц  $Ag$  и  $SiO_2$  практически не влияет на структуру контура люминесценции красителя и спектральное положение его максимума. При этом интенсивность люминесценции красителя уменьшается при добавлении наночастиц и увеличении их концентрации. В случае гелевого раствора красителя с наночастицами  $Ag$  одной из возможных причин наблюдаемого явления может быть возникновение дополнительных потерь на поглощение для возбуждающего излучения и излучения люминесценции красителя вследствие перекрытия спектра поглощения наночастиц  $Ag$  со спектрами поглощения и люминесценции родамина 6Ж. В то же время наиболее вероятными причинами уменьшения интенсивности люминесценции красителя в геле с наночастицами  $SiO_2$  являются понижение концентрации люминесцирующих (мономерных) молекул, возникновение дополнительных потерь возбуждающего излучения на поглощение димерами, а также рассеяние на наночастицах  $SiO_2$  возбуждающего и люминесцентного излучений.

### Литература

1. Эфендиев, Т.Ш. Запись объемных голограмм в водно-желатиновом геле, активированном красителем / Т.Ш. Эфендиев, В.М. Катаркевич, А.Н. Рубинов // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32, № 21. – С. 62–68.
2. Эфендиев, Т.Ш. Дифракционные свойства объемных голограмм, записанных в органо-неорганическом светочувствительном нанокompозите / Т.Ш. Эфендиев, В.М. Катаркевич, А.Н. Рубинов // Сборник научных

трудов VIII Международной научной конференции «Лазерная физика и оптические технологии» (27–30 сентября 2010 г., г. Минск). Минск: 2010. – Т. 2. – С. 80–83.

3. Компактный лазер на красителях со стационарной распределенной обратной связью на основе нанокompозитной среды / Т.Ш. Эфендиев [и др.] // Сборник научных трудов VIII Международной научной конференции «Лазерная физика и оптические технологии» (27–30 сентября 2010 г., г. Минск). – Минск: 2010. – Т. 1. – С. 21–24.

**Д.В. Рехлицкая (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Л.С. Пинчук**, д.т.н., профессор

## **РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА**

Глобальной проблемой XXI века стал аномально высокий уровень техногенных электромагнитных излучений (ЭМИ) в атмосфере, возникший в связи с быстрым развитием современного промышленного производства, интенсивным ростом мощности радио- и телекоммуникаций, массовым применением компьютеров, мобильных телефонов и микроволновой техники [1].

Для локального снижения уровня нежелательных ЭМИ используют электромагнитные экраны, изготовленные из полимерных материалов, которые наполнены твердыми веществами, поглощающими излучение: ферритами, карбонильным железом, сегнетоэлектриками [2].

В связи с их дефицитностью актуален поиск дешевых радиопоглощающих компонентов композиционных материалов. Таким компонентом может быть вода, которая значительно (на ~ 28 дБ) ослабляет энергию падающего на водный экран СВЧ-излучения [3]. Однако переработка полимерных расплавов совместно с водой противоречит правилам техники безопасности, и поэтому технологи стремятся полностью удалить воду из перерабатываемых полимерных гранул. Это препятствие можно преодолеть с помощью водорастворимых полимеров, в частности, поливинилового спирта (ПВС), образующих с водой сшитые структуры – гидрогели.

Недостаток гидрогелевых материалов состоит в том, что испарение воды снижает их способность к поглощению энергии ЭМИ и ухудшает деформационно-прочностные показатели. Этот недостаток устраняется путем обработки гидрогелей холодом в результате которой формируются криогели – эластичные конструкционные материалы, поглощающие энергию СВЧ-излучения.

Для приготовления образцов использовали порошок ПВС (ГОСТ 10779-87). Раствор ПВС концентрацией 10% мас. в дистиллированной воде готовили путем двукратного нагревания при 80 и 90 °С с выдержкой при этих температурах. Охлажденный до  $T_1 = 20$  °С раствор заливали в форму слоем  $h_1 = 2$  мм, помещали ее в хладотермостат и выдерживали при температуре  $T_2 = -10$  °С в течение 2 часов. Устанавливали режим размораживания  $v = 1,0$  °С/мин., извлекали заготовку при температуре  $T_3 \sim 4$  °С из формы и высушивали в комнатных условиях в течение суток. После этого наливали на поверхность криогелевого листа исходный раствор ПВС и распределяли его тонким слоем с помощью кисти. Толщину  $h_2$  слоя раствора контролировали щупом. Затем вторично замораживали заготовку при той же температуре  $T_2$  в течение часа, размораживали и высушивали.

Коэффициент поглощения  $S$  образцами энергии СВЧ-излучения определяли рефлектометрически с помощью панорамного измерителя энергии излучения Р2-61.

Деформационно-прочностные параметры криогелевых образцов при растяжении – предел прочности  $\sigma$  и относительное удлинение при разрыве  $\varepsilon$  – измеряли по ГОСТ 14236-81 с помощью разрывной машины SHIMADZU, модель AGS 1к Nх.

Установлено, что оптимальными технологическими режимами формирования радиопоглощающих листовых материалов на основе криогелей ПВС являются: толщина слоя раствора на поверхности заготовки  $h_2 = 100 \div 200$  мкм и скорость его размораживания  $v \leq 1,0$  °С/мин. Листы сформированные при этих режимах, демонстрируют удельный коэффициент поглощения энергии СВЧ-излучения  $\sim 10$  дБ/мм, характеризуется пределом прочности  $\sigma = 2,5$  МПа, и относительным удлинением при разрыве  $\varepsilon = 170$  %.

Предположенный способ найдет применение на предприятиях, изготавливающих гибкие электромагнитные экраны и элементы спецодежды, защищающей от ЭМИ

### Литература

1. Электромагнитные поля и здоровье человека / под ред. Ю.Г. Григорьева – М.: РУДН, 2002. – 177 с.
2. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / под ред. Л.М.Лынькова. – Мн.: БГУИР, 2000. – 284 с.
3. Ломач В.А., Пинчук Л.С., Гольдаде В.А., Банный В.А. Эффективность несвязанной воды как радиопоглощающего компонента электромагнитных экранов при отрицательных температурах // Материалы, технологии, инструменты, 2011. – Т. 16, № 4, С. 41–44.

**Д.Е. Храбров (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **И.А. Мурашко**, д.т.н., доцент

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ПРАВИЛ РАБОТЫ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ В КОНТЕКСТЕ ГЕНЕРИРОВАНИЯ M-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

На текущий момент самым используемым методом генерации тестовых воздействий максимальной длины является регистр сдвига с линейной обратной связью (англ. Linear feedback shift register, LFSR). Основным достоинством LFSR является его изученность и простота аппаратной реализации, для которой требуется лишь регистр сдвига и многовходовой сумматор по модулю два [1]. Однако использование LFSR не всегда оправдано для схем встроенного самотестирования ввиду сильной корреляции между последовательностями, формируемыми на различных разрядах генератора. Так что в последнее время внимание учёных направлено на использование альтернативных методов генерации псевдослучайных последовательностей максимальной длины, так же называемых M-последовательностями. В частности, в качестве генераторов M-последовательностей рассматриваются генераторы на клеточных автоматах (КА) [2, 3].

Наиболее полно исследованы клеточные автоматы на основании правил 90 и 150 с нулевыми граничными условиями [4]. Для них созданы таблицы конфигураций, позволяющих формировать M-последовательности [5].

В общем случае клеточный автомат может быть рассмотрен как простая модель пространственно протяжённого устройства, состоящего из ряда ячеек. Связи между ячейками ограничены локальным взаимодействием. В данной работе рассматриваются только одномерные клеточные автоматы. Если на крайние ячейки автомата постоянно подаётся логический ноль, то такие граничные условия называются нулевыми. Если автомат “завёрнут” в кольцо (то есть последняя ячейка связана с первой и наоборот), то такие граничные условия называются циклическими.

В данной работе использован набор правил: 0, 170, 204, 102, 240, 90, 60, 150. Эти 8 правил представляют из себя все вариации одной клетки и двух соседей при использовании только сумматоров по модулю два. Особое значение здесь играют правила 0 и 204, при их использовании клетка никогда не меняет своё значение, что фактически означает превращение клеточного автомата из циклического в линейный автомат с фиксированными граничными условиями.

Отдельное место в этом наборе занимают правила 0 и 204, так как по сути сводят циклический клеточный автомат к автомату с нулевыми граничными условиями, но меньшей размерности. Это показано на рисунке 1.

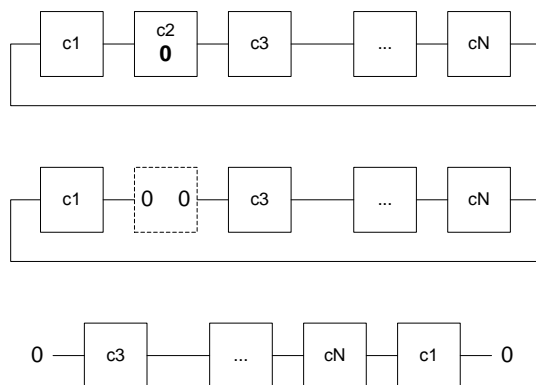


Рисунок 1 – Использование правила 0 в клеточном автомате с циклическими граничными условиями

В данной работе исследуется проблема классификации наборов правил КА, на которых генератор сможет выдавать последовательность максимальной длины. По рисунку 1 видно, что при использовании правила 0 клеточный автомат фактически будет уменьшен на степень (то есть иметь размерность  $n-1$ ), соответственно такой автомат не сможет генерировать последовательность длины  $2^n-1$ , только  $2^{n-1}-1$ . Аналогичные результаты получаются для правила 204, которое формирует единичные граничные условия. Как следствие, для рассмотрения остались 6 правил: 170, 102, 240, 90, 60, 150.

Методика выбора конкретного набора правил для генератора в зависимости от критерия приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема выбора набора правил

Минимальная реализация может быть выполнена на правилах 240 (0 сумматоров), 60 и 90 (по одному сумматору). Соответственно,

генератор на этих правилах содержит максимум один сумматор по модулю два на разряд. В то же время, если используется большое количество ячеек с правилом 240, то аппаратные затраты снижаются (таблица **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Однако их недостаток, что в этом случае фрагменты генератора повторяют работу LFSR. Чтобы улучшить качество мы можем использовать конфигурации, содержащие правила 60 и 90. Эти правила формируют достаточно большие фазовые сдвиги M-последовательности между соседними каналами, что повышает качество генерируемой последовательности.

С другой стороны, если главным критерием является качество, то тогда необходимо минимизировать число ячеек с правилом 240 (межканальный сдвиг для этого разряда равен единице). Заметим, что расчёт фазовых сдвигов упрощается при регулярной структуре генераторов, то есть наличии фрагментов с одинаковыми правилами функционирования. Соответственно, можно выбирать конфигурации, включающие правила и 150, и 60, и 240 – можно набирать любую доступную конфигурацию, при этом минимизируя количество ячеек с правилом 240.

### Литература

1. Golomb, S. W. Shift register sequences / S. W. Golomb // San Francisco: Holden-Day. – 1967. – P. 224.
2. Hortensius, P. D. Parallel random number generation for VLSI systems using cellular automata / P. D. Hortensius // IEEE Transactions on Computers. – 1989. – Vol. 38 (10). – P. 1466–1473.
3. del Reya, A. Martin. Reversibility of linear cellular automata / A. Martin del Reya, G. Rodriguez Sanchez // Applied Mathematics and Computation. – 2011. – Vol. 217. – P. 8360–8366.
4. Ярмолик, В. Н. Реализация генератора псевдослучайной последовательности на клеточных автоматах / В. Н. Ярмолик, И. А. Мурашко // Автоматика и вычислительная техника. – 1993. – 3. – С. 9–13.
5. Cattell, K. Minimal cost one-dimensional linear hybrid cellular automata of degree through 500 / K. Cattell, Sh.Zhang // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. – 1995. – Vol. 6. – P. 255–258.

**В.А. Черчук (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. Д.Л. Коваленко, к.ф.-м.н., доцент

### **ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ TiO<sub>2</sub> ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЯ**

В настоящее время наряду с увеличением темпов роста промышленного производства и хозяйственной деятельности обостряется проблема очистки



воды. Существующие на сегодняшний день сорбционные (сорбция на угле и коагулянтах), разделительные (мембранные технологии и продувка воздухом) и деструктивные (озонирование и хлорирование, биохимический метод) технологии лишь частично решают проблему загрязнения воды, так как предусматривают дополнительное обезвреживание и захоронение отходов, скапливающихся на поверхности фильтров в процессе очистки. Фотокаталитический метод выгодно выделяется на фоне указанных технологий и обладает комплексом положительных свойств. Так, применение данного метода снижает объёмы выброса в атмосферу окислителей типа хлора и озона, устраняет необходимость обезвреживания отходов, так как его реализация не связана с накоплением загрязнителей, требующих последующей утилизации.

В данной работе рассматриваются наиболее перспективные технологические подходы к созданию фотокаталитически активных покрытий на основе диоксида титана. Таким подходом является золь-гель метод, позволяющий формировать наноструктурированные материалы повышенной чистоты. Золь-гель метод – это метод получения материалов, в том числе наноструктурированных, включающий получение золя с последующим переводом его в гель, т. е. в коллоидную систему, состоящую из жидкой дисперсионной среды, заключенной в пространственную сетку, образованную соединившимися частицами дисперсной фазы. Основанный на осаждении гидроксидов либо этоксидов металлов с последующей кристаллизацией оксидов при термической обработке, данный метод позволяет в широких пределах варьировать физико-химические свойства получаемых покрытий и достигать значительного взаимодействия компонент плёнообразующего раствора.

В воде органические примеси, попав на поверхность частички  $\text{TiO}_2$ , могут быть окислены до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . К настоящему времени показано, что в облучаемых суспензиях  $\text{TiO}_2$  этому процессу подвержены практически любые органические соединения.

Для синтеза тонкоплёночные покрытия, золь-гель методом на основе оксида титана наиболее предпочтительно использовать изопророксида титана или этоксиды титана. Коллоидные растворы  $\text{TiO}_2$ , различающиеся размером частиц и устойчивостью, были получены из  $\text{Ti}(\text{OPr}^i)_4$ , модифицированного ацетилацетоном, при использовании органических растворителей различной полярности и с разным молярным объемом. По данным рентгенофазового анализа, независимо от природы используемого при гидролизе органического растворителя все свежеприготовленные золи, полученные с добавлением или без добавления ацетилацетона, содержат аморфный  $\text{TiO}_2$ , который превращается в нанокристаллическую фазу анатаза при нагревании до  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Однако использование

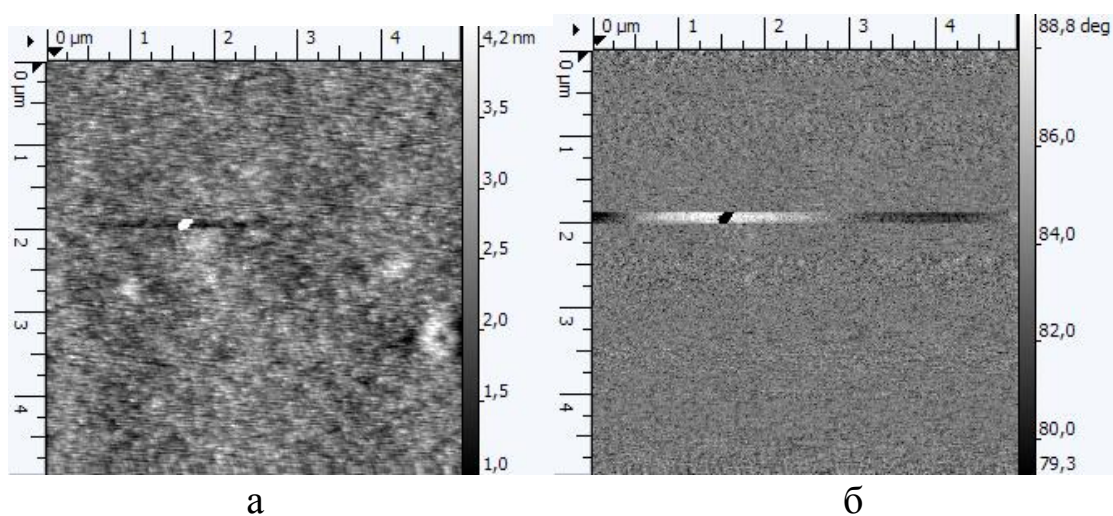
растворителей с малым молярным объемом и модифицирование предшественника ацетилацетоном приводят к стабилизации коллоидного раствора  $\text{TiO}_2$ , что и является основным результатом работы. При термической обработке гелей гидратированных форм диоксида титана происходит их кристаллизация с образованием безводного  $\text{TiO}_2$ . В зависимости от температуры прокаливания возможны полиморфные модификации гидратированного  $\text{TiO}_2$  в анатаз, рутил или брукит, сопровождающиеся изменением удельной поверхности и пористой структуры. Золь – гель метод дает не только возможность регулировать и воспроизводить соотношение кристаллических фаз  $\text{TiO}_2$  (анатаза, рутила и брукита) в конечном продукте, но и получать каждую фазу в чистом виде.

Так же в данной работе исследовался золь-гель метод получения покрытия на основе этаксида титана с различным содержанием оксида титана и отношением компонент плёнкообразующего золя. Приготовленные золи наносили на кремниевые подложки методом центрифугирования с последующей поэтапной термообработкой на воздухе до температуры  $400^\circ\text{C}$ .

В результате эксперимента на поверхности подложек были сформированы однородные покрытия, характеризующиеся хорошей адгезией к поверхности кремния и металлов.

Морфология формируемой поверхности, в зависимости от соотношения между компонентами плёнкообразующего золя, характеризуется различными структурными изменениями.

Поверхность покрытий, сформированных на основе этаксида титана отличается однородностью, за исключением отдельных частиц (рисунок 1).



а – топография; б – фазовый контраст

Рисунок 1 – АСМ изображения покрытия

В результате проделанного эксперимента разработана методика формирования тонкоплёночных систем, позволяющая синтезировать покрытия на основе оксида титана для создания систем очистки воды базе фильтров, выполненных из набора металлических сеток с активным фотокаталитическим покрытием.

Результаты исследований доказывают высокую эффективность разработанных фотокаталитических материалов на основе  $\text{TiO}_2$  и возможность их использования при разработке технологии очистки воды.

### Литература

1. Fujishima, X. Zhang, D.A. Tryk,  $\text{TiO}$  photocatalysis and related surface phenomena, *Surface Science Report №63:515* (2008).
2. Артемьев Ю.М., Рябчук В.К. Введение в гетерогенный фотокатализ. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та, 1999.
3. Способ получения дисперсий  $\text{TiO}_2$  в форме наночастиц, дисперсии, полученные указанным способом, и применение дисперсий  $\text{TiO}_2$  для придания поверхностям заданных свойств: пат. 2399589 С2 РФ, МПК *C01G23/053* /Дж.Балди, М.Битосси, А.Барцанти; Колороббия Италия С.П.А. – № 2007125485; заявл. 20.01.2009; опубл. 20.09.2010// Федеральная служба по интеллект. собственности, патентам и товарным знакам. – 2010.
4. G.Xingtao, I.E. Wachs, Titania-silica as catalysts: molecular structure characteristics and physico-chemical properties // *Catalysis Today № 51.* – 1999.

**А.А. Шевцов (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. Л.С. Пинчук, д.т.н., профессор

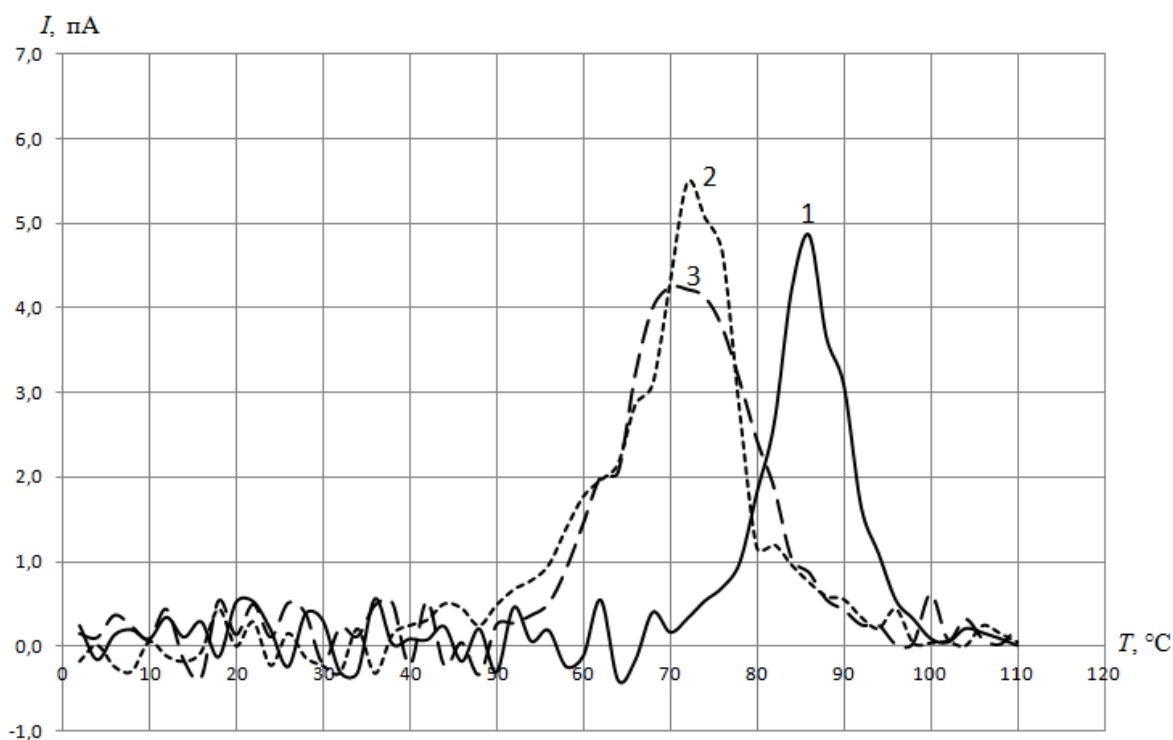
### **ЭЛЕКТРЕТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН, ПОДВЕРГНУТЫХ КРЕЙЗИНГУ ПРИ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ**

Исследовано электретное состояние полиэфирных волокон, в частности, полиэтилентерефталатных (ПЭТФ-волокон, лавсановых волокон), подвергнутых крейзингу при ориентационной вытяжке. Крейзинг – процесс образования в поверхностном слое синтетических волокон, подвергаемых вытяжке, системы поперечных трещин, стенки которых соединены фибриллярными тяжами. [1] В крейзы можно ввести любые модификаторы, в том числе термодинамически несовместимые с материалом волокна. Крейзообразование проводили в двух средах: воздухе и этиловом спирте.

Вытяжка волокон сопровождается разрушением межмолекулярных связей. В результате этого в волокне происходит формирование и пространственное распределение носителей зарядов, т.е. электрическая поляризация и возникновение электретьного состояния. [2] Заряд полимерных электретьтов определяют методом термостимулированной деполяризации (ТСД) [3], в процессе которой регистрируют спектр термостимулированных токов (ТСТ). Спектр ТСТ – это температурная зависимость силы электрического тока, который возникает в электретьном образце при нагревании.

Ориентационная вытяжка полиэфирных волокон (ПЭТФ-волокон) обуславливает смещение пика ТСТ в область более низких температур, по сравнению с исходными образцами волокон. Это дает возможность определить дефектную предысторию волокон, не проводя механических испытаний.

На рисунке 1 представлены спектры ТСТ ПЭТФ-волокон.



1 – исходное волокно; 2 – волокно, подвергнутое вытяжке на воздухе;  
3 – волокно, подвергнутое вытяжке в этиловом спирте.

Рисунок 1 – Спектры ТСТ ПЭТФ-волокон

### Литература

1. Волынский А.Ф., Бакеев Н.Ф. Структурная самоорганизация аморфных полимеров / А.Ф. Волынский, Н.Ф. Бакеев – М.: Физматлит, 2005. – 232 с.

2. Электреты: пер. с англ. / под ред. Г. Сесслера. – М.: Мир, 1983. – 487 с.

3. ГОСТ 25209–82. Пластмассы и пленки полимерные. Методы определения поверхностных зарядов электретов.

**Н.И. Явкин (БГУ, Минск)**

Науч. рук. **Г.Ф. Стельмах**, к.ф.-м.н., доцент;

**О.Ю. Смирнова**, старший преподаватель

## **СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ GeSi**

Постоянные кристаллической решетки материалов Ge и Si отличаются примерно на 4 %, поэтому в твердых растворах GeSi появляются встроенные упругие напряжения, которые существенным образом влияют на зонную структуру носителей заряда и спектры фононов. Этот эффект ограничивает возможности практического применения твердых растворов [1]. В настоящей работе исследуются особенности фононных спектров в твердых растворах GeSi и оцениваются изменения параметров кристаллической решетки.

Одним из методов структурного анализа, позволяющим исследовать фононные спектры и их изменения, является спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС). Для исследований использовались монокристаллические образцы твердых растворов  $Ge_{1-x}Si_x$  ( $x = 0-0,06$ ) с удельным сопротивлением 1 Ом-см. Спектры КРС записывались при комнатной температуре с помощью Nanofinder High End (Lotis TII) – микрорамановского спектрометра, совмещенного с 3D сканирующим конфокальным микроскопом. Регистрация спектров осуществлялась по схеме обратного рассеяния, разрешение спектрометра составляло  $0,3 \text{ см}^{-1}$ . Подводимая к образцу мощность составляла 2 мВт, а диаметр возбуждающего пучка – около 1 мкм. Использовалось возбуждение излучением твердотельного лазера с длиной волны 532 нм.

На рисунке 1 представлены спектры КРС твердых растворов  $Ge_{1-x}Si_x$ , обусловленные локальной колебательной модой связи Ge-Ge. Действительно, при  $x = 0$  максимум полосы равен  $300 \text{ см}^{-1}$ , что совпадает с частотой оптического фонона в германии [2].

С увеличением содержания кремния хорошо виден связанный с изменением величин деформаций сдвиг пиков локальных колебаний Ge-Ge в область более малых значений волновых чисел. При  $x = 0,06$  максимум полосы равен  $298,3 \text{ см}^{-1}$ . Причиной сдвига частоты линий в спектрах

являются встроенные напряжения, вызванные существенным отличием постоянных кристаллической решетки Ge и Si. Изменение объема элементарной ячейки Ge легко оценить, воспользовавшись соотношением Грюнайзена  $(v_0 / v) = (v / v_0) \gamma$ , где  $v_0$  – объем недеформированной элементарной ячейки кремния,  $v$  – объем элементарной ячейки кремния в твердом растворе,  $\nu_0$  – частота оптического фонона в объемном недеформированном материале,  $\nu$  – частота оптического фонона того же материала в твердом растворе,  $\gamma$  – параметр Грюнайзена. Для германия эти параметры имеют следующие значения [2]:  $a$  (постоянная решетки) = 0,56579 нм;  $\gamma = 1,12$ ;  $\nu_0 = 300 \text{ см}^{-1}$ . Из полученных экспериментальных результатов получено значение постоянной решетки для твердого раствора Ge 1-0,06 Si 0,06, равное 0,56675 нм. Это значение на 0,17 % превышает значение постоянной решетки в чистом германии.

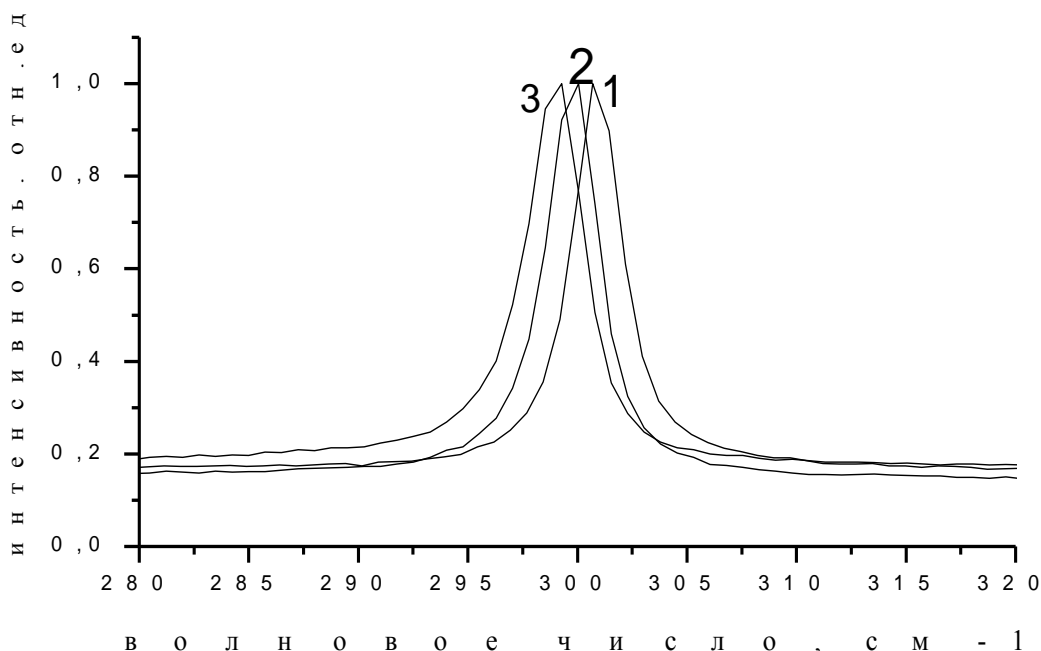


Рисунок 1 – Спектры КРС первого порядка для твердых растворов Ge<sub>1-x</sub>Si<sub>x</sub> с различным содержанием кремния x: 0,06; 0,031; 0,10

Таким образом, из анализа полученных результатов следует, что кремний в силу своего более малого ковалентного радиуса приводит к растяжению решетки германия в твердом растворе GeSi.

### Литература

1. В. А. Гайслер, О. А. Кузнецов, И. Г. Неизвестный, Л. К. Орлов, М.П. Синюков, А. Б. Талочкин Комбинационное рассеяние света на локальных колебаниях твердых растворов Ge<sub>x</sub>Si<sub>1-x</sub>, ФТТ, 31, 292 (1989).
2. Питер, Ю.М. Кардона Основы физики полупроводников, М.: Физмат, 2002.

## Секция 2 «Моделирование физических процессов»

### Председатели:

Андреев Виктор Васильевич, к.ф.-м.н., доцент,  
Дей Евгений Александрович, к.ф.-м.н., доцент

**А.Н. Богатенко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**  
Науч. рук. **В.И. Кондратенко**, старший преподаватель

### АНОМАЛЬНАЯ ДИСПЕРСИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований взаимодействия электромагнитных волн СВЧ-диапазона с периодической структурой, образованной чередованием плоских диэлектрических слоев с толщиной, значительно меньшей длины волны в волноводе прямоугольного сечения.

Нами исследовались свойства слоистой структуры полистирола, в частности зависимость пропускания и отражения электромагнитных волн СВЧ-диапазона от слоев, состоящих из последовательно размещенных в волноводе пластинок, число которых изменялось от 1 до 100. Для описания процесса распространения электромагнитных волн в слоистой структуре, на основании рекуррентных формул были получены выражения, описывающие зависимость коэффициента отражения и прохождения электромагнитной волны, а также зависимость амплитуды электромагнитной волны от положения элемента структуры в слое,

$$\Gamma_n = \frac{\Gamma \cdot Q^{2n} \cdot e^{i2n\Delta\varphi} - 1}{\Gamma^2 \cdot Q^{2n} \cdot e^{i2n\Delta\varphi} - 1}, \quad (1)$$

$$Q_n = \frac{Q^n \cdot e^{in\Delta\varphi} (1 - \Gamma^2)}{1 - \Gamma^2 \cdot Q^{2n} \cdot e^{i2n\Delta\varphi}}, \quad \text{и} \quad (2)$$

$$U_k = \frac{(1 + \Gamma)(Q^{2n} \cdot e^{i2n\Delta\varphi} - Q^{2k} \cdot e^{i2k\Delta\varphi})}{Q^k \cdot e^{ik\Delta\varphi} (1 - \Gamma^2 \cdot Q^{2n} \cdot e^{i2n\Delta\varphi})} U_0 \quad (3)$$

соответственно.

На основании данных формул был произведен расчет зависимости коэффициента отражения от числа пластинок. Для подтверждения результата было проведено натурное моделирование процесса отражения и прохождения электромагнитной волны от слоисто-неоднородной структуры в волноводе в диапазоне частот 8-11 ГГц. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1.

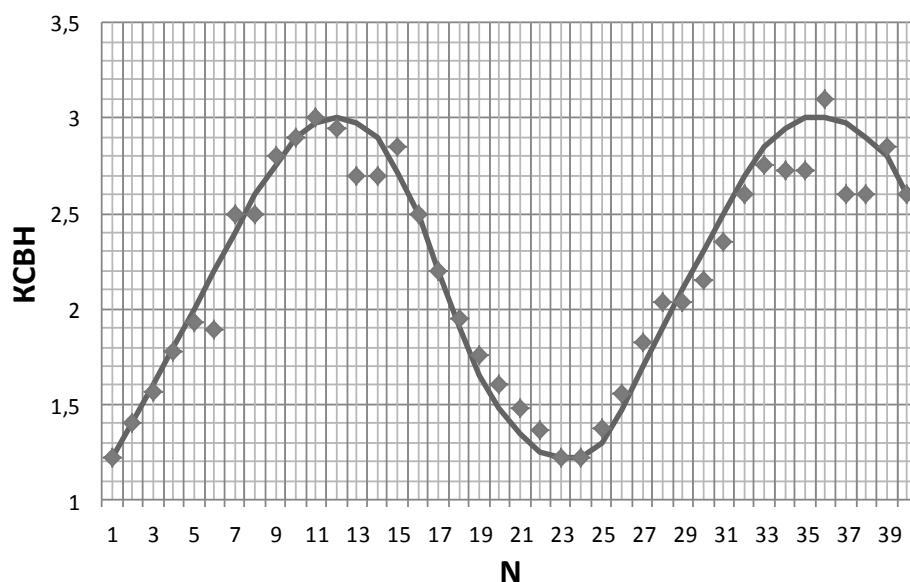


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента стоячей волны от числа пластинок (линией изображена теоретическая зависимость, точками представлена экспериментальная)

Очевидно хорошее качественное совпадение результатов, разброс экспериментальных точек обусловлен сложностью в осуществлении плотной упаковки дискретных элементов в волноводе. Особенностью полученного результата было обнаружение области аномальной дисперсии показателя преломления, положение которой зависело от числа дискретов. Причем данное явление имеет выраженный характер для любого числа пластин, в том числе при суммарной толщине слоя диэлектрика значительно меньшей длины волны излучения в волноводе.

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента стоячей волны при отражении от слоистой структуры в области аномальной дисперсии.

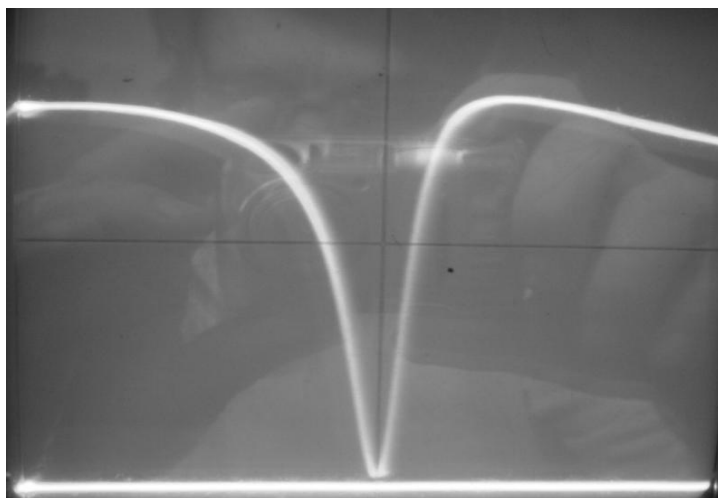


Рисунок 2 – Зависимость КСВН в области аномальной дисперсии при отражении



По результатам измерений была рассчитана зависимость эффективного показателя преломления структуры от частоты, которая представлена на рисунке 3.

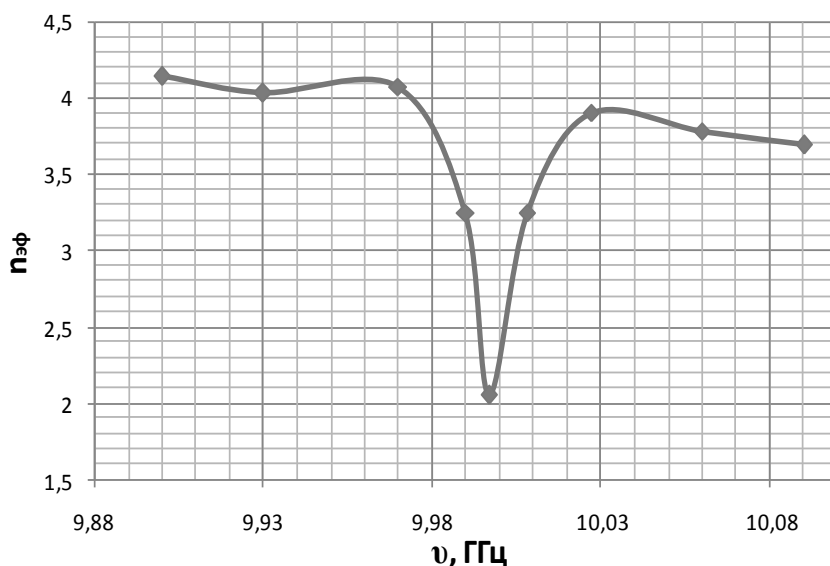


Рисунок 3 – Зависимость эффективного показателя преломления от частоты

На существование аномальной дисперсии в этой области указывает зависимость ослабления электромагнитной волны при прохождении через слоистую структуру от частоты, которая также имеет четко выраженный вид узкой полосы, что характерно для аномальной дисперсии. Как указывалось выше, положение данной полосы зависит от числа элементов структуры.

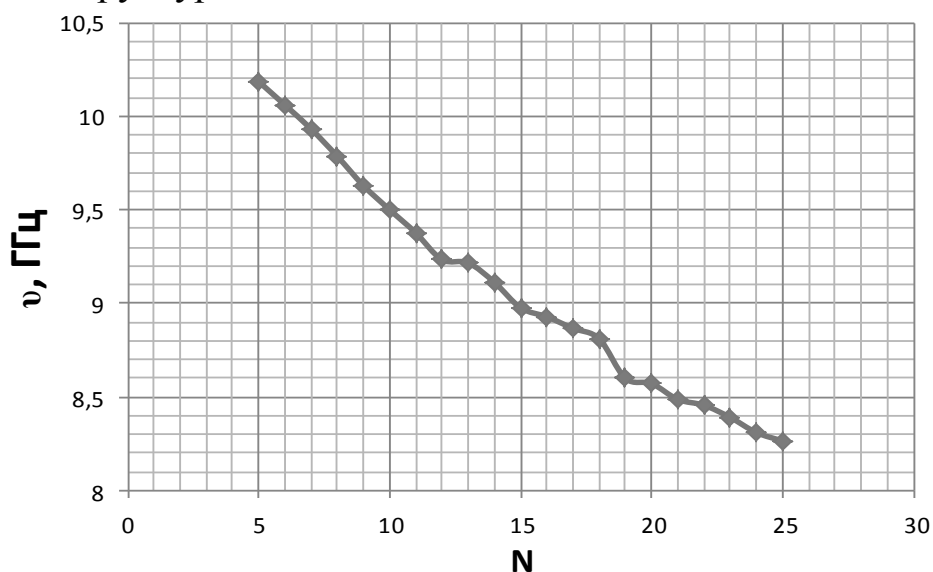


Рисунок 4 – Зависимость положения полосы аномальной дисперсии от числа пластинок

С увеличением числа дискретов, наблюдается смещение полосы резонансного поглощения в более длинноволновую область. Коэффициент стоячей волны в данной области достигает величины порядка 1,22, что соответствует коэффициенту отражения порядка 0,1.

Таким образом, данная плоскостойкая структура может использоваться в качестве неотражающего покрытия, причем толщина данного покрытия пренебрежимо мала по сравнению с интерференционными покрытиями аналогичного типа для однородных сред. Ослабление в данной области составляет не менее 5 Дб.

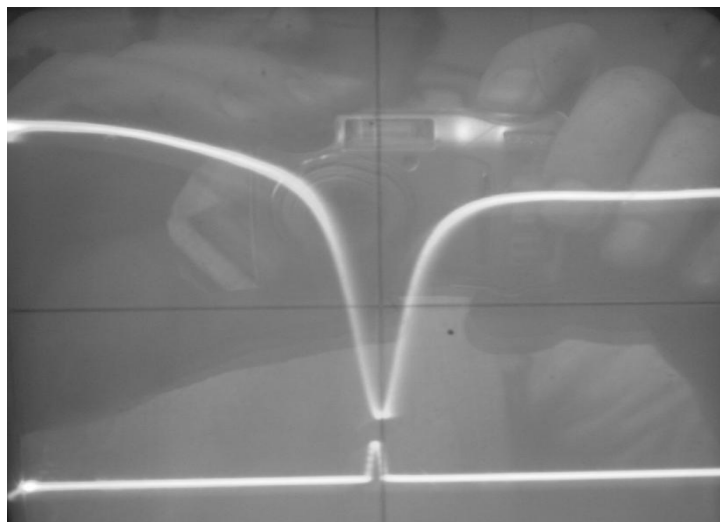


Рисунок 5 – Зависимость ослабления в области аномальной дисперсии

Следует отметить, что собственное ослабление полистирола, толщиной 23 мм на указанных частотах составляло не более 0,5–1 Дб. Известно, что аномальная дисперсия обусловлена явлением резонансного поглощения. Следует предположить, что в слоистой структуре, при определенных соотношения между длиной волны и толщиной структуры, образуется условие, способствующее высокому коэффициенту отражения от внутренних границ структуры, что приводит к поглощению волны непосредственно внутри структуры. Следует ожидать, что данный эффект может быть существенно усилен введением в структуру заведомо поглощающего элемента.

**В.Е. Бурмин, А.Н. Богатенко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.И. Кондратенко**, старший преподаватель

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ**

В настоящее время пристальное внимание к себе привлекает изучение возможности создания искусственных сред (метаструктуры), а так же

экспериментальное моделирование оптических явлений в радиодиапазоне. Предпосылками является возможность создания элементов структур с электрическими размерами, значительно меньшими длины волны излучения и сравнимыми с размерами межатомных расстояний в оптике. В предлагаемой работе приводятся результаты моделирования процесса распространения электромагнитной волны в планарной слоистой структуре с характерным размером  $\sim 0,01\lambda$ . Для изучения распространения волны в данной структуре были рассчитаны коэффициент отражения, коэффициент пропускания и распределение амплитуды поля структуры в зависимости от глубины проникновения электромагнитной волны в слой. На основании рекуррентных формул для отмеченных параметров:

$$\Gamma_{\text{эф}} = -\Gamma + \frac{\Gamma\Theta^2(1-\Gamma^2)e^{i2\phi}}{1-\Gamma^2\Theta^2e^{i2\phi}}, \quad (1)$$

$$\Theta_{\text{эф}} = \frac{\Theta(1-\Gamma^2)e^{i\phi}}{1-\Gamma^2\Theta^2e^{i2\phi}}, \quad (2)$$

нами получены соответствующие зависимости в виде:

$$\dot{\Gamma}_m = \frac{\Gamma(1-\dot{\Theta}^{2m})}{\Gamma^2\dot{\Theta}^{2m}-1}, \quad (3)$$

$$\dot{\Theta}_m = \frac{\dot{\Theta}^m(1-\Gamma^2)}{1-\Gamma^2\dot{\Theta}^{2m}}, \quad (4)$$

где  $\dot{\Gamma}_m(l)$  – комплексный коэффициент отражения,  $\dot{\Theta}_m(l)$  – комплексный коэффициент передачи,  $\dot{\Theta}(l) = \Theta_m e^{i\phi(l)}$ ,  $l = m\Delta l$ ,  $\Delta l$  – толщина слоя,  $\phi(l) = m\Delta\phi$ ,  $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}nl$ ,  $n$  – показатель преломления среды.

На основании полученных соотношений проведен расчет для  $|\Gamma(l)|$  и  $|\Theta(l)|$

$$\Gamma(l) = \Gamma \sqrt{\frac{\Theta^{4l}-2\Theta^{2l}\cos\frac{4\pi}{\lambda}ml+1}{\Gamma^4\Theta^{4l}-2\Gamma^2\Theta^{2l}\cos\frac{4\pi}{\lambda}ml+1}}, \quad (5)$$

$$\Theta(l) = \frac{\Theta^l(1-\Gamma^2)}{-\sqrt{\Gamma^4\Theta^{4l}-2\Gamma^2\Theta^{2l}\cos\frac{4\pi}{\lambda}ml+1}}, \quad (6)$$

где  $\Gamma$  – коэффициент отражения отдельного слоя,  $\Theta = e^{-\alpha}$  – модуль коэффициента передачи отдельного слоя,  $\alpha$  – показатель ослабления отдельного слоя толщиной  $\Delta l$ .

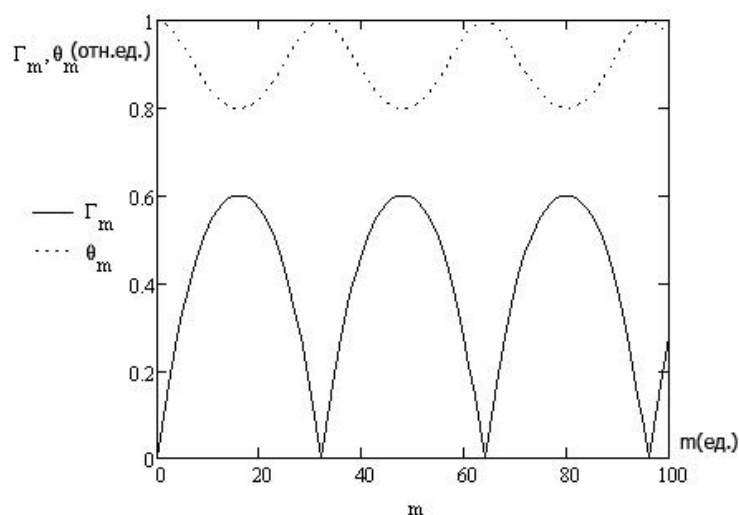


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента отражения и коэффициента передачи для не поглощающей структуры в зависимости от числа дискретов

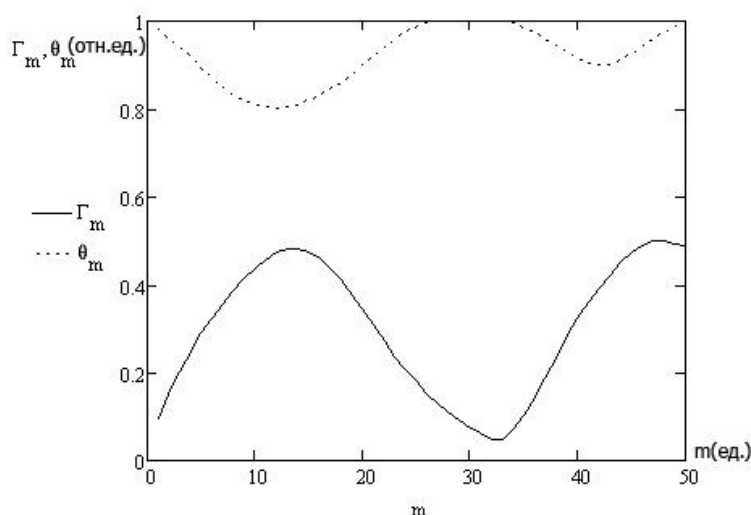


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента отражения и коэффициента передачи для не поглощающей структуры в зависимости от числа дискретов

На рисунке 1 представлены расчетные зависимости коэффициента отражения и коэффициента передачи для непоглощающей структуры в зависимости от числа дискретов ( $\Gamma = \frac{1}{3}$ ,  $\Delta\phi = \frac{\pi}{32}$ ), соответствующие параметрам элементов структуры из полистирола, которые были использованы для экспериментальной проверки полученного результата. На рисунке 3 представлен график зависимости КСВН структуры от числа элементов на частоте 9 ГГц.

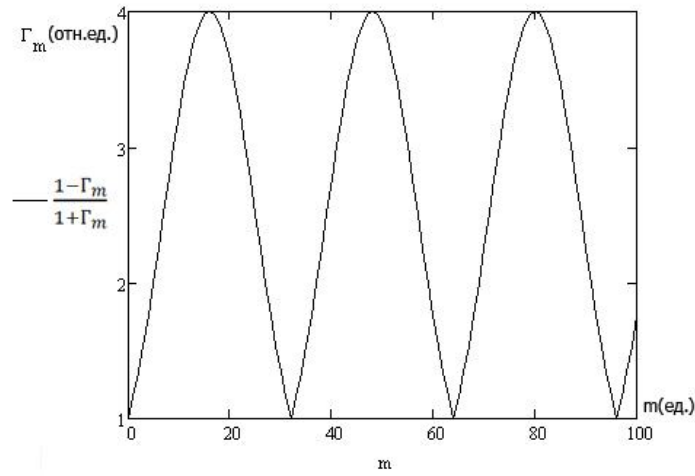


Рисунок 3 – График зависимости КСВН структуры от числа элементов на частоте 9 ГГц

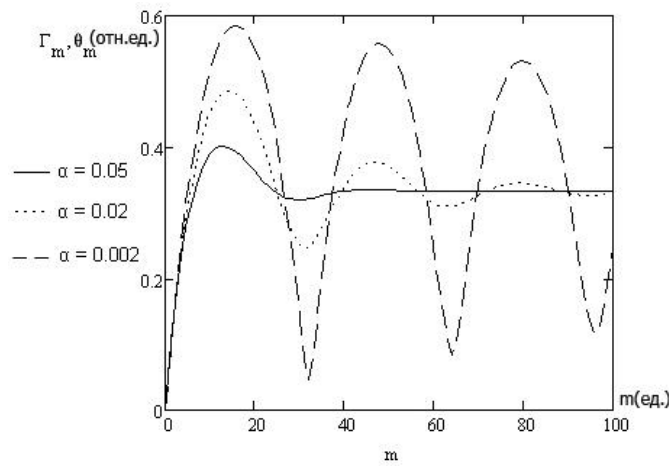


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента отражения от числа элементов структуры для различных показателей ослабления

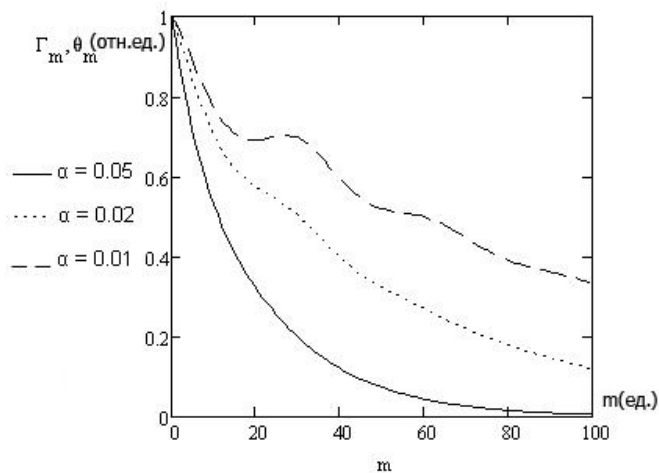


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента передачи от числа элементов структуры для различных показателей ослабления

Т. к. реальные оптические структуры обладают ослаблением, нами были рассчитаны коэффициенты отражения и передачи для различных показателей ослабления (рисунках 4 и 5) соответственно. Следует отметить осциллирующий характер отражения и ослабления на малых толщинах. При увеличении ослабления или уменьшении толщины дискрета осциллирующий характер зависимости ослабления от толщины и вид зависимости соответствует Бугеровскому ослаблению. Описанная слоисто-неоднородная среда соответствует дельтообразной структуре, активными неоднородностями которой являются границы раздела между пластинками, толщина которых пренебрежимо мала по сравнению с толщиной пластины. Подобным же образом может быть описана любая планарная структура кристалла, в котором существуют плоскости спайности. Рассмотренная модель позволяет судить о характере миграции энергии внутри тонких приповерхностных слоев идеального кристалла. Предельный переход при  $n \rightarrow \infty$  приводит нас к полубесконечной среде. Интересной особенностью является практически нулевое значение коэффициента отражения для пластинки толщина которой пренебрежимо мала по сравнению с длиной волны. Получение пленки с нулевой толщиной в оптике представляется задачей практически не выполнимой, т. к. требует соответствующей частоты обработки подстилающей поверхности. Но в радиодиапазоне это задача вполне решаемая. Естественно, под термином «нулевой толщины» понимается элемент структуры с электрической длиной, значительно меньшей длины волны излучения. Применение такого отражающего покрытия выгодно отличается от применения полуволнового элемента, т. к. данный элемент является неселективным. Покрытие будет не отражающим для всех длин волн диапазона, для которого выполняется условие малости электрической длины слоя.

**О.В. Веко (УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», Мозырь)**

**А.И. Шелест (УО «БрГУ им. А.С. Пушкина», Брест)**

Науч. рук. **Е.М. Овсюк, к.ф.-м.н.**

## **ВЕКТОРНАЯ ЧАСТИЦА В ПОТЕНЦИАЛЕ МАГНИТНОГО МОНОПОЛЯ, НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ I**

Используя тетрадный формализм Даффина–Кеммера, рассмотрим задачу о векторной частице в поле дираковского монополя [1]. Исходное уравнение в сферической тетраде имеет следующий вид [2]:

$$\left[ i \beta^0 \partial_t + i \left( \beta^3 \partial_r + \frac{1}{r} (\beta^1 j^{31} + \beta^2 j^{32}) \right) + \frac{1}{r} \Sigma_{\theta, \phi}^k - M \right] \Phi(x) = 0, \quad (1)$$

$$\Sigma_{\theta, \phi}^k = i \beta^1 \partial_\theta + \beta^2 \frac{i \partial_\phi + (i j^{12} - k) \cos \theta}{\sin \theta}.$$

Три компоненты сохраняющегося общего момента [1] задаются в базисе сферической тетрады формулами [2]:

$$J_1^k = l_1 + \frac{\cos \phi}{\sin \theta} (iJ^{12} - \kappa), \quad J_2^k = l_2 + \frac{\sin \phi}{\sin \theta} (iJ^{12} - \kappa), \quad J_3^k = l_3. \quad (2a)$$

Волновая функция с квантовыми числами  $(\varepsilon, j, m)$  строится так [2]:

$$\Phi_{\varepsilon jm}(x) = e^{-i\varepsilon t} [ f_1(r) D_k, f_2(r) D_{k-1}, f_3(r) D_k, f_4(r) D_{k+1}, f_5(r) D_{k-1}, f_6(r) D_k, f_7(r) D_{k+1}, f_8(r) D_{k-1}, f_9(r) D_k, f_{10}(r) D_{k+1} ], \quad (2b)$$

где  $D_{-m, \sigma}^j(\phi, \theta, 0)$  обозначается для краткости символом  $D_\sigma$ ;  $k = eg/\hbar c$  – квантующийся согласно Дираку [1] параметр  $|k| = 1/2, 1, 3/2, 2, \dots$  Квантовому числу  $j$  разрешено принимать значения (далее нужно рассматривать по отдельности случаи  $k = \pm 1/2$  и все остальные  $k$ ).

При нахождении уравнений для  $f_1, \dots, f_{10}$  будем использовать технику  $D$ -функций Вигнера [3]. Система радиальных уравнений примет вид (выделим 4 уравнения, с помощью которых можно исключить не-динамические переменные):

$$\begin{aligned} -\left(\frac{d}{dr} + \frac{2}{r}\right) f_6 - \frac{\sqrt{2}}{r} (c f_5 + d f_7) &= M f_1, & -i\left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r}\right) f_2 - i\frac{\sqrt{2}c}{r} f_3 &= M f_8, \\ i\frac{\sqrt{2}}{r} (c f_2 - d f_4) &= M f_9, & i\left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r}\right) f_4 + \frac{i\sqrt{2}d}{r} f_3 &= M f_{10}; \end{aligned} \quad (3)$$

оставшиеся шесть уравнений умножаем на массовый параметр  $M$ :

$$\begin{aligned} i\varepsilon M f_5 + i\left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r}\right) M f_8 + i\frac{\sqrt{2}c}{r} M f_9 - M^2 f_2 &= 0, \\ i\varepsilon M f_6 + \frac{\sqrt{2}i}{r} (-c M f_8 + d M f_{10}) - M^2 f_3 &= 0, \\ i\varepsilon M f_7 - i\left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r}\right) M f_{10} - i\frac{\sqrt{2}d}{r} M f_9 - M^2 f_4 &= 0, \\ -i\varepsilon M f_2 + \frac{\sqrt{2}c}{r} M f_1 - M^2 f_5 = 0, & -i\varepsilon M f_3 - \frac{d}{dr} M f_1 - M^2 f_6 = 0, \\ -i\varepsilon M f_4 + \frac{\sqrt{2}d}{r} M f_1 - M^2 f_7 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Параметры  $c$  и  $d$  задаются соотношениями:

$$c = 1/2\sqrt{(j+k)(j-k+1)}, \quad d = 1/2\sqrt{(j-k)(j+k+1)}.$$

В системе (4) после исключения нединамические переменных с помощью (3) перейдем к более симметричным обозначениям:

$$(f_2, f_3, f_4) \rightarrow (\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3), \quad (f_5, f_6, f_7) \rightarrow (E_1, E_2, E_3).$$

При осуществлении перехода к нерелятивистскому приближению [4] будем пользоваться методикой, апробированной в [5]. Большие и малые компоненты будут вводиться соотношениями [2], [5]:

$$\Psi_j = \Phi_j + iE_j, \quad \psi_j = \Phi_j - iE_j, \quad (5)$$

одновременно выделяем энергию покоя формальной заменой  $\varepsilon = (M + E)$ ; получаем три радиальных уравнения для трех больших компонент  $\Psi_j$ :

$$\begin{aligned} \left( \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + 2EM \right) \Psi_1 - \frac{2\sqrt{2}c}{r^2} \Psi_2 - \frac{4c^2}{r^2} \Psi_1 &= 0, \\ \left( \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + 2EM \right) \Psi_2 - \frac{2(c^2 + d^2 + 1)}{r^2} \Psi_2 - \frac{2\sqrt{2}c}{r^2} \Psi_1 - \frac{2\sqrt{2}d}{r^2} \Psi_3 &= 0, \\ \left( \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + 2EM \right) \Psi_3 - \frac{2\sqrt{2}d}{r^2} \Psi_2 - \frac{4d^2}{r^2} \Psi_3 &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Рассмотрим специально состояния с  $j = |k| - 1$ . Для простоты ограничимся только  $j = 0$  при  $k = +1$ ; соответствующая волновая функция не будет зависеть от угловых переменных  $\theta, \phi$ :

$$\Phi^{(0)}(t, r) = e^{-i\varepsilon t} (0, f_2, 0, 0, f_5, 0, 0, f_8, 0, 0). \quad (7)$$

Легко проверяется, что угловой оператор  $\Sigma_{\theta, \phi}$  действует на  $\Phi^{(0)}$  как нулевой оператор:  $\Sigma_{\theta, \phi} \Phi^{(0)} = 0$  из-за тождества  $(ij^{12} - k) \Phi^{(0)} \equiv 0$ . В результате получаем только три нетривиальных радиальных уравнения:

$$\begin{aligned} i\varepsilon f_5 + i\left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r}\right)f_8 - Mf_2 &= 0, \quad -i\varepsilon f_2 - Mf_5 = 0, \\ -i\left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r}\right)f_2 - Mf_8 &= 0; \end{aligned} \quad (8)$$

т. е. задача сводится к уравнению для функции  $F_2(r) = r^{-1} f_2(r)$ :

$$\left( \frac{d^2}{dr^2} + \varepsilon^2 - M^2 \right) F_2 = 0.$$

Последнее дает знакомое по электронному случаю [2] решение экспоненциального типа, пригодное для описания «связанных состояний». После выполнения в системе (8) нерелятивистского приближения, приходим к следующему уравнению:

$$\left( \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + 2EM \right) \Psi_1 = 0, \quad \Psi_1 = \frac{e^{\pm\sqrt{-2ME}r}}{r}. \quad (10)$$



Проведено исследование квантово-механической частицы со спином 1 в поле магнитного заряда. В релятивистском уравнении Даффина–Кеммера проведено разделение переменных с использованием техники  $D$ -функций Вигнера, при этом возникают три квантовых числа  $\varepsilon, j, m$ : энергии, квадрата и третьей проекции обобщенного полного момента. Система из 10 радиальных уравнений оказывается сложной и не поддается аналитическому решению. Выполнен переход к нерелятивистскому паулиевскому приближению – задача сводится к системе из трех зацепляющихся дифференциальных уравнений второго порядка для трех радиальных функций. Специально исследован особый случай минимального значения квантового числа  $j$ .

Авторы признательны Е.М. Овсиюк и В.М. Редькову за постановку задачи, поддержку и полезные советы при ее решении.

### Литература

1. Стражев, В.И. Электродинамика с магнитным зарядом / В.И. Стражев, Л.М. Томильчик. – Минск: Наука и техника, 1975. – 336 с.
2. Редьков, В.М. Тетрадный формализм, сферическая симметрия и базис Шредингера / В.М. Редьков. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 339 с.
3. Варшалович, Д.А. Квантовая теория углового момента / Д.А. Варшалович, А.Н. Москалев, В.К. Херсонский. – Л.: Наука, 1975.
4. Богуш, А.А. Нерелятивистский предел в общековариантной теории векторной частицы / А.А. Богуш, В.В. Кисель, Н.Г.Токаревская, В.М. Редьков // Весці НАНБ. Сер. фіз.-мат. навук. – 2002. – № 2. – С. 61–66.
5. Квантовая механика в однородном магнитом поле: новые задачи / Е.М. Овсиюк, В.В. Кисель, Г.Г. Крылов, В.М. Редьков. – Мозырь: УО МГПУ им. И.П. Шамякина, 2011. – 232 с.

**О.В. Веко, К.В. Казмерчук**  
 (УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», Мозырь)  
 Науч. рук. Е.М. Овсиюк, к.ф.-м.н.

## ВЕКТОРНАЯ ЧАСТИЦА В ПОТЕНЦИАЛЕ МАГНИТНОГО МОНОПОЛЯ, НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ II

С использованием специального обозначения для дифференциально-го оператора

$$\frac{1}{2}r^2 \left( \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + 2EM \right) = \bar{\Delta} \quad (1)$$

систему радиальных уравнений Паули для частицы со спином 1 в поле магнитного монополя можно представить в краткой форме:

$$\bar{\Delta} \Psi = A \Psi, \quad A = \begin{vmatrix} 2c^2 & \sqrt{2}c & 0 \\ \sqrt{2}c & (c^2 + d^2 + 1) & \sqrt{2}d \\ 0 & \sqrt{2}d & 2d^2 \end{vmatrix}, \quad \Psi = \begin{vmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где  $c = 1/2\sqrt{(j+k)(j-k+1)}$ ,  $d = 1/2\sqrt{(j-k)(j+k+1)}$ .

Найдем линейное преобразование  $\Psi = S\Psi'$ , диагонализующее правую часть системы (2). Уравнение для определения матрицы  $S$  и диагональных значений  $A_1, A_2, A_3$  имеет вид:

$$\begin{vmatrix} 2c^2 & \sqrt{2}c & 0 \\ \sqrt{2}c & (c^2 + d^2 + 1) & \sqrt{2}d \\ 0 & \sqrt{2}d & 2d^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & 0 \\ 0 & 0 & A_3 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Оно содержит три однородных системы уравнений одной и той же структуры:

$$\begin{vmatrix} (2c^2 - A_1) & \sqrt{2}c & 0 \\ \sqrt{2}c & (c^2 + d^2 + 1 - A_1) & \sqrt{2}d \\ 0 & \sqrt{2}d & (2d^2 - A_1) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ s_{31} \end{vmatrix} = 0, \\ \begin{vmatrix} (2c^2 - A_2) & \sqrt{2}c & 0 \\ \sqrt{2}c & (c^2 + d^2 + 1 - A_2) & \sqrt{2}d \\ 0 & \sqrt{2}d & (2d^2 - A_2) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} s_{12} \\ s_{22} \\ s_{32} \end{vmatrix} = 0, \\ \begin{vmatrix} (2c^2 - A_3) & \sqrt{2}c & 0 \\ \sqrt{2}c & (c^2 + d^2 + 1 - A_3) & \sqrt{2}d \\ 0 & \sqrt{2}d & (2d^2 - A_3) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} s_{13} \\ s_{23} \\ s_{33} \end{vmatrix} = 0. \quad (4)$$

Приравнявая к нулю определитель системы, кубическое уравнение представим в виде:

$$A^3 + rA^2 + sA + t = 0, \quad r = -(3M + 1), \quad s = (N + 2M^2), \quad t = -(M - 1)N, \\ c^2 + d^2 = \frac{j(j+1) - k^2}{2} = M > 0, \\ 4c^2d^2 = \frac{j^2 - k^2}{2} \frac{(j+1)^2 - k^2}{2} = N \geq 0. \quad (5)$$

Делаем замену переменных

$$B = A + \frac{r}{3}, \quad A = B + (M + \frac{1}{3}); \quad (6a)$$

получаем кубическое уравнение в приведенной форме:

$$B^3 + pB + q = 0, \quad (6b)$$

$$p = \frac{3s - r^2}{3} = -\left((c^2 - d^2)^2 + 2(c^2 + d^2) + \frac{1}{3}\right) < 0;$$

$$q = \frac{2r^3}{27} - \frac{rs}{3} + t = -\left(\frac{4}{3}(c^2 - d^2)^2 + \frac{2}{3}(c^2 + d^2) + \frac{2}{27}\right) < 0. \quad (6c)$$

Выражения для  $p$ ,  $q$  можно преобразовать в следующие:

$$p = -\left(j(j+1) - \frac{3}{4}k^2 + \frac{1}{3}\right) < 0, \quad q = -\left(\frac{1}{3}j(j+1) + \frac{2}{27}\right) < 0. \quad (6e)$$

Число действительных решений зависит от знака дискриминанта  $D$ :

$$D = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2. \quad (7)$$

Численными расчетами убеждаемся, что три корня исходного уравнения (5) вещественны и положительны; следовательно,  $D < 0$ ; приведенное кубическое уравнение имеет три вещественных корня:

$$\begin{aligned} B_1 &= 2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \frac{\phi}{3}, & B_2 &= 2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos\left(\frac{\phi}{3} + \frac{2\pi}{3}\right), \\ B_3 &= 2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos\left(\frac{\phi}{3} - \frac{2\pi}{3}\right), & \rho &= \sqrt{-\frac{p^3}{27}}, \quad \cos \phi = -\frac{q}{2\rho}. \end{aligned} \quad (8)$$

Корни  $A_j$  исходного уравнения вычисляются по формулам (6a).

Обратимся к уравнениям (2). Выделим три линейно независимых класса решений для частицы со спином 1. Матрица  $S_{ij}$ , отвечающая собственным значениям  $A_j$ , задается 9 соотношениями (помним, что в каждой тройке уравнений независимыми являются только два). В каждой тройке отбросим среднее уравнение, и положим  $s_{11} = 1$ ,  $s_{22} = 1$ ,  $s_{33} = 1$ ; в результате получим

$$\begin{aligned} s_{21} &= -\frac{(2c^2 - A_1)}{\sqrt{2}c}, & s_{31} &= \frac{d}{(2d^2 - A_1)} \frac{(2c^2 - A_1)}{c}, \\ s_{12} &= -\frac{\sqrt{2}c}{(2c^2 - A_2)}, & s_{32} &= -\frac{\sqrt{2}d}{(2d^2 - A_2)}, \\ s_{23} &= -\frac{(2d^2 - A_3)}{\sqrt{2}d}, & s_{13} &= \frac{c}{(2c^2 - A_3)} \frac{(2d^2 - A_3)}{d}. \end{aligned} \quad (9a)$$

Определяемое соотношениями (9a) преобразование  $S_{ij}$  приводит

систему дифференциальных уравнений к расщепленному виду:

$$\bar{\Delta} \begin{pmatrix} \Psi'_1 \\ \Psi'_2 \\ \Psi'_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & 0 \\ 0 & 0 & A_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi'_1 \\ \Psi'_2 \\ \Psi'_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & 1 & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi'_1 \\ \Psi'_2 \\ \Psi'_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{pmatrix}. \quad (9b)$$

Таким образом, задача сведена дифференциальному уравнению:

$$\left( \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} + 2EM - \frac{L(L+1)}{r^2} \right) f(r) = 0, \quad (10a)$$

$$L(L+1) = 2A = \{2A_1, 2A_2, 2A_3\}, \quad L = -\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} + 2A}. \quad (10b)$$

Обращаем внимание, что именно положительность корней  $A = A_1, A_2, A_3$  обеспечивает существование положительного параметра  $L$  (отвечающего верхнему знаку в (10b)).

Таким образом, система зацепляющихся радиальных уравнений Паули, описывающих частицу со спином 1 в поле магнитного заряда, разделяется, и задача сводится к исследованию трех уравнений одинаковой структуры, каждое из которых содержит в качестве параметра свой корень  $A_k$  ( $k = 1, 2, 3$ ) кубического уравнения, возникающего при решении задачи приведения смешивающей матрицы в системе уравнений к диагональному виду.

Авторы признательны Е.М. Овсюк и В.М. Редькову за постановку задачи, поддержку и полезные советы при ее решении.

**В.Ю. Гавриш (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.В. Андреев**, к.ф.-м.н., доцент

## **ВЫЧИСЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ РАСПАДА ПСЕВДОСКАЛЯРНОГО МЕЗОНА В ЛЕПТОННУЮ ПАРУ**

### **Введение**

Одним из важнейших успехов Стандартной Модели (СМ) было предсказание о взаимодействиях кварков, информацию о которых получают из экспериментальных данных. Вычисление ширин распадов адронов и сравнение результата с экспериментальными данными дает возможность получить численные значения параметров кварков, таких как элементы матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава, углов смешивания и др.

Вычисление лептонных распадов мезонов с учетом их кварковой структуры осуществлялись в различных подходах. Цель данной статьи – продемонстрировать, как в рамках релятивистской гамильтоновой

динамики (РГД) в схеме "спиральность" [1,2] рассчитать константу лептонного распада псевдоскалярного мезона как составную систему кварк-антикварк.

**Матричный элемент распада**  $P(Q\bar{q}) \rightarrow l + \bar{\nu}_l$

Реакция распада мезона  $h$

$$h \rightarrow l + \bar{\nu}_l \quad (1)$$

характеризуется матричным элементом

$$M(h \rightarrow l + \bar{\nu}_l) = \langle l \bar{\nu}_l | S - I | \Psi_{\bar{Q}, M, J\mu} \rangle_{in}. \quad (2)$$

Здесь вектор

$$| \Psi_{\bar{Q}, M, J\mu} \rangle \quad (3)$$

определяет состояние мезона спина  $J$ , массы  $M$  и импульса  $\vec{Q}$ .

Будем рассматривать псевдоскалярный ( $J = l = S = 0$ ) мезон  $h$  как релятивистскую составную систему кварк-антикварк в рамках РГД [3]: в таком подходе процесс распада (1) обусловлен взаимодействием кварков, входящий в мезон  $h$ . В борновском приближении subprocess с участием кварков определяется диаграммой с обменом заряженным  $W$ -бозоном. Матричный элемент, соответствующий данному subprocess, можно записать в виде:

$$M(Q\bar{q} \rightarrow l\bar{\nu}_l) = \sqrt{2}G_F V_{Q\bar{q}} \frac{M_W^2}{M_W^2 - M_\pi^2} \langle l\bar{\nu}_l | L_\mu | 0 \rangle \langle 0 | J^\mu | \Psi_{\bar{Q}, M, J\mu} \rangle, \quad (4)$$

где  $\langle l\bar{\nu}_l | L_\mu | 0 \rangle$  – лептонный ток, а  $\langle 0 | J^\mu | \Psi_{\bar{Q}, M, J\mu} \rangle$  – кварковый ток, который связан с константой распада покоящегося ( $\vec{Q} = 0$ ) мезона следующим выражением:

$$\langle 0 | J^\mu | \Psi_{\bar{Q}, M, J\mu} \rangle = \frac{i}{(2\pi)^{3/2}} \frac{f_p}{\sqrt{2\omega_{M_0}}}. \quad (5)$$

### Вычисление константы распада псевдоскалярного мезона в схеме «спиральность»

В схеме спиральность вектор состояния псевдоскалярного мезона ( $\vec{Q} = 0$ ) имеет вид [4]:

$$| \Psi_{\bar{Q}, M, J\mu} \rangle = \sum_{a=1}^{N_c} \sqrt{\frac{1}{8\pi}} N_c \int_0^\infty dk k^2 \Phi_h(k) \int d^2\vec{k} | \vec{k}, \tilde{\lambda}_1; -\vec{k}, \tilde{\lambda}_2 \rangle, \quad (6)$$

где  $\vec{k}$  – относительный импульс кварков. В борновском приближении ток перехода  $J^\mu$  в выражении (4) записывается в виде

$$J^\mu = \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{\omega_{m_q}(\vec{k}) \omega_{m_Q}(\vec{k})}} \sum_{\lambda=\pm} \lambda \bar{\nu}_\lambda(-\vec{k}, m_q) \gamma^\mu \omega_{u_\lambda}(\vec{k}, m_Q), \quad (7)$$

поэтому задача о вычислении константы лептонного распада  $f_p$  сводится к вычислению выражения

$$\int d^2\vec{k} \frac{\sum_{\lambda=\pm} \lambda \bar{v}_{\lambda}(-\vec{k}, m_{\bar{q}}) \gamma^{\mu} \omega_{-u_{\lambda}}(\vec{k}, m_Q)}{(2\pi)^3 \sqrt{\omega_{m_{\bar{q}}}(\vec{k}) \omega_{m_Q}(\vec{k})}}. \quad (8)$$

Спинорная часть (8) может быть рассчитана методом базисных спиноров (МБС) [3]:

$$\int d^2\vec{k} \sum_{\lambda=\pm} \lambda \bar{v}_{\lambda}(-\vec{k}, m_{\bar{q}}) \gamma^{\mu} \omega_{-u_{\lambda}}(\vec{k}, m_Q) = \int d^2\vec{k} \sum_{\lambda=\pm} \lambda \sum_{\sigma, \rho=-1}^1 \sum_{A, C=-1}^1 \bar{s}_{\sigma, \lambda}^{(C, -1)}(-\vec{k}, m_{\bar{q}}) \delta_{1, \rho} \times \quad (9)$$

$$\times (\delta_{\sigma, -\rho} \delta_{C, -A} \tilde{b}_{-A}^{\mu} + A \delta_{\sigma, -\rho} \delta_{C, A} \tilde{n}_{-A, \rho}^{\mu}) s_{\rho, \lambda}^{(A, 1)}(\vec{k}, m_Q)$$

или используя явный вид коэффициентов разложения спиноров Дирака [3] окончательно получаем:

$$\int d^2\vec{k} \sum_{\lambda=\pm} \lambda \bar{v}_{\lambda}(-\vec{k}, m_{\bar{q}}) \gamma^{\mu} \omega_{-u_{\lambda}}(\vec{k}, m_Q) = 4\pi (W_{m_{\bar{q}}}(\vec{k}) W_{m_Q}(-\vec{k}) + W_{m_{\bar{q}}}(-\vec{k}) W_{m_Q}(\vec{k})) \quad (10)$$

где

$$W_m(\pm\vec{p}) = \sqrt{\omega_m(\vec{p}) \pm \vec{p}}. \quad (11)$$

Подставляя (6), (10) в (5) и выполняя преобразования, окончательно получаем

$$f_p = \sum_{a=1}^{N_C} N_C \frac{1}{\pi \sqrt{2}} \int_0^{\infty} dk k^2 \Phi_h(k) \frac{(W_{m_{\bar{q}}}(\vec{k}) W_{m_Q}(-\vec{k}) + W_{m_{\bar{q}}}(-\vec{k}) W_{m_Q}(\vec{k}))}{\sqrt{\omega_{m_{\bar{q}}}(\vec{k}) \omega_{m_Q}(\vec{k})} \sqrt{\omega_{m_{\bar{q}}}(\vec{k}) + \omega_{m_Q}(\vec{k})}} \quad (12)$$

при учёте того, что

$$M_0 = \omega_{m_{\bar{q}}}(\vec{k}) + \omega_{m_Q}(\vec{k}). \quad (13)$$

Отметим, что в случае одинаковых масс кварка и антикварка ( $m_Q = m_{\bar{q}} = m$ ) выражение (12) примет вид:

$$f_p = \sum_{a=1}^{N_C} N_C \frac{m}{\pi} \int_0^{\infty} dk k^2 \frac{\Phi_h(k)}{(k^2 + m^2)^{3/4}}. \quad (14)$$

## Заключение

В работе представлен метод получения интегрального выражения для константы распада пиона в рамках РГД в схеме "спиральность". Следует отметить, что полученный результат совпадает с полученными результатами в работе [3], что подтверждает правильность расчета данным методом.

## Литература

1. Dirac, P.A.M. Forms of relativistic dynamics / P.A.M. Dirac // Rev. of Modern Phys. – 1949. – V. 21. – P. 392–399.
2. Крутов, А.Ф. Мгновенная форма пуанкаре-инвариантной квантовой механики и описание структуры составных систем / А.Ф. Крутов, В.Е. Троицкий // ЭЧАЯ. – 2009. Т.40, № 2. – С. 268–318.
3. В.В. Андреев Пуанкаре – ковариантные модели двухчастичных систем с квантовополевыми потенциалами: монография / В.В. Андреев;

М-во образования РБ, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2008. – 294 с.

4. В.В. Андреев, В.Ю. Гавриш Матричный элемент распада мезона в лептонную пару / В.В. Андреев, В.Ю. Гавриш // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – 171 с.

**Н.И. Глушкова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, к.ф.-м.н., доцент

## **ОБ ЭНТРОПИИ КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Исследование критического состояния неидеального газа по-прежнему остается важнейшей задачей теории макросистем. В термодинамике [1] в рамках феноменологического метода для его описания традиционно используют критическое давление, критический объем и критическую температуру. Хотя совершенно очевидно, что и другие функции состояния преобретают критические значения. Важнейшей из таких функций состояния является энтропия, определяемая в термодинамике неоднозначно. В данной статье рассматривается метод получения критической энтропии неидеального газа для ряда полуэмпирических уравнений состояния, использующий статистический результат для энтропии идеального газа.

Рассмотрим выражение для свободной энергии  $F$  неидеального газа, используемое в статистической физике [2]

$$F = F_{ид} + \frac{N^2 BT}{V} = F_{ид} + \frac{N^2 T \beta}{V} - \frac{N^2 \alpha}{V},$$

здесь  $B = \beta - \alpha/T$  – вириальный коэффициент,  $N$  – число частиц,  $V$  – объем,  $T$  – энергетическая температура системы.

Тогда выражение для безразмерной энтропии примет вид

$$S = -\frac{\partial F}{\partial T} = S_{ид} + \frac{N^2 \beta}{V}, \quad (1)$$

где слагаемое  $S_{ид}$ , соответствующее идеальному газу, определяется как

$$S_{ид} = N \ln \frac{V}{N} + \frac{3}{2} N \ln T + \frac{3}{2} N \ln \frac{m}{2\pi\hbar^2} + \frac{5}{2} N. \quad (2)$$

Используя выражения (1) и (2), находим что

$$S = N \ln \frac{V}{N} + \frac{3}{2} N \ln T + \frac{3}{2} N \ln \frac{m}{2\pi\hbar^2} + \frac{5}{2} N + \frac{N^2 \beta}{V} = S(V, T, N; \beta).$$

Переход от статистических представлений энтропии и температуры к термодинамическим реализуется заменами

$$S \rightarrow \frac{S}{k}, \quad T \rightarrow kT, \quad (3)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана.

В критическом молярном состоянии (все полуэмпирические уравнения состояния формулируются в молярной форме)

$$S_k = S(V_k, T_k, N_A; \beta) = k \left( N_A \ln \frac{V_k}{N_A} + \frac{3}{2} N_A \ln \left( \frac{RT_k}{\pi m} \right) + \frac{3}{2} N_A \ln \frac{m}{2\pi \hbar^2} + \frac{5}{2} N_A + \frac{N_A^2 \beta}{V_k} \right), \quad (4)$$

Так как  $kN_A = R$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная, выражение (4) можно переписать в форме

$$S_k = R \left( \ln \frac{V_k}{N_A} + \frac{3}{2} \ln \left( \frac{RT_k}{\pi m} \right) + \frac{3}{2} \ln \frac{m}{2\pi \hbar^2} + \frac{5}{2} + \frac{N_A \beta}{V_k} \right). \quad (5)$$

Фигурирующий в (5) параметр  $\beta$ , являющийся постоянной составляющей вириального коэффициента, характеризующей силы межмолекулярного отталкивания, имеет в приближении парных столкновений вид [1, 2]

$$\beta = 4v_0 = 4 \cdot \frac{4}{3} \pi r_0^3 = \frac{b}{N_A},$$

где  $r_0$  – радиус частицы газа в приближении жестких сфер, поэтому он определяется только видом газа и применим для любого уравнения состояния, а  $b$  – параметр уравнений состояния.

Получим значения критических энтропий, используя выражение (5):

1) уравнение Ван-дер-Ваальса [1]:

$$\left( P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT, \quad V_k = 3b, \quad T_k = \frac{8a}{27Rb} \Rightarrow S_k = R \ln \left( \frac{3b}{N_A} + \frac{3}{2} \ln \frac{8ak}{27Rb} + \frac{3}{2} \ln \frac{m}{2\pi \hbar^2} + \frac{17}{6} \right); \quad (6)$$

2) уравнение Берглю [1]:

$$\left( P + \frac{a}{TV^2} \right) (V - b) = RT, \quad V_k = 3b, \quad T_k = \left( \frac{8a}{27Rb} \right)^{1/2} \Rightarrow S_k = R \left( \ln \frac{3b}{N_A} + \frac{3}{4} \ln \frac{8ak^2}{27Rb} + \frac{3}{2} \ln \frac{m}{2\pi \hbar^2} + \frac{17}{6} \right); \quad (7)$$

3) первое уравнение Дитеричи [1]:

$$P (V - b) = RT e^{-\frac{a}{RTV}}, \quad V_k = 2b, \quad T_k = \frac{a}{4Rb} \Rightarrow$$



$$S_k = R \left( \ln \frac{2b}{N_A} + \frac{3}{2} \ln \frac{ak}{4Rb} + \frac{3}{2} \ln \frac{m}{2\pi\hbar^2} + 3 \right); \quad (8)$$

4) второе уравнение Дитеричи [1]:

$$\left( P + \frac{a}{V^{5/3}} \right) (V - b) = RT, \quad V_k = 4b, \quad T_k = \frac{15}{2^{16/3}} \frac{a}{Rb^{2/3}} \Rightarrow$$

$$S_k = R \left( \ln \frac{4b}{N_A} + \frac{3}{2} \ln \frac{15ak}{2^{16/3} Rb^{2/3}} + \frac{3}{2} \ln \frac{m}{2\pi\hbar^2} + \frac{11}{4} \right); \quad (9)$$

5) уравнение Редлиха-Квонга [3]:

$$\left( P + \frac{a}{\sqrt{TV}(V+b)} \right) (V - b) = RT, \quad V_k = \frac{b}{\xi}, \quad T_k = \left( \frac{3a\xi^2}{bR} \right)^{2/3} \Rightarrow$$

$$S_k = R \left( \ln \frac{b}{\xi N_A} + \ln \frac{3a\xi^2 k^{3/2}}{Rb} + \frac{3}{2} \ln \frac{m}{2\pi\hbar^2} + \frac{5}{2} + \xi \right). \quad (10)$$

где  $\xi = \sqrt[3]{2} - 1 \approx 0,26$ .

Полученные выражения (6)–(10) задают точные значения критической энтропии неидеальных газов, подчиняющихся соответствующим уравнениям состояния. Переход же к конкретному реальному газу осуществляется далее выбором значений констант  $a$  и  $b$ .

### Литература

1. Румер, Ю.Б., Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. – М.: Наука. – 1977. – 552.
2. Коткин, Г.Л. Лекции по статистической физике / Г.Л. Коткин. – Новосибирск: Новосибирский университет. – 2006. – 172 с.
3. Дей, Е.А. Расчет параметров изоэнтальпического охлаждения газов Редлиха-Квонга / Е.А. Дей, О.В. Новикова, Г.Ю. Тюменков // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2012. – № 6 (75). – С. 37–42.

**М.С. Данильченко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.Н. Капшай**, к.ф.-м.н., доцент

### РЕЗОНАНСНЫЕ СОСТОЯНИЯ И ЭНЕРГИИ НЕРЕЛЯТИВИСТСКИХ ДВУХЧАСТИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ С НЕНУЛЕВЫМ ОРБИТАЛЬНЫМ МОМЕНТОМ

Одно из самых важных уравнений нерелятивистской квантовой механики было сформулировано Шредингером и, в случае сферически

симметричного потенциала  $V(r)$  для парциальных волн, может быть записано в следующем виде:

$$\left[ -\frac{d^2}{dr^2} + \frac{l(l+1)}{r^2} + 2\mu V(r) \right] \psi_l(r) = k^2 \psi_l(r), \quad (1)$$

где  $k = \sqrt{2\mu E}$ ,  $l$  – орбитальное квантовое число,  $\mu$  – приведенная масса системы.

Резонансные состояния и волновые функции могут быть найдены посредством решения уравнения (1) с учетом граничных условий «ноль» в начале координат и «расходящаяся волна» на бесконечности:

$$\begin{cases} \psi_l(0) = 0; \\ \psi_l(r) \Big|_{r \rightarrow \infty} \cong e^{+ikr}. \end{cases}$$

Непосредственное решение такой задачи сопряжено с громоздкими вычислениями и большими временными затратами, так как резонансные энергии являются комплексными (располагаются в четвертом квадранте комплексной плоскости энергий). Применение метода комплексного поворота или метода комплекс-скейлинга [1] не только в значительной мере упрощает процесс отыскания резонансных состояний и энергий, но и позволяет автоматизировать его.

На рисунке 1 представлен спектр резонансных энергий и волновых функций уравнения (1) в случае  $l=1$  и потенциала  $V = 15r^2 \exp(-r)$ . На рисунке 1б приведены квадраты модулей волновых функций, соответствующие первым трем резонансным энергиям, отмеченным на рисунке 1а.

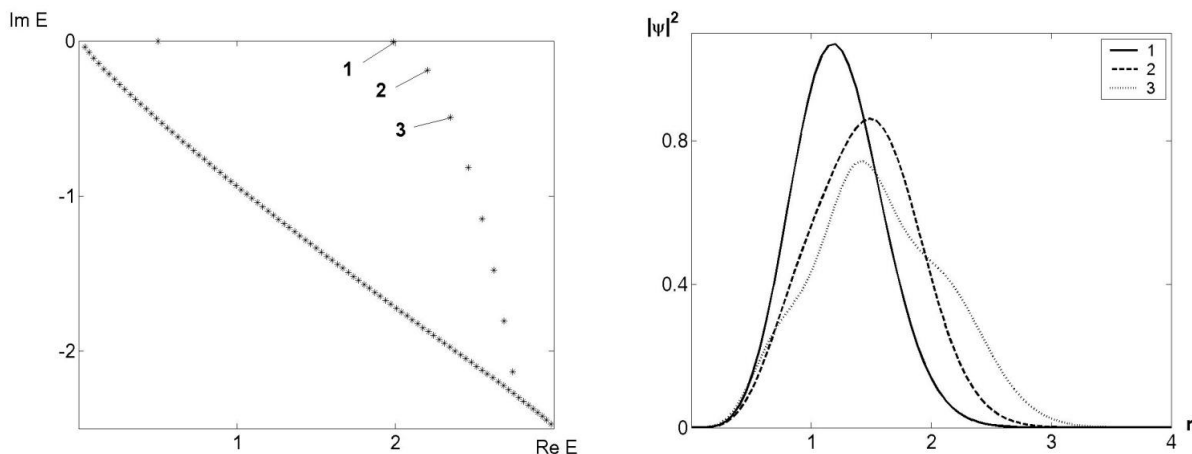


Рисунок 1 – Резонансные состояния и волновые функции уравнения (1) при  $l=1$

### Литература

1. Rescigno, T.N. Numerical grid methods for quantum-mechanical scattering problems / T.N. Rescigno, C.W. McCurdy // Phys. Rev. A – 2000. – Vol. 62, № 3. – P. 8–16.

Т.А. Державская (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)  
 Науч. рук. Н.В. Максименко, д.ф.-м.н., профессор

## РОЖДЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ И СКАЛЯРНЫХ ЧАСТИЦ В ПРОТОН-АНТИПРОТОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Одной из задач планируемого эксперимента на установке Panda (FAIR, Дармштадт, Германия) [1] будет измерение электромагнитного формфактора (ФФ) протона во времениподобной области переданных импульсов  $q^2 > 0$ , а также первое в мире измерение ФФ ниже порога рождения протон-антипротонной пары ( $0 < q^2 < 4M_p^2$ ). Принципиальная возможность такого измерения была заявлена в работе М.П. Рекало [2]. Цель нашей работы состоит в развитии модели процесса  $p + \bar{p} \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$  и изучении на ее основе возможности измерения подпорогового ФФ на установке Panda. С целью отладки модели мы рассматриваем бинарные процессы протон-антипротонной аннигиляции в двухчастичные конечные состояния с образованием фотонов, псевдоскалярных и векторных мезонов. В частности в этой работе мы рассматриваем процесс  $p + \bar{p} \rightarrow \pi^0 + \gamma$  в кинематическом приближении (амплитуда процесса  $M_{fi}$  считается постоянной величиной).

Вычислим дифференциальное сечение для этого процесса в системе центра масс (СЦМ) начальных частиц следуя стандартной технике вычислений [3]. Обозначим импульсы начальных частиц  $\vec{p}_1, \vec{p}_2$  и импульсы конечных частиц  $\vec{p}_3, \vec{p}_4$ . Тогда сечение столкновения двух частиц с импульсами  $\vec{p}_1, \vec{p}_2$  и рождения импульсами  $\vec{p}_3, \vec{p}_4$  имеет вид:

$$d\sigma = \frac{1}{4I} \frac{d\vec{p}_3}{2\varepsilon_3} \frac{d\vec{p}_4}{2\varepsilon_4} \delta(p_1 + p_2 - p_3 - p_4) |M_{fi}|^2, \quad (1)$$

где  $I = \sqrt{(p_1 p_2)^2 - m_1^2 m_2^2}$  есть инвариантный поток начальных частиц, а  $\varepsilon_{3,4}$  – энергии конечных частиц. Выполняя интегрирование в (1) по импульсу  $\vec{p}_4$  с помощью условия массовой поверхности для конечных частиц:

$$\int \frac{d\vec{p}}{\varepsilon} = \int d^4 p \delta(p^2 - M^2) \Theta(\varepsilon),$$

получаем

$$d\sigma = \frac{1}{4I} \int \frac{d\vec{p}_3}{2\varepsilon_3} \delta(p_4^2 - m_4^2) |M_{fi}|^2, \quad (2)$$

где  $p_4 = p_1 + p_2 - p_3$ . Используя оставшуюся в (2) дельта-функцию мы можем снять еще одно интегрирование. Перейдем к интегрированию по энергии  $d\varepsilon_3$  используя соотношение

$$d\varepsilon_3 = d(\sqrt{\vec{p}_3^2 + m_3^2}) = \frac{1}{2\sqrt{\vec{p}_3^2 + m_3^2}} 2|\vec{p}_3| d|\vec{p}_3| = \frac{|\vec{p}_3|}{\varepsilon_3} d|\vec{p}_3|,$$

и поскольку:

$p_4^2 - m_4^2 = (p_1 + p_2 - p_3)^2 - m_4^2 = (p_1 + p_2)^2 - 2(p_1 + p_2)p_3 + p_3^2 - m_4^2 = s - 2\sqrt{s}\varepsilon_3 + m_3^2 - m_4^2$ ,  
 где  $s = (p_1 + p_2)^2$  – полная энергия системы, получаем из (2) следующее выражение для сечения в СЦМ:

$$d\sigma = \frac{1}{16\pi^2 I} \int \frac{1}{2} |\vec{p}_3^*| d\varepsilon_3 d\Omega \delta(s - 2\sqrt{s}\varepsilon_3 + m_3^2 - m_4^2) |M_{fi}|^2.$$

В этом выражении легко провести интегрирование по энергии  $d\varepsilon_3$  и получить выражение для сечения:

$$d\sigma = \frac{1}{64\pi^2 s} \frac{\vec{p}'^*}{p^*} |M_{fi}|^2 d\Omega_{\vec{p}'^*}. \quad (3)$$

Здесь мы обозначаем звездочкой величины, которые определены в системе центра масс:

$$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2 = \vec{p}^*, \quad \vec{p}_3 = -\vec{p}_4 = \vec{p}'^*.$$

Угловая зависимость сечения, отвечающая формуле (3) в предположении постоянной амплитуды  $|M_{fi}|^2 = 1$ , показана на рисунке 1. На рисунке 2 показаны экспериментальные данные для этого же распределения, измеренные при энергии  $\sqrt{s} = 3.621 - 3.686$  GeV в Fermilab [4].

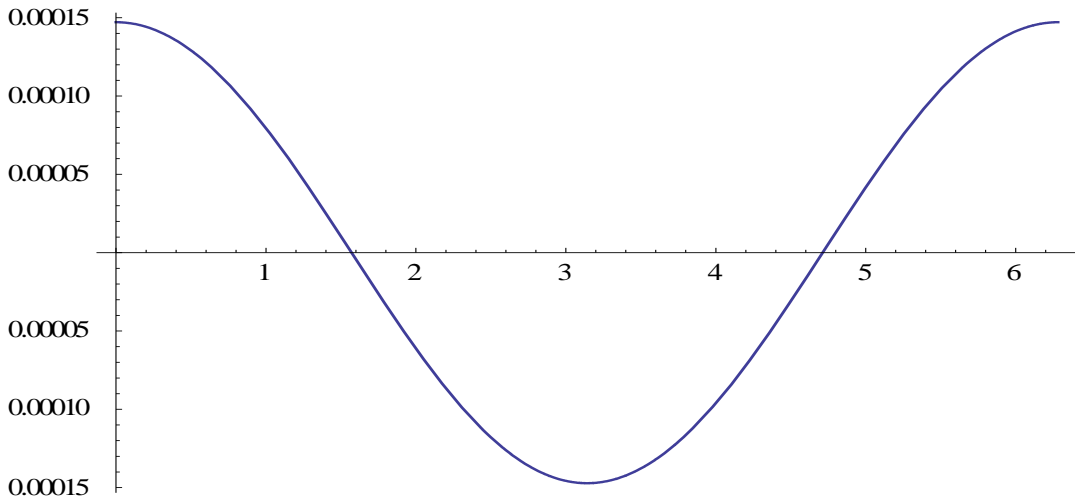


Рисунок 1 – Угловое распределение, полученное по формуле (3)

Заметим, что экспериментальные данные (см. рисунок 2) демонстрируют зависимость от косинуса угла рассеяния. В частности наблюдаются характерные пики рассеяния вперед и назад. В кинематической модели использованной здесь эти пики не воспроизводятся. Дальнейшее развитие модели будет связано с учетом динамики процесса в матричном элементе  $M_{fi}$ , учетом эффектов немассовости промежуточных частиц и рассмотрение других возможных двухчастичных каналов в рамках единого подхода.

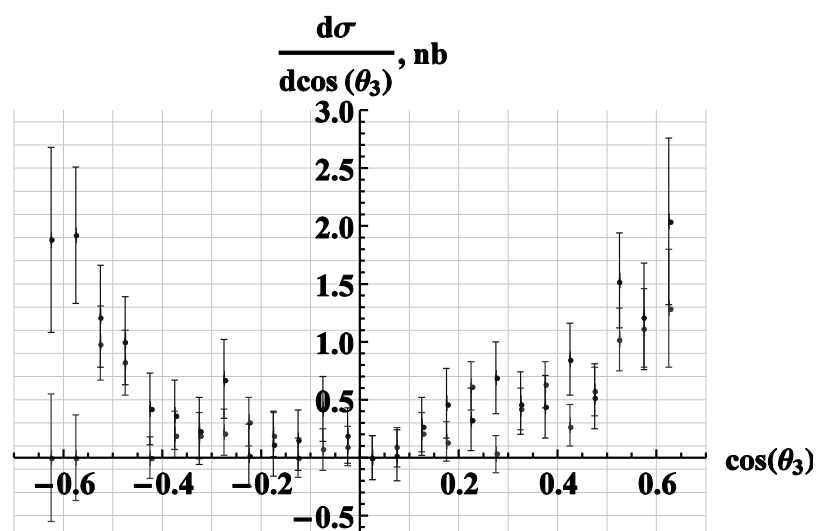


Рисунок 2 – Данные Fermilab по угловому распределению для процесса  $p + \bar{p} \rightarrow \pi^0 + \gamma$

### Литература

1. The PANDA, M.F.M. Lutz, B. Pire, O. Scholten, and R. Timmermans, «Physics Performance Report for PANDA: Strong Interaction Studies with Antiprotons», (GSI, 2009), arXiv:0903.3905.
2. М.Р. Рекало, Sov. J. Nucl. Phys. 1, 760 (1965).
3. Биленький С.М. // Введение в диаграммную технику Фейнмана // Москва. Автомиздат, 1971. – 213 с.
4. Т.А. Armstrong et al. [Fermilab E760 Coll.], Phys. Rev. D 56, 2509 (1997).

**А.В. Желдак (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**  
 Науч. рук. **И.А. Концевой**, ст. преподаватель

### **АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕПЛОвого ПОЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА**

В работе изучены амплитудные, частотные и гистерезисные свойства тепловых колебаний, возбуждаемых поверхностным импульсно-периодическим источником энергии в высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) керамике  $Y_{0,8} - Sm_{0,2} - Ba_2 - Cu_3 - O_{7-x}$ . Эта керамика обладает большим ( $\sim 500$ с) временем релаксации теплового потока, а удельная теплоемкость  $c_p$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda$  существенным образом зависят от температуры. Релаксационная модель

Максвелла переноса тепла в неподвижной среде состоит из уравнения для теплового потока и уравнения баланса энергии [1]:

$$\frac{q}{\gamma} + \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$u = \int_0^T c(T) dT, \quad V = \int_0^T \frac{\lambda(T)}{\gamma(T)} dT = \int_0^u w^2(u) du; \quad w^2 = \frac{\lambda}{c\gamma},$$

где  $x$  – декартова координата;  $t$  – время;  $T$  – температура;  $c = \rho c_p$  – объемная теплоемкость;  $\rho$  – плотность;  $\gamma$  – время релаксации теплового потока;  $q$  – удельный тепловой поток;  $w$  – скорость распространения тепловых возмущений. Искомые функции:  $T(x, t)$ ,  $q(x, t)$ ,  $x \in [0, h]$ ,  $t \geq 0$ ;  $h$  – толщина слоя материала. Современные методы исследования локально-неравновесной модели теплопереноса (1) представлены в [2]; там же проведен подробный анализ возникновения градиентной катастрофы и свойств ударных тепловых волн.

Граничные и начальные условия для полуоткрытого резонатора:

$$q(x=0, t) = q_0(t), \quad T(x=h, t) = T_w \equiv \text{const}; \quad (2)$$

$$q(x, t=0) = 0, \quad T(x, t=0) = T_w, \quad (3)$$

где  $q_0(t)$  – плотность потока энергии, поглощенной поверхностью образца материала;  $T_w$  – температура правой стенки.

Для теплового потока на левой границе применяем два варианта.

1. Импульсно-периодическое тепловое воздействие с постоянной частотой колебаний,

$$q_0(t) = H \sin(pt/2)^{2m},$$

где  $m \geq 1$  – целое число;  $p, H$  – const. Добротность резонатора вычисляем по формуле  $K_1 = \frac{A_q}{H}$ , где  $A_q$  – амплитуда установившихся колебаний теплового потока  $q_w(t) = q(x=h, t)$  на правой границе.

2. Частота возбуждения  $p(t)$  – немонотонная функция времени:

$$q_0(t) = H \left( \sin \frac{P(t)}{2} \right)^2, \quad P(t) = p_\infty t + \frac{A_*}{A_1} \arctg \left[ A_1(t - t_*) \right],$$

$$A_*, A_1, p_\infty, t_* - \text{const}.$$

Функция  $p(t) \equiv dP/dt$  имеет всплеск при  $t = t_*$ :  $p_* \equiv p(t_*) = p_\infty + A_*$ . Четыре различных режима изменения частоты  $p(t)$  описаны в [3].

Добротность определяем в виде  $K_2(t_j) = \frac{|A_q(t_j) - q^1|}{H}$ ,  $j = 0, 1, 2, \dots$ , где

$A_q(t_j)$  – экстремальное значение теплового потока, достигаемое в последовательные моменты времени  $t_0 < t_1 < t_2 < \dots$ ;  $q^1$  – среднее положительное значение, около которого осциллирует тепловой поток.

Решение краевой задачи (1)–(3) выполнено численным методом интегральных соотношений А. А. Дородницына; применяем гиперболический вариант алгоритма построения расчетной схемы [4]. Все расчеты ведем в безразмерных величинах. Параметр неравновесности среды подсчитывается по формуле

$$\Gamma = (\gamma \lambda_b / c_b)^{1/2} / h$$

и представляет собой безразмерное время релаксации теплового потока. Образцу заданной толщины  $h$  свойственны критические частоты: собственные и резонансные. Первая собственная частота равна  $\omega_1 = \pi$ .

Расчеты выполнены для всех трех типов нелинейности теплофизических свойств. Отметим следующие полученные результаты.

1. Для всех четырех режимов влияние параметра  $h$  проявляется одинаково: чем тоньше образец, тем больше площадь петли  $S$ . Столь же чувствительны гистерезисные свойства нелинейных колебаний к длительности всплеска ( $\sim A_1^{-1}$ ): чем меньше  $\sim A_1^{-1}$  и/или чем больше  $\Gamma$ , тем сильнее проявляются релаксационные свойства теплопереноса.

2. Для режимов I–IV при фиксированном  $h$  в качественном отношении зависимость  $S$  от  $A_*/p_r$  одинаковая для линейной и нелинейной задач; а количественные различия между линейной и нелинейной задачами проявляются по-разному: для режимов II, IV учет нелинейности снижает проявления гистерезисных свойств.

3. Для режимов I, III с ростом параметра неравновесности  $\Gamma$  гистерезис проявляется в значительной степени именно в нелинейных теплофизических условиях. Оказывается, что при росте  $\Gamma > 0$  после перехода порогового значения  $\Gamma = \Gamma_*$  происходит инверсия: меняется вид неравенства [меньше/больше] между площадями петель частотного гистерезиса для линейной и нелинейной задач. Такие же инверсионные свойства наблюдаются при изучении зависимости  $S(A_1)$  при фиксированном  $A_*$ . Отметим, что для нелинейных вынужденных тепловых колебаний существование порога  $\Gamma = \Gamma_*$  в динамических гистерезисных процессах подтверждается практикой наших расчетов и результатами исследования модельных задач [3].

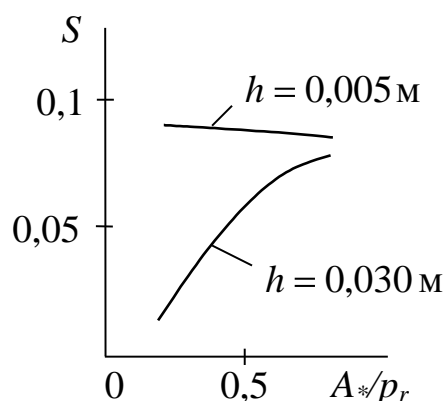


Рисунок 1 – Влияние параметра всплеска  $A_*$  на частотный гистерезис

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергообеспечение, энергосбережение, энергоэффективность, энергоэффективные технологии 2.1.10.3». Научный руководитель проекта профессор О.Н. Шабловский.

### Литература

1. Жоу, Д. Расширенная необратимая термодинамика / Д. Жоу, Х. Касас-Баскос, Дж. Лебон. – Москва–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 528 с.
2. Шабловский, О. Н. Релаксационный теплоперенос в нелинейных средах / О. Н. Шабловский. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2003. – 382 с.
3. Шабловский, О. Н. Гистерезисные свойства вынужденных колебаний теплового резонатора / О. Н. Шабловский, И. А. Концевой // Материалы, Технологии, Инструменты, 2011. – Т. 16. – № 1. – С. 30–37.
4. Коробейников, В. П. Задачи теории точечного взрыва / В. П. Коробейников. – М.: Наука, 1985. – 400 с.

**М.М. Иванов, Ю.А. Андреев (УО «ПГУ», Новополоцк)**

Науч. рук. **В.М. Чертков**, м.т.н.

### **СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА С РАСПОЗНАВАНИЕМ ТИПА НЕЛИНЕЙНОСТИ**

Из всего разнообразия возможных методов поиска объектов нелинейная радиолокация занимает одно из важнейших мест и активно развивается с 70-х годов.

Традиционные методы идентификации нелинейных объектов (полупроводников или точечных и плоскостных металлических контактов) основываются главным образом на двух особенностях [1]:

– оценка разности уровней второй и третьей гармоник, переизлученных нелинейными объектами;



– нестабильности вольтамперной характеристики (ВАХ) точечных и плоскостных металлических контактов при механическом воздействии.

Предложенный метод идентификации нелинейных объектов, в котором повышение достоверности идентификации достигается за счет особенностей процесса переизлучения специального зондирующего сигнала нелинейным элементом, основывается на следующем:

1) Сопоставительном анализе сигналов, использующихся в нелинейной радиолокации [2], в результате которого был выбран зондирующий сигнал, который представляется в виде бигармонического воздействия:

$$u(t) = U_{m1} \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t + U_{m2} \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t \quad (1)$$

где:  $\omega_0 + \Delta\omega$  – центральная частота спектра верхней боковой полосы;

$\omega_0 - \Delta\omega$  – центральная частота спектра нижней боковой полосы;

$\omega_0$  – подавленная несущая частота;

$\Delta\omega$  – поднесущая частота;

$U_{m1}, U_{m2}$  – амплитуды колебаний на соответствующих частотах.

Преимущество использования сигнала такого вида заключается в том, что он очень удобен для выяснения принципиальных особенностей преобразования спектра[3].

2) В качестве имитатора нелинейности используется вибратор, нагруженный на полупроводниковый диод (Д220 в данном случае). Аппроксимация ВАХ нелинейного элемента осуществляется степенными полиномами третьей степени – кусочно-степенным способом (сплайн функция) [4].

Аппроксимируемый интервал разбивается на отрезки  $[x_{i-1}, x_i]$ . На каждом отрезке определяется отдельный полином третьей степени, который имеет непрерывные первую и вторую производные. Такая сплайн функция обеспечивает совпадения значений в конце текущего и следующего отрезка и непрерывность первой и второй производных в точках соединения.

3) В результате анализа структуры спектра переизлученного сигнала, полученного с помощью испытаний модели в программной среде MATLAB, выявлено[5]:

– на частоте второй гармоники подавленной несущей происходит ее восстановление;

– уровень между гармониками  $3\omega_0 + \Delta\omega$  и  $3\omega_0 + 3\Delta\omega$  составляет 9,5 дБ, в следствии чего, прием переизлученного сигнала на частоте  $3\omega_0 + \Delta\omega$  энергетически более выгоден по отношению к приему на частоте  $3\omega_0 + 3\Delta\omega$ , которая используется традиционно.

Принцип восстановления нелинейности заключается в использовании специального зондирующего сигнала и получения дополнительной информации о характере изменения амплитуд откликов на второй и третьей субгармониках и амплитуды восстановленной удвоенной несущей частоты при изменении разности гармоник в составе зондирующего

сигнала и мощности излучения.

При тестовых испытаниях:

а) ВАХ нелинейного элемента аппроксимировалась полиномом

$$y(x) = 0,0868x^3 + 0,1178x^2 \quad (2)$$

б) Частоты в составе спектра зондирующего сигнала:  $\omega_0 = 800$  кГц,  $\Delta\omega = 20$  кГц.

в) Измеренные амплитуды переотраженного сигнала с соответствующими им частотами:

$A_0$  – амплитуда излученного сигнала на частоте  $2\omega_0 = 1,599$  МГц численно равная -58.31 дБ;

$A_2$  – амплитуда отраженного сигнала на частоте  $2\omega_0 - 2\Delta\omega = 1,56$  МГц численно равная -64.5 дБ;

$A_3$  – амплитуда отраженного сигнала на частоте  $3\omega_0 - \Delta\omega = 2,38$  МГц численно равная -83.54 дБ.

В результате второго испытания при изменении разности гармоник в составе зондирующего сигнала и мощности излучения на 5 дБ:

$A_0'$  – амплитуда излученного сигнала на частоте  $2\omega_0 = 1,599$  МГц численно равная -46.1 дБ;

$A_2'$  – амплитуда отраженного сигнала на частоте  $2\omega_0 - 2\Delta\omega = 1,56$  МГц численно равная -52.45 дБ;

$A_3'$  – амплитуда отраженного сигнала на частоте  $3\omega_0 - \Delta\omega = 2,38$  МГц численно равная -65.45 дБ.

По результатам испытаний рассчитаны коэффициенты полинома:

$a_3 = 0,083$ ,  $a_2 = 0,1168$ . Следовательно рассчитанный полином будет иметь вид:

$$y'(x) = a_3x^3 + a_2x^2 = 0,0838x^3 + 0,1168x^2 \quad (3)$$

Результат сравнения полинома из рассчитанных коэффициентов  $y'(x)$  (3) и аппроксимирующего полинома  $y(x)$  (2) представлен на рисунке 1.

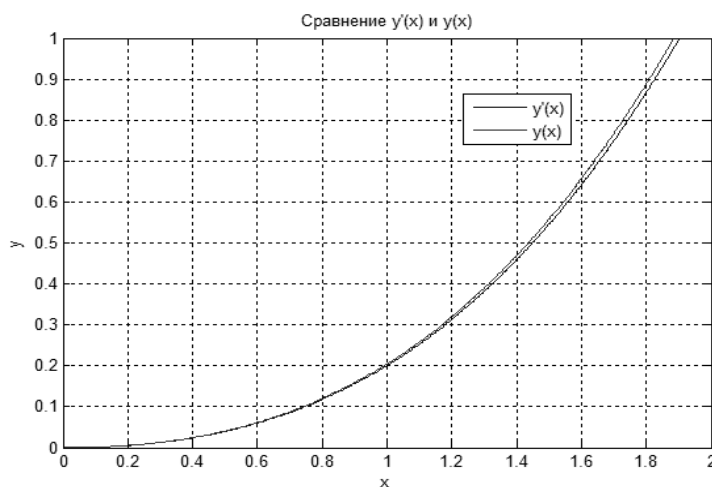


Рисунок 1 – Сравнение рассчитанного и аппроксимирующего полиномов

## Литература

1. Семенов Д.В. Нелинейная радиолокация: концепция «NR». // Специальная техника. – 1998 г. – № 3–4.
2. Вернигоров Н. С. Исследование многочастотного зондирования в нелинейной радиолокации для увеличения дальности обнаружения нелинейного объекта и определения его координат. // Информост. – 2006. – № 6.
3. Чертков В.М. Мальцев С.В. Использование фазоманипулированного сигнала в задачах нелинейной радиолокации. / Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки № 3, 2010г.
4. Калиткин Н.Н., Кузьмина Л.В. Среднеквадратичная аппроксимация сплайнами. // Математическое моделирование. – Том 9. – 1997. – № 9. – С. 106–116.
5. Чертков В.М., Мальцев С.В. Определение электрофизических свойств объекта методами нелинейной радиолокации. Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки № 8, 2012 г.

**Ж.В. Колядко (УО «МГПУ им. И. П. Шамякина», Мозырь)**

Науч. рук. **В.В. Шепелевич**, д.ф.-м.н., профессор

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧЕТНОГО ТЁМНОГО ПУЧКА В КУБИЧЕСКОМ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ**

Исследование условий достижения квазисолитонного распространения одномерных пространственных темных пучков [1, 2] (оптический пучок, содержащий темную область, образованную в результате неоднородности светового поля [2]) является объектом интенсивных исследований [3, 4]. Управляющие светом устройства могут использовать оптические волноводы, наведенные темными пространственными солитонами (локализованными темными пучками [2]) в дефокусирующей нелинейной среде [5-7]. Благодаря возможности переключения знака фоторефрактивной нелинейности простым изменением полярности внешнего электрического поля, приложенного к кристаллу, возможно формирование светлых и темных солитонов в одном и том же кристалле.

Различают два типа темных пучков. Пучки первого типа называются четными темными пучками, формирующимися при использовании амплитудной неоднородности, которая образует на выходе из нелинейной среды четное число темных пространственных солитонов на однородном фоновом пучке. Пучки второго типа называются нечетными

темными пучками, формирующимися при использовании фазовой неоднородности, которая образует на выходе из нелинейной среды нечетное число темных пространственных солитонов.

Проведем численное моделирование распространения четного темного пучка в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле. Для этого используется уравнение для огибающей векторной комплексной амплитуды светового пучка, полученное в параксиальном приближении [8]. Для теоретических расчетов используем параметры кристалла, близкие к параметрам кристалла BSO, пренебрегая пьезоэлектрическим эффектом и циркулярным дихроизмом:  $n_0 = 2,54$ ;  $r_{41} = 5 \cdot 10^{-12}$  м/В;  $\rho = 22$  %/мм. Длина световой волны  $\lambda = 0,6328$  мкм.

Пусть темный световой пучок, сформированный с помощью четного начального условия, на входе в кристалл имеет линейную х-поляризацию, дифрагирует только по направлению  $x$  и имеет профиль в безразмерных единицах по оси  $x$  [1]:

$$u(x) = \left[ -\operatorname{sech}^2(x) \right]^{7/2}. \quad (1)$$

Результаты численного моделирования представлены на рисунке 1. В отсутствие внешнего электрического поля наблюдается дифракционное уширение темной области пучка (рисунок 1 б, д (кривая 2)). При приложении к кристаллу толщиной 10 мм электрического поля напряженностью 8,5 кВ/см наблюдается дефокусировка фонового излучения с образованием пары темных квазисолитонных полос шириной 22 мкм и расстоянием между ними примерно 36 мкм, что свидетельствует о формировании четного темного квазисолитона. Другими словами при приложении внешнего электрического поля образуется волновод в виде Y-соединения [5–7], что также происходит при распространении четного темного пучка в фоторефрактивных кристаллах SBN [6] и ВТО [5, 7].

Численные расчеты (рисунок 1 д) показывают, что оптическая активность приводит к более слабому эффекту самодефокусировки освещенных областей пучка, что проявляется в значении интенсивности светлой области, разделяющей темные провалы, меньшем на 3,3 % (рисунок 1 д, кривая 1), чем значение интенсивности при выключенной оптической активности (рисунок 1 д, кривая 2). Отсюда следует, что оптическая активность как и в случае светлого пучка [8] ослабляет эффект самофокусировки темного четного пучка, распространяющегося в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле.

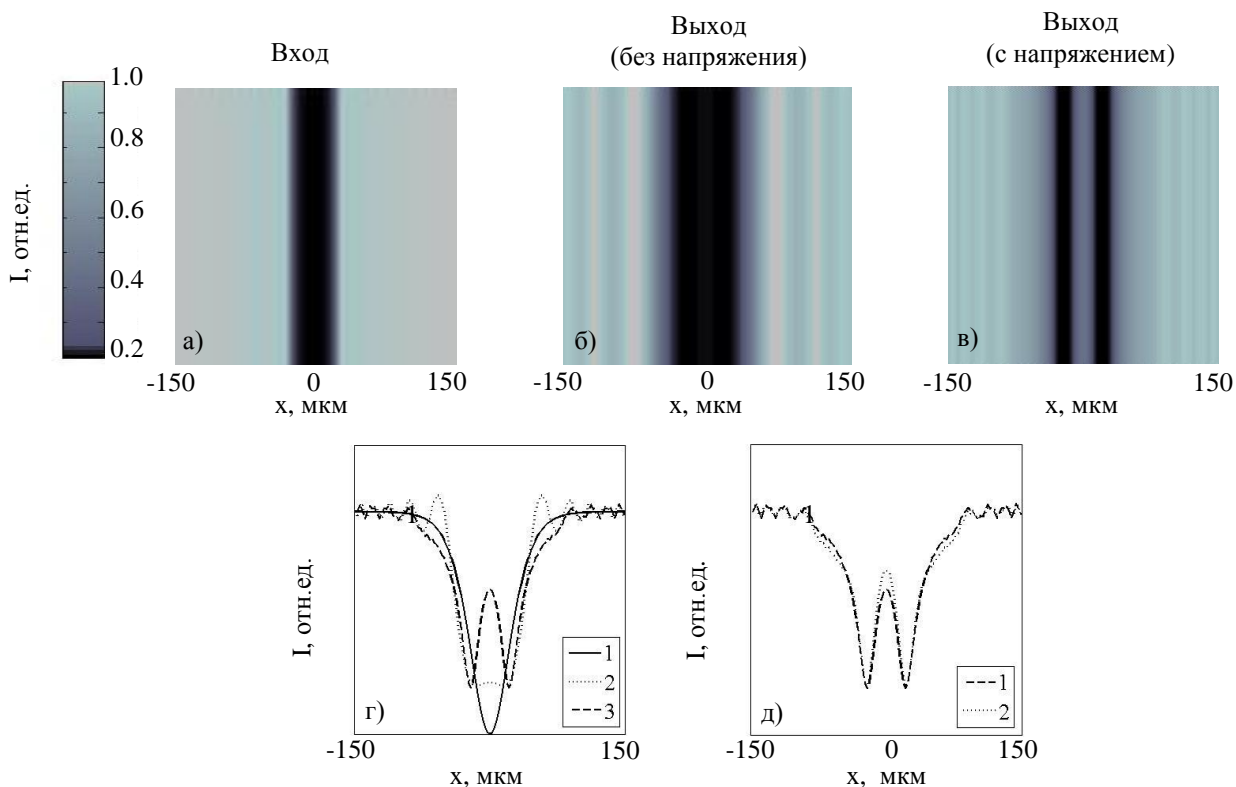


Рисунок 1 – Распространение чётного тёмного пучка шириной 60 мкм в кристалле BSO толщиной 10 мм.

Распределение светового поля тёмного пучка на входе в кристалл (а), на выходе из кристалла при  $E_0 = 0$  (б) и при  $E_0 = 8,5$  кВ/см (в).

(г) – поперечные профили относительной интенсивности темного пучка на входе в кристалл – кривая 1, на выходе из кристалла при  $E_0 = 0$  – кривая 2 и при  $E_0 = 8,5$  кВ/см – кривая 3.

(д) – поперечные профили относительной интенсивности темного пучка на выходе из кристалла при  $E_0 = 8,5$  кВ/см с учетом оптической активности – кривая 1 и без ее учета – кривая 2

Таким образом, представлены результаты численного моделирования квазисолитонного распространения пространственного четного темного пучка в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле BSO среза  $(\bar{1}\bar{1}0)$  толщиной 10 мм. Показано, что при распространении такой структуры в фоторефрактивном кристалле BSO, к которому приложено внешнее электрическое поле напряженностью  $E_0 = 8,5$  кВ/см, генерируется солитонная пара в виде Y-соединения.

### Литература

1. Dynamics of incoherent bright and dark self-trapped beams and their coherence properties in photorefractive crystals / Coskun T.H. [et al.] // Opt. Lett. – 1998. – V. 23, № 6. – P. 418–420.

2. Self-trapping of dark incoherent light beams / Chen Z. [et Al.] // *Science*. 1998. – V. 280. – P. 889–892.

3. Surface dark screening solitons / Chen W.Q. [et al.] // *Opt. Lett.* – 2011. – V. 36, № 19. – P. 3801–3803.

4. Взаимодействие темных пространственных солитонов в ионно-имплантированном планарном волноводе в ниобате лития: эксперимент и численное моделирование / Круглов В.Г., Шандаров В.М. // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2010. № 9/3. – С. 149–150.

5. (1+1)-Dimension dark spatial solitons in photorefractive  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  crystal Iturbe Castillo M.D. [et al.] // *Opt. Commun.* – 1995. – V. 118. № 5-6. – P. 515–519.

6. Steady-state photorefractive soliton-induced Y-junction waveguides and high-order dark spatial solitons / Chen Z., Mitchell M., Segev M. // *Opt. Lett.* – 1996. – V. 21, № 10. – P. 716-718.

7. High order dark spatial solitons in photorefractive  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  crystal / Mendez-Otero M.M. [et. al] // *Opt. Commun.* 2001. V. 193. № 2. – P. 277–282.

8. Влияние оптической активности на самофокусировку световых пучков в кубических фоторефрактивных кристаллах / Шепелевич В.В. [и др.] // *Квантовая электроника*. – 2003. – Т. 33, № 5. – С. 446–450.

**В.Ю. Коноплев (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Л.А. Цурганова**, к.т.н., доцент

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СИСТЕМЫ «ПЛИТА - ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ»**

Рассматривается задача компьютерного моделирования деформаций неоднородного линейно-деформируемого грунтового основания плитного фундамента под действием вертикальной, равномерно распределенной нагрузки. Определение деформаций пространственной системы «Плита - грунтовое основание» основывается на системном подходе и методе конечных элементов. В настоящей работе используется математическая модель системы «Плита – грунтовое основание», включающая геометрическую, структурную, механико-математическую модели, а также задание краевых условий и условий равновесия рассматриваемой системы [1].

Геометрическая модель (область определения системы) представляет собой прямоугольный параллелепипед, размеры которого определяются нулевыми перемещениями на боковых и нижней гранях.

Механико-математическая модель системы:

для основания  $\sigma_i = E_i \varepsilon_i$ ,

для плиты  $\sigma_i = E' \varepsilon_i$ ,  $E' \gg E_i$ ,  $E' \gg E_i$ , где  $E'$  – модуль упругости плиты,  $E_i$  – значения модулей упругости основания, описывающих структурную модель,  $\sigma_i, \varepsilon_i$  – интенсивности напряжений и деформаций.

Краевые условия области определения системы “Плита – грунтовое основание”: перемещения на всех гранях, кроме верхней равны нулю, на верхней грани области определения на поверхности плиты задается внешняя нагрузка.

Условия равновесия системы основываются на принципе минимума полной энергии системы «Плита - грунтовое основание»:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \{U\}} = 0, \text{ где } \Pi = \frac{1}{2} \int_V \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} dV - \{U\}^T \{P\},$$

$\Pi$  – полная энергия деформируемой системы,

$\{P\}$  – вектор внешних сил,

$\{\sigma\}$ ,  $\{\varepsilon\}$ ,  $\{U\}$  – векторы напряжений, деформаций и перемещений,

$V$  – объём области определения исследуемой системы.

С помощью метода конечных элементов условия равновесия системы преобразовываются к виду

$$[K] \{U\} = \{P\},$$

где  $[K]$  – матрица жесткости системы.

Для компьютерного моделирования деформаций грунтового основания плитного фундамента разработаны алгоритмы этапов конечно-элементного моделирования рассматриваемой системы: построение матрицы жесткости, задание граничных условий, учет граничных условий в матрице жесткости, решение системы линейных алгебраических уравнений.

Для программной реализации компьютерного моделирования системы «Плита – грунтовое основание» на объектно-ориентированном языке программирования Java разработаны соответствующие классы.

Объекты дискретной системы «Плита - грунтовое основание» описываются java-beans классами: узловая точка, конечный элемент, матрица жесткости. Логика расчетов нагрузки реализована в соответствующих контроллерах, что в сочетании с отделением визуальной части от расчетов, позволяет реализовать концепцию MVC.

Описание узловых точек расчетной области, включает номер, координаты, принадлежность к границе, наличие нагрузки и информацию для интерфейса, а его контроллер – методы задания и/или выбора нагрузки, задания координат точки, проверки принадлежности точки конечному элементу. Описание конечных элементов и характеристик включает модуль упругости, коэффициент Пуассона и номер элемента.

Описание информации, связанной с матрицей жесткости включает размеры дискретной решетки расчетной области по осям, количество узлов, количество конечных элементов, размер матрицы, количество узлов приложения нагрузки. Контроллер этого класса обеспечивает установку граничных узлов, номеров узлов и их координат, построения матрицы жесткости, получение информации о выбранном конечном элементе, учет граничных условий в матрице жесткости, решение системы линейных алгебраических уравнений методом Гаусса.

### Литература

1. Быховцев, В. Е. Компьютерное объектно-ориентированное моделирование нелинейных систем деформируемых твёрдых тел / В. Е. Быховцев. – Гомель: УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2007. – 219 с.

**М.В. Лыщик, А.И. Шелест (УО «БрГУ им. А.С. Пушкина», Брест)**  
 Науч. Рук. **В.А. Плетюхов**, д.ф.-м.н., профессор

### ВНУТРЕННЯЯ СИММЕТРИЯ 12-КОМПОНЕНТНОГО БЕЗМАССОВОГО ДИРАКОВСКОГО ПОЛЯ

В работах [1,2] разработан метод, позволяющий установить наиболее полные группы симметрии дираковских полей. Этот метод основан на приведении исходных уравнений к форме, в которой вещественные и мнимые компоненты волновой функции разделены. В работе [3] данный метод применен к исследованию симметричных свойств системы из трех уравнений Дирака с отличной от нуля массой. Установлено, что внутренняя симметрия лагранжиана такой системы описывается унитарной группой, изоморфной группе  $SO(4,3)$ , которая содержит «обычную» группу  $SU(3)$  в качестве подгруппы. В настоящей работе исследуется внутренняя симметрия 12-компонентного поля, описываемого системой из трех уравнений Дирака с  $m=0$ , которая, как известно, лежит в основе калибровочной модели сильных взаимодействий и служит для описания безмассовых кварков.

Итак, рассматривается система уравнений

$$\gamma_{\mu} \partial_{\mu} \psi_k = 0 \quad (k = 1,2,3), \quad (1)$$

где  $\psi_k$  – дираковские биспиноры,  $\gamma_{\mu}$  – матрицы Дирака. Данную систему можно привести к стандартной матричной форме

$$\Gamma_{\mu} \partial_{\mu} \Psi = 0, \quad (2)$$

в которой вещественные и чисто мнимые компоненты волновой функции  $\Psi$  разделены:



$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_1^r \\ \psi_2^r \\ \psi_3^r \\ \psi_1^i \\ \psi_2^i \\ \psi_3^i \end{pmatrix} - \text{столбец}, \quad (3)$$

$$\psi_{1,2,3}^r = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \psi_{1,2,3} \\ \psi_{1,2,3}^* \end{pmatrix}, \quad \psi_{1,2,3}^i = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \psi_{1,2,3} \\ -\psi_{1,2,3}^* \end{pmatrix}.$$

Матрицы  $\Gamma_\mu$  размерности  $24 \times 24$  в представлении (3) имеют вид

$$\Gamma_1 = \sigma_1 \otimes I_3 \otimes \gamma_1, \Gamma_2 = I_2 \otimes I_3 \otimes \gamma_2, \Gamma_3 = \sigma_1 \otimes I_3 \otimes \gamma_3, \Gamma_4 = \sigma_1 \otimes I_3 \otimes \gamma_4. \quad (4)$$

Лагранжиан уравнения (2) с матрицами  $\Gamma_\mu$  (4)

$$L = -\bar{\psi} \Gamma_\mu \partial_\mu \psi = -\psi^+ \eta \Gamma_\mu \partial_\mu \psi. \quad (5)$$

эквивалентен лагранжиану

$$L = -\bar{\psi}_1 \gamma_\mu \partial_\mu \psi_1 - \bar{\psi}_2 \gamma_\mu \partial_\mu \psi_2 - \bar{\psi}_3 \gamma_\mu \partial_\mu \psi_3 = \\ = -\psi_1^+ \gamma_4 \gamma_\mu \partial_\mu \psi_1 - \psi_2^+ \gamma_4 \gamma_\mu \partial_\mu \psi_2 - \psi_3^+ \gamma_4 \gamma_\mu \partial_\mu \psi_3 \quad (6)$$

исходной системы (1) при выборе матрицы  $\eta$  лоренц-инвариантной билинейной формы в (5) в виде

$$\eta = I_6 \otimes \gamma_4. \quad (7)$$

Под преобразованиями внутренней симметрии уравнения (2) понимается линейные преобразования

$$\psi' \begin{pmatrix} \psi \\ \psi^* \end{pmatrix} = Q \psi \begin{pmatrix} \psi \\ \psi^* \end{pmatrix}, \quad (8)$$

не затрагивающие пространственно-временных координат и оставляющие инвариантным это уравнение. Указанная инвариантность обеспечивается матрицами  $Q$  двух типов, удовлетворяющих перестановочным соотношениям

$$\{K_\mu, Q_1\} = 0, \quad (9)$$

$$\{K_\mu, Q_2\} = 0. \quad (10)$$

Матрицы  $Q_1, Q_2$  параметризуются посредством 72-х базисных операторов  $J^N, I^N$  ( $N = 1 \div 36$ ), то есть представляются в виде

$$Q_1 = \sum_{N=1}^{36} \omega_N J^N, \quad Q_2 = \sum_{N=1}^{36} \Omega_N I^N, \quad (11)$$

где  $\omega_N, \Omega_N$  – параметры рассматриваемых преобразований. В представлении (3) базисные операторы могут быть выбраны следующим образом:

$$J^{00} = I_{24}, J^{10} = \sigma_1 \otimes I_3 \otimes I_4, J^{20} = \sigma_3 \otimes I_3 \otimes \gamma_2, \\ J^{30} = -y_2 \otimes I_3 \otimes \varepsilon_2, J^{0A} = I_2 \otimes \bar{\alpha}_A \otimes I_4, J^{1A} = y_1 \otimes \bar{\alpha}_A \otimes I_4, \quad (12) \\ J^{2A} = y_3 \otimes \bar{\alpha}_A \otimes \varepsilon_2, J^{3A} = -y_2 \otimes \bar{\alpha}_A \otimes \gamma_2,$$

$$I^{00} = \sigma_1 \otimes I_3 \otimes \gamma_5, I^{10} = I_2 \otimes I_3 \otimes \gamma_5, I^{20} = i\sigma_2 \otimes I_3 \otimes \gamma_2 \gamma_5, \\ I^{30} = i\sigma_3 \otimes I_3 \otimes \gamma_2 \gamma_5, I^{0A} = \sigma_1 \otimes \alpha_A \otimes \gamma_5, I^{1A} = I_2 \otimes \alpha_A \otimes \gamma_5, \quad (13) \\ I^{2A} = i\sigma_2 \otimes \alpha_A \otimes \gamma_2 \gamma_5, I^{3A} = i\sigma_3 \otimes \alpha_A \otimes \gamma_2 \gamma_5,$$

где  $\alpha_A$  ( $A = 1 \div 8$ ) – генераторы группы  $SU(3)$  (матрицы Гелл-Манна).

Операторы (12), (13) (за исключением единичного  $J^{00} = I_{24}$ ) играют одновременно роль генераторов данных преобразований.

Помимо условий (9), (10) преобразования внутренней симметрии не должны нарушать структуру (3) волновой функции, то есть обязаны удовлетворять требованию: если  $\psi_M$  - вещественная (мнимая) компонента, то и  $\psi'_M = Q_{MK}\psi_K$  также должна оставаться вещественной (мнимой) компонентой. Данное требование накладывает ограничения на параметры  $\omega_N, \Omega_N$ , заключающиеся в вещественном либо чисто мнимом характере последних.

Наконец, инвариантность лагранжиана (5) относительно конечных преобразований внутренней симметрии (8) приводит к соотношению

$$Q^+ \mathfrak{z} \Gamma_{,m} Q = \mathfrak{z} \Gamma_{,m}, \quad (14)$$

которое применительно к однопараметрическим бесконечно малым преобразованиям равносильно условиям

$$\mathfrak{Q}_N J^N \mathfrak{z} = -\omega_N \mathfrak{z} J^N, \quad (15)$$

$$\mathfrak{Q}_N I^N \mathfrak{z} = \Omega_N \mathfrak{z} I^N. \quad (16)$$

Совместное выполнение всех вышеперечисленных требований приводит к 36-параметрической группе инвариантности лагранжевой формулировки теории, задаваемой генераторами

$$J^{00}, J^{20}, J^{30}, J^{06}, J^{07}, J^{08}, J^{11}, \dots, J^{15}, J^{21}, \dots, J^{25}, J^{31}, \dots, J^{35}, \quad (17)$$

$$I^{00}, I^{01}, \dots, I^{05}, I^{16}, I^{17}, I^{18}, I^{26}, I^{27}, I^{28}, I^{36}, I^{37}, I^{38}.$$

Генератор  $I^{00}$ , содержащийся в наборе (17), коммутирует со всеми остальными здесь и представляет собой аналог  $\gamma_5$ -преобразования для системы из трех уравнений Дирака с  $m=0$ . остальные 35 генераторов в (17) образуют унитарную группу  $SU(3,3)$  с 18-тью вещественными ( $\omega_{20}, \omega_{30}, \omega_{21}, \dots, \omega_{25}, \omega_{31}, \dots, \omega_{35}, \Omega_{26}, \Omega_{27}, \Omega_{28}, \Omega_{36}, \Omega_{37}, \Omega_{38}$ ) и 17-тью мнимыми ( $\omega_{10}, \omega_{06}, \omega_{07}, \omega_{08}, \omega_{11}, \dots, \omega_{15}, \Omega_{01}, \dots, \Omega_{05}, \Omega_{16}, \Omega_{17}, \Omega_{18}$ ) параметрами. Генераторы типа  $J$  образуют в данной группе 21-параметрическую подгруппу с 12-тью вещественными и 9-тью мнимыми параметрами, изоморфную группе  $SO(4,3)$  и являющуюся наиболее полной группой внутренней симметрии лагранжиана системы трех уравнений Дирака с  $m \neq 0$  [3].

Максимальная компактная подгруппа  $SU(3) \otimes SU(3)$ , содержащаяся в установленной выше группе  $SU(3,3)$ , задается 16-тью генераторами

$$J^{06}, J^{07}, J^{08}, J^{11}, \dots, J^{15}, I^{01}, \dots, I^{05}, I^{16}, I^{17}, I^{18}, \quad (18)$$

которым соответствуют мнимые параметры.

## Литература

1. Плетюхов, В.А. Вещественное поле Дирака–Кэлера и дираковские частицы / В.А. Плетюхов, В.И. Стражев // Вестник БГУ. Сер. 1. – 2009. – № 2. – С. 3–7.
2. Плетюхов, В.А. Внутренние симметрии безмассовых дираковских полей / В.А. Плетюхов, В.И. Стражев, П.П. Андрусевич // Весці НАН Беларусі. Сер.фіз-мат. навук. – 2011. – № 2. – С. 13–17.
3. Pletyukhov, V.A. Internal symmetry of the three Dirac fields / V.A. Pletyukhov, V.I. Strazhev, P.P. Andrusevich // NDCS. – 2011. – Vol. 14. – № 1. – P. 96–101.

**А.В. Макаревич (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **М.И. Жадан**, к.ф.-м.н., доцент

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ГИДРОДИНАМИКИ СГЛАЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Существует несколько методов моделирования жидкости и у каждого из них есть сильные и слабые стороны. Наиболее распространёнными являются сеточные методы Эйлера, гидродинамика сглаженных частиц, методы, основанные на завихрениях, и метод решёточных уравнений Больцмана. Эти методы используются для решения практических задач в компьютерной графике, основной целью которой является приближение итогового изображения к реальности.

При более глубоком исследовании становится понятно, что решения являются системами нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, имеющих аналитическое решение лишь в очень простых случаях, когда число Рейнольдса для задачи мало, а геометрия простая. Для широкого спектра процессов задачу можно решить численно в том случае, если производные, стоящие в уравнениях, заменить на конечные разности, созданные на малых пространственных и временных интервалах. При моделировании реального процесса производится дискретизация пространства и времени, таким образом, что геометрия процесса разбивается на расчетные ячейки, а время процесса — на временные интервалы. Существуют различные методы решения системы уравнений:

- Метод конечных разностей;
- Метод конечных объёмов;
- Метод конечных элементов;
- Метод сглаженных частиц ;
- Метод с использованием функции распределения вероятности.

Метод сглаженных частиц работает путем деления жидкости на дискретные элементы, называемые частицами. Эти частицы имеют пространственное расстояние (известное как «длина сглаживания»), на котором их свойства «сглаживаются» функцией ядра. Это значит, что любая физическая величина любой частицы может быть получена путем суммирования соответствующих величин всех частиц которые находятся в пределах двух сглаженных длин.

Влияние каждой частицы на свойства оценивается в соответствии с её плотностью и расстоянием до интересующей частицы. Математически, это описывается функцией ядра. В качестве функции ядра часто используют функцию Гаусса (функция нормального распределения) или кубический сплайн. Последняя функция равна нулю для частиц находящихся дальше чем две сглаженные длины (в отличие от функции Гаусса, где имеется небольшое влияние на любом конечном расстоянии). Это позволяет экономить вычислительные ресурсы, исключая относительно малое влияние отдаленных частиц.

Значение любой физической величины  $A$  в точке  $r$  задаётся формулой:

$$A(r) = \sum_j m_j \frac{A_j}{\rho_j} W(|r - r_j|, h),$$

где  $m_j$  — масса частицы  $j$ ,  $A_j$  — значение величины  $A$  для частицы  $j$ ,  $\rho_j$  — плотность связанная с частицей  $j$ , и  $W$  — функция ядра упомянутая выше. Например, плотность частицы  $i$  ( $\rho_i$ ) может быть выражена как:

$$\rho_i = \rho(r_i) = \sum_j m_j \frac{\rho_j}{\rho_j} W(|r_i - r_j|, h) = \sum_j m_j W(|r_i - r_j|, h),$$

где суммирование  $j$  включает все частицы в симуляции.

Гидродинамика сглаженных частиц всё более часто используется для моделирования движения жидкостей. Это происходит из-за некоторых преимуществ метода по сравнению с традиционными основанными на сетке методиками. Во-первых, метод гарантирует сохранение массы без дополнительных вычислений, так как частицы сами по себе представляют массу. Во-вторых, вычисляет давление от воздействия соседних частиц, также имеющих массу, а не решает систему линейных уравнений. Наконец, в отличие от основанных на сетке методик, которые должны проследивать границы жидкости, SPH создаёт свободную поверхность для непосредственно двухфазных взаимодействующих жидкостей. По этим причинам благодаря SPH возможно моделировать движение жидкости в режиме реального времени.

### Литература

1. J.J. Monaghan, An introduction to SPH / Monaghan J.J. / Computer Physics Communications. – 1988. – С. 88–96.

**О.В. Новикова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. Г.Ю. Тюменков, к.ф.-м.н., доцент

### **ПРОЦЕСС ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА**

В рамках термодинамического метода исследования макросистем широко используются полуэмпирические двухпараметрические уравнения состояния, например, уравнения Ван-дер-Ваальса, Дитеричи и др. [1]. Среди данного типа уравнений хорошо себя зарекомендовало модифицированное уравнение Ван-дер-Ваальса, молярная форма которого имеет вид

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)} \quad (1)$$

В выражении (1) и в дальнейшем используются традиционные термодинамические обозначения.

Важнейшим фактором сопоставления результатов, получаемых из двухпараметрических уравнений состояния, с экспериментальными данными является рассмотрение критического состояния вещества. На изотерме при критической температуре этому состоянию соответствует единственная (критическая) точка, являющаяся одновременно точкой схождения локальных экстремумов и точкой перегиба изотермы. Математически это означает

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T_{kp}} = 0, \quad \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{T_{kp}} = 0. \quad (2)$$

Для уравнения (1) частные производные (2) равны

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = \frac{a}{V^2(V+b)^2} - \frac{RT}{(V-b)^2}; \quad \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{2a(V^2 + 3bV + b^2)}{V^3(V+b)^3}. \quad (3)$$

Соотношения (2) - (3) образуют систему уравнений, позволяющую выразить характеристики критического состояния (критическую температуру  $T_{kp}$ , критическое давление  $P_{kp}$  и критический объем  $V_{kp}$ ) через параметры  $a$ ,  $b$  уравнения состояния:

$$V_{kp} = \frac{b}{\xi} = 3,85b, \quad T_{kp} = \frac{a}{Rb} \cdot \frac{\xi^2 \sqrt{1 + \xi^2} - \xi^2}{\sqrt{1 + \xi^2}} = 0,20 \frac{a}{Rb}, \quad (4)$$

$$P_{kp} = \frac{a}{b^2} \cdot \frac{\xi^2 \sqrt{1 - 2\xi - \xi^2}}{\sqrt{1 + \xi^2}} = 0,02 \frac{a}{b^2}.$$

Определив приведённые параметры как

$$\tilde{V} = \frac{V}{V_{kp}}, \quad \tilde{T} = \frac{T}{T_{kp}}, \quad \tilde{P} = \frac{P}{P_{kp}}, \quad (5)$$

и подставляя выражения (4), (5) в (1), получим приведенное модифицированное уравнение Ван-дер-Ваальса

$$\tilde{P} = \frac{3\tilde{T}}{\tilde{V} - \xi} - \frac{1}{\xi\tilde{V} \sqrt{1 + \xi^2}}, \quad (6)$$

где использована константа

$$\xi = \sqrt[3]{2} - 1 = 0,259921 \cong 0,260. \quad (7)$$

Применим модифицированное уравнение Ван-дер-Ваальса для исследования подсистемно равновесного изоэнтальпического ( $dW=0$ ) процесса прокачки реального газа сквозь пористую перегородку (процесс Джоуля-Томсона), актуальность исследования которого в настоящее время подкрепляется многочисленными публикациями, например [2]. При этом процессе наблюдается понижение температуры реального газа в определенной области ограниченной кривой инверсии, явный вид которой будет найден в данной работе.

Как показано в работе [3], удобно использовать параметр рассматриваемого процесса, записанный в терминах приведенных переменных

$$\tilde{\lambda} = \tilde{V} \left( \frac{\partial \tilde{P}}{\partial \tilde{V}} \right)_{\tilde{T}} + \tilde{T} \left( \frac{\partial \tilde{P}}{\partial \tilde{T}} \right)_{\tilde{V}}. \quad (8)$$

При уменьшении давления ( $d\tilde{P} < 0$ ), следующем из условия протекания процесса Джоуля-Томсона, возможны два варианта изменения температуры в зависимости от знака параметра  $\tilde{\lambda}$ :

$$\tilde{\lambda} > 0 \rightarrow d\tilde{T} < 0, \quad \tilde{\lambda} < 0 \rightarrow d\tilde{T} > 0.$$

Первый вариант соответствует положительному эффекту Джоуля-Томсона (газ остывает), второй – отрицательному (газ нагревается). Условием же  $\tilde{\lambda} = 0$  задаются точки инверсии, в которых изменяется знак эффекта, поэтому данному условию можно сопоставить температуру инверсии  $T_i$  и получить выражение для ее расчета.

Находим  $\tilde{\lambda}$  на основе определения (8) и уравнения (6)

$$\tilde{\lambda} = \frac{2\sqrt{1 + \xi^2}}{\xi\tilde{V} \sqrt{1 + \xi^2}} - \frac{3\xi\tilde{T}}{\sqrt{1 - \xi^2}}. \quad (9)$$

Далее с учетом (6) и (8) получаем выражение для приведённой температуры инверсии

$$\tilde{T}_i(\tilde{V}) = \frac{(\tilde{V} + \xi)(\tilde{V} - \xi)^2}{3\xi\tilde{V}(\tilde{V} + \xi)^2}, \quad (10)$$

что позволяет также выразить давление в точках инверсии как функцию объема газа

$$\tilde{P}(\tilde{V}) = \frac{2\tilde{V}^2 - (\tilde{V} + \xi)(\tilde{V} - \xi)}{\xi\tilde{V}(\tilde{V} + \xi)^2}. \quad (11)$$

Выявленные зависимости (10)–(11), приведенные на Рисунке 1, задают искомые кривые инверсии в двух физических плоскостях.

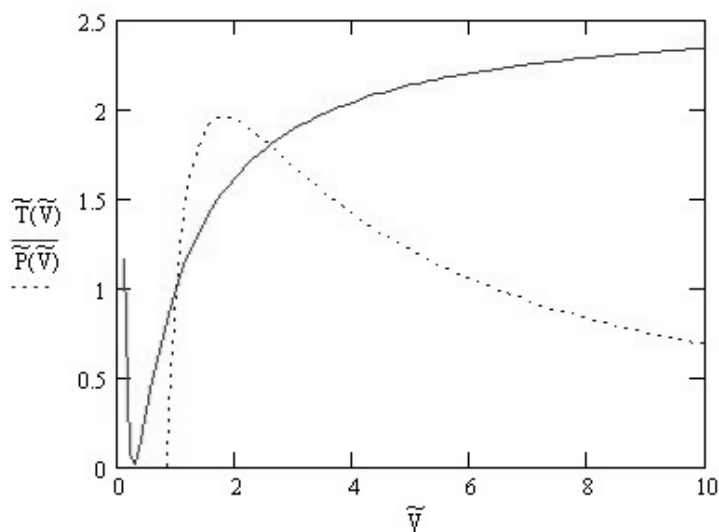


Рисунок 1 – Графики кривых инверсии эффекта Джоуля-Томсона в  $\tilde{P}\tilde{V}$ - и  $\tilde{T}\tilde{V}$ -плоскостях

При необходимости данные кривые могут быть также отображены в  $\tilde{P}\tilde{T}$ -плоскость.

### Литература

1. Румер, Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2000. – 608 с.
2. Abbas, R. Joule-Thomson coefficients and Joule-Thomson inversion curves for pure compounds and binary systems predicted with the group contribution equation of state VTPR // Fluid Phase Equilibria. – 2011. – V. 306. – P. 181–189.
3. Дей, Е.А. Кривые инверсии процесса Джоуля-Томсона в приведенных переменных / Е.А. Дей, Г.Ю. Тюменков, П.В. Астахов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Т. 7. – № 1. – С. 101–105.

**А.И. Остапенко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Е.А. Дей**, к.ф.-м.н., доцент

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАНО-СИСТЕМ В ПРОГРАММЕ HYPERCHEM**

Свойства нано-размерных систем широко исследуются в настоящее время как экспериментальными и теоретическими методами, так и методами вычислительного эксперимента [1]. Последние, в свою очередь, реализуются в программах квантово-химического моделирования. Одной из самых известных является HyperChem производства фирмы HyperCube Inc [1, 2].

Программный комплекс HyperChem позволяет проводить следующие манипуляции: рисование, выбор, изменение, удаление и копирование атомов и связей; создание молекул в двухмерном и трехмерном изображении; сдвиг, вращение и вычисление молекул; изменение масштаба изображения, центрирование, вращение, сдвиг и вычисление структурных свойств; получение атомных характеристик; измерение длины связей, углов между связями, торсионных углов, длин между несвязанными атомами; нахождение водородных связей.

Вычисления в HyperChem дают возможность минимизировать энергию системы, измерять структурные свойства, оптимизировать структуры изолированных молекул и молекул, помещенных в растворитель; производить вычисления неэмпирическими и полуэмпирическими квантово-химическими методами, методами молекулярной механики, молекулярной динамики, динамики Langevin и методом Монте-Карло. При этом для каждого метода имеется набор различных параметризаций, позволяющих варьировать выбор варианта постановки задачи в зависимости от цели исследования и возможностей используемой вычислительной техники. HyperChem может выполнять расчеты энергии систем и их равновесной геометрии методом молекулярной механики с использованием четырех модельных потенциалов (MM+, AMBER, BIO+ и OPLS), девятью полуэмпирическими квантово-химическими методами (Расширенный метод Хюккеля, CNDO, INDO, MINDO3, MNDO, AM1, PM3, ZINDO/1 и ZINDO/S), или неэмпирическим (*ab initio*) методом квантовой химии в различных базисах [2].

Данная работа посвящена исследованию вычислительных свойств программного пакета HyperChem на примере сравнения времени счета оптимизации геометрии фуллеренов различными методами для различных конформаций этих молекул.



Фуллерены представляют собой замкнутые устойчивые сфероидальные структуры, состоящие из атомов углерода. Фуллерены проявляют специфические свойства и как физические объекты, и как химические системы, и как своеобразные материалы [4].

С помощью режима Model Builder программного комплекса HyperChem были построены следующие нано-молекулы фуллеренов: C<sub>20</sub>, C<sub>60</sub>, C<sub>180</sub>. Их рабочие изображения приведены на рисунке 1.

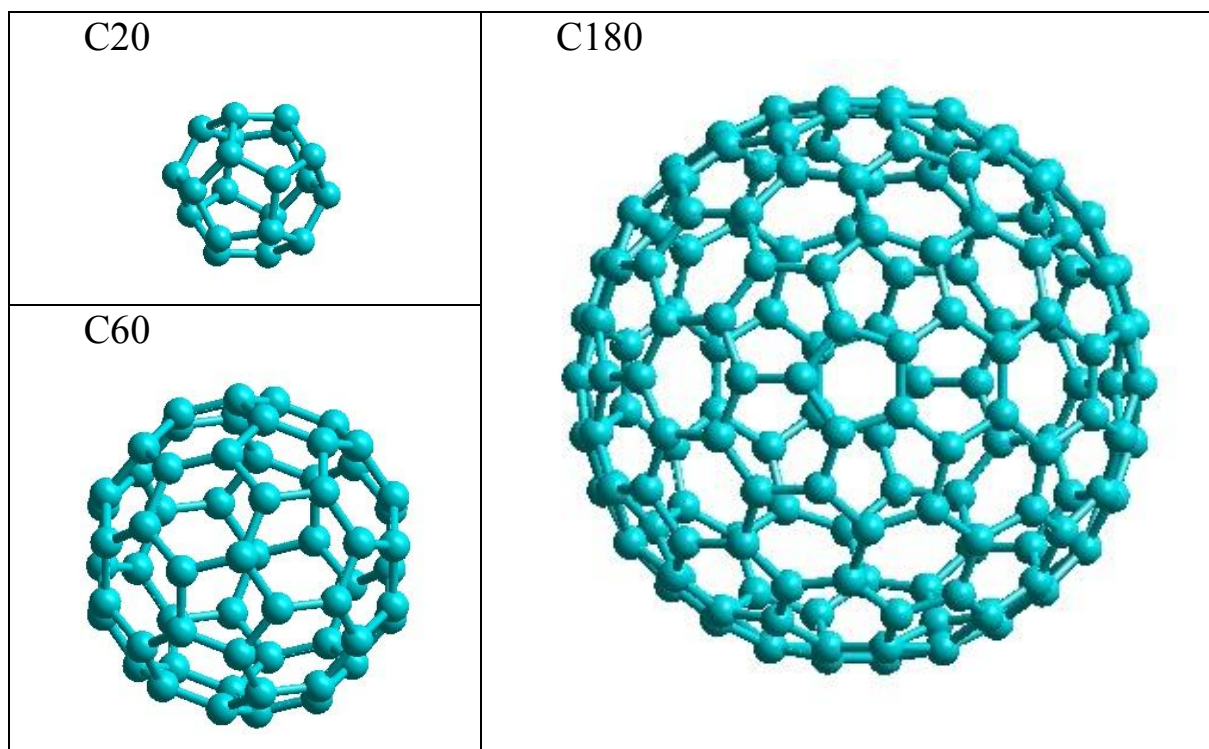


Рисунок 1 – Изображения фуллеренов в рабочем окне программы HyperChem

Для каждой молекулы фуллеренов была произведена оптимизация геометрии до минимальной энергии методами молекулярной механики с потенциалами MM+, AMBER, полуэмпирическими методами CNDO, INDO, MINDO, AM1, PM3, ZINDO/1 и неэмпирическим (ab initio) методом квантовой химии в базисе 3-21G, с погрешностью в  $\pm 0,0001$  по энергии. Исследовалось оптимальное время счета для представленных методов и способы ускорения расчетов. Вычисления производились на процессоре AMD A8-4500M TurboCore 4x2.3 GHz с использованием оперативной памяти 6 Гб. Результаты вычислений представлены в таблице.

Таблица – Время расчета оптимизации геометрии для выбранной молекулы фуллерена

| Метод расчета   | Фуллерен |       |       |
|-----------------|----------|-------|-------|
|                 | C20      | C60   | C180  |
| MM+             | 1        | 1     | 3     |
| AMBER           | 1        | 2     | 3     |
| CNDO            | 20       | 30    | 1871  |
| INDO            | 28       | 29    | 1796  |
| MINDO           | 7        | 23    | 1750  |
| AM1             | 6        | 16    | 1396  |
| PM3             | 7        | 17    | 1583  |
| ZINDO/1         | 27       | 31    | 1998  |
| ab initio 3-21G | 2880     | 10890 | 76980 |

Большое время счета метода *ab initio* обусловлено тем, что на каждом итерационном шаге и для каждого атома, входящего в молекулу, решается уравнение Шредингера, тогда как в методах молекулярной механики все частицы рассматриваются в рамках классической механики, и система уравнений Ньютона для них решается значительно быстрее.

На основании проведенных расчетов было установлено, что самостоятельные методы поиска оптимальной геометрии системы для молекул с большим количеством атомов неэффективны. Для того, чтобы снизить время вычисления самыми сложными из методов, требуется производить итерации с развитием расчета, например, в первом приближении провести вычисления геометрии методом молекулярной механики, а только потом – методом *ab initio*. Такой способ итераций сокращает время счета для молекулы C180 с 76980 секунд при первоначальном исследовании методом *ab initio*, до 31940. Последовательные вычисления методами молекулярной механики, полуэмпирическим AM1, и *ab initio* в базисе 3-21G, завершились за 24970 секунд, при этом было произведено только 2 шага приближений метода *ab initio* для достижения требуемой точности.

### Литература

1. Ибрагимов, И.М. Основы компьютерного моделирования наносистем / И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров / Спб.: Издательство «Лань», 2010. – 384 с.
2. Дегтяренко, Н.Н. Описание программных пакетов для квантовых расчетов наносистем / Н.Н. Дегтяренко / М.: МИФИ, 2008. – 180 с.
3. Фуллерены и структура углерода / Елецкий А.В., Смирнов Б.М. / УФН. – 1995. – Т.165, № 9. – С. 977–1009.

Г.С. Покаташкин (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. О.М. Дерюжкова, к.ф.-м.н., доцент

## ВРАЩЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ФИГУР В СРЕДЕ WOLFRAM MATHEMATICA

Начнём с того, что определим понятие компьютерной алгебры. И так, компьютерной алгеброй называется раздел компьютерных вычислений, в котором научно-технические проблемы решаются путём аналитических вычислений, тем самым не прибегая к численным методам [1]. Задачи компьютерной алгебры заключаются, как правило, в решении научно-технических вопросов путём построения математической модели и дальнейшем её исследовании. Другими словами в постановке компьютерного эксперимента. Это необходимо при изучении проблем теоретической механики, методов математической физики, биологии, экономики и других естественных и общественных наук, использующих математический аппарат [2]. В компьютерной алгебре, на сегодняшний день, используется множество систем аналитических вычислений, которые позволяют решать широчайший спектр задач. Одними из самых популярных систем являются Maple, Mathematica, MathCad, MATLAB. Они позволяют создавать математические модели на основе аналитических вычислений с возможностью иллюстрации результата в виде графиков, вывода таблиц вычислений, а так же последующего изменения параметров системы для исследования модели в новых условиях [1]. Одной из самых успешных систем компьютерной алгебры является Wolfram Mathematica (WM), которая является коммерческим проектом и на данный момент имеет ряд преимуществ перед другими системами. Возможности WM в аналитической сфере достаточны для исследования, как простых, так и сложных процессов и устройств [3].

Перейдём непосредственно к рассмотрению вопроса. Речь пойдёт о динамическом вращении фигур в системе WM, которые, по сути, являются моделью симметричного твёрдого тела. Фигура представляет собой геометрическую модель в трёхмерном пространстве, которая задаётся встроенными функциями типа  $Cone[\{x_1, y_1, z_1\}, \{x_{21}, y_2, z_2\}, r]$  – конус с соответствующими координатами и радиусом [4]. Процесс вращения моделируется с помощью сочетания двух операторов: *Rotate* и *Manipulate*. Оператор вращения  $Rotate[g, \theta, w, p]$  вращает объект  $g$  на  $\theta$  радиан вокруг трёхмерного вектора  $w$  «опираясь» на вектор  $p$ . Рассмотрим работу оператора *Rotate*. Данный оператор представляет собой совокупность матриц поворота, которые могут быть получены при помощи

оператора  $RotationTransform[g, \theta, w, p]$  с аналогичными параметрами. Оператор  $Manipulate[expr, \{u, u_{min}, u_{max}\}]$  генерирует версии объекта  $expr$  с добавлением элементов управления и возможности разрешения интерактивных манипуляций значений  $u$ . Использование оператора  $Manipulate$  позволяет реализовать интерактивное взаимодействие пользователя с программой путём графического интерфейса [4]. В программе реализовано меню выбора фигур (конус, куб, сфера, цилиндр), осей, «точек приложения силы»; ускорение и замедление вращения, а так же динамическое окно изменения угла поворота.

Рассмотрим вращения куба единичного объёма вокруг оси  $Z$ , «прилагая силу» к вершине куба, лежащей в плоскости оси  $X$ . Матрица поворота соответствующая такому преобразованию получена с помощью оператора  $RotationTransform[\theta, \{0, 0, 1\}, \{1, 1, 1\}]$  и имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \cos[\theta] & -\sin[\theta] & 0 & 1 - \cos[\theta] + \sin[\theta] \\ \sin[\theta] & \cos[\theta] & 0 & 1 - \cos[\theta] - \sin[\theta] \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Приведём часть листинга программы, реализующей вращение куба единичного объёма (см. рисунок 1):

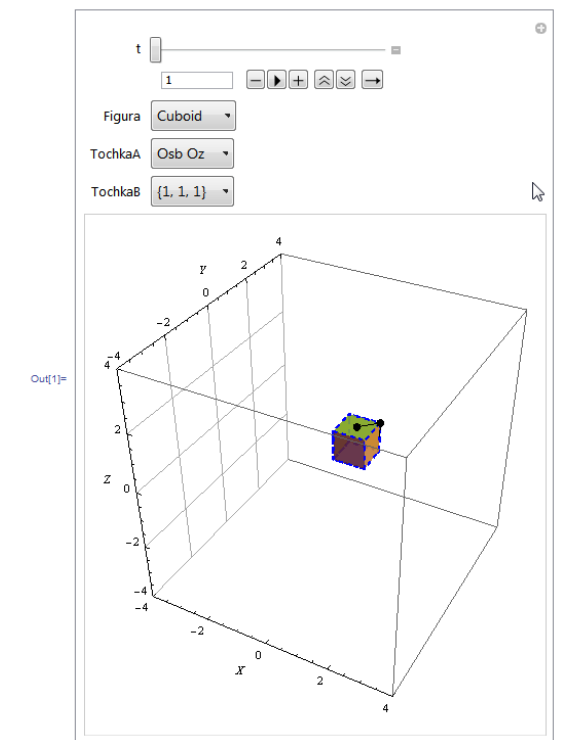


Рисунок 1 – Вращение куба единичного объёма

```

Manipulate[Graphics3D[{{Line[{{TochkaA, TochkaB}, {TochkaB, {1,1,0.5}}]}},
Rotate[{Opacity[0.7], EdgeForm[Directive[Dashed, Thick, Blue]], FaceForm[Yellow,
Blue], Figura[]}, t * Degree, {0,0,1}, {0.5,0.5,0}], PlotRange- > 4,
AxesLabel- > {X, Y, Z}, FaceGrids- > {{-1,0,0}}, {t,1,360},
{Figura, {Cuboid}, ControlType- > PopupMenu},
{TochkaA, {{0.5,0.5,1}- >"Osб Ox", {1,1,1}}, ControlType- > PopupMenu},
{TochkaB, {{2,2,-3}- >"Osб Oz", {0,0,1}}, ControlType- > PopupMenu} ]

```

Моделирование таких физических процессов, как вращение, даже на начальном уровне позволяет по-другому взглянуть на тела вращения, получить объективную картину о матрицах поворота, наглядно представить происходящие с фигурой процессы, а самое главное – развить навыки программирования и моделирования для дальнейшего исследования более сложных процессов, таких как прецессионно-нutationное вращение, вращение вокруг неподвижной или свободной точки, гироскопические эффекты, играющие важную роль в современных разработках.

### Литература

1. Муха, В.С. Вычислительные методы и компьютерная алгебра. – 2-е изд., испр. и доп. / В.С. Муха. – Минск: БГУИР, 2010. – 148 с.
2. Панкратьев, Е.В. Элементы компьютерной алгебры / Пакратьев Е.В. – М.: Интуит.ру, Бином. Лаборатория Знаний, 2007. – 247 с.
3. Дьяконов, В.П. Mathematica 5.1/5.2/6. Программирование и математические вычисления / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 576 с.
4. Mathematica 7 Documentation center / Справочный материал. – (<http://reference.wolfram.com/mathematica/guide/Mathematica.html>).

**Р.В. Саянко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.В. Андреев**, к.ф.-м.н., доцент

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА МЯГКИХ ФОТОНОВ

В современных экспериментах в области физики высоких энергий в качестве детекторов, измеряющих энергию электронов и фотонов, при-

меняются электромагнитные калориметры (ЭМК). Которые работают по определенному принципу: в веществе с большим  $Z$ (зарядом) происходит развитие так называемого электромагнитного ливня, состоящего из заряженных частиц (электронов и позитронов) и  $\gamma$ -квантов. Заряженные частицы образуют свет (черенковский или сцинтилляционный), количество которого пропорционально энергии падающей частицы. Все электромагнитные калориметры можно разделить на два класса — слоистые (сэмплинговые) и гомогенные [1].

Слоистые калориметры представляют собой сандвич из пассивного вещества-поглотителя, в котором происходит развитие электромагнитного ливня, и активного, регистрирующего прохождение его заряженной компоненты.

Гомогенные калориметры представляют собой однородное прозрачное вещество (свинцовые стекла, кристаллы), в котором происходят развитие электромагнитного ливня и регистрация его электрон-позитронной компоненты.

В данной работе моделируется работа электромагнитного калориметра для регистрации мягких фотонов, который является одновременно слоистым и гомогенным, используется в проекте «Термолизация» ЛФВЭ, г. Дубна, Россия на установке СВД-2.

Структура калориметра представлена на рисунке 1. Он состоит из следующих частей.

1. Центральная область. Она представляет собой матрицу  $7 \times 7 = 49$  ВГО сцинтилляторов сечением  $30 \times 30 \text{ мм}^2$  каждый и длиной 180 мм (что составляет 16 радиационных длин). При энергии фотона 20 МэВ (радиус Молиера 2.3 см) ливень, создаваемый квантом распространится на 2–3 соседних элемента, что даёт дополнительную информацию для его идентификации и определения координаты попадания в спектрометр.

2. Охранная область. Она создаётся из пластических сцинтилляторов. Сцинтилляторы со всех сторон окружают центральную область. Сигналы охранной области включены на антисовпадение с сигналами центральной области (ВГО).

Задняя плоскость калориметра представляет собой шашлык, из шести 4-мм слоев пластикового сцинтиллятора и 5 слоев свинца по 5 мм.

3. Пассивная радиационная защита. Калориметр со всех сторон, кроме входной апертуры, окружён свинцовыми пластинами толщиной 3 см (5,5 рад. длин). Это должно снизить фоновую загрузку прибора.

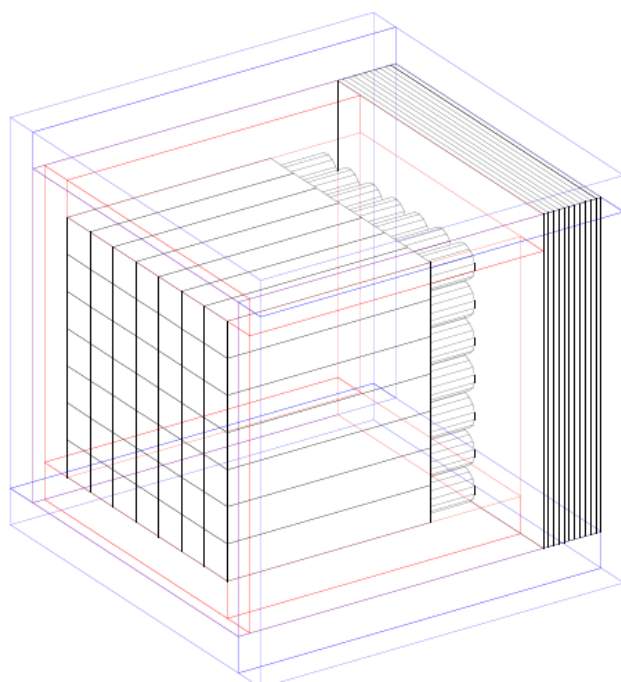


Рисунок 1 – Вид ЭМК мягких фотонов

В таблице приведены временные характеристики некоторых сцинтилляторов.

|  | BC408 | BGO          | CsI(Tl)         |
|--|-------|--------------|-----------------|
| Время нарастания Сигнала, нс           | 0,6   | 3-4          | 40-45           |
| Постоянная спада Сигнала, нс           | 2,4   | 60/300(1/6 ) | 600/3500(20/1 ) |
| Световыход (фотон/МэВ)/10 <sup>3</sup> | 10    | 9-10         | 50              |

Моделирование проводилась с помощью пакета прохождения частиц через вещество Geant4.9.5. В центр каждого кристалла запускался пучок  $\gamma$ -квантов с энергиями 4, 6, 10, 20, 50, 100, 200, 300 МэВ.

На рисунке 2 представлено энергетическое разрешения ЭМК в зависимости от энергии падающего фотона. Из которого видно, что при увеличении энергии налетающего фотона энергетическое разрешение улучшается.

## Energy resolution

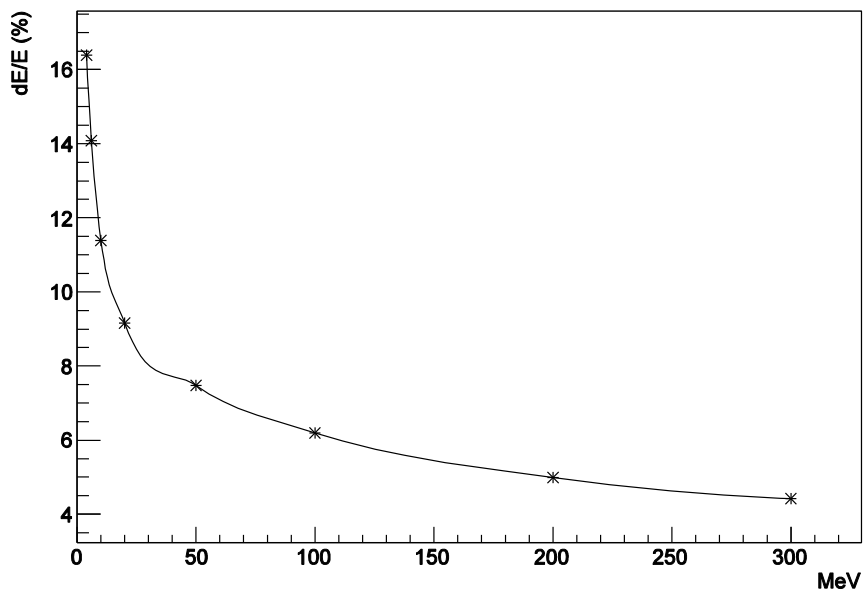


Рисунок 2 – Энергетическое разрешение ЭМК в зависимости от энергии падающего фотона

Также в данной работе было установлено что в области  $3 \times 3$  кристалла выделяется 95 % энергии налетающего фотона.

## Литература

1. В глубь материи: Физика XXI века глазами создателей экспериментального комплекса на Большом адронном коллайдере в Женеве. – М.:Этерна, 2009. – 576 с.

**Ю. В. Самойленко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.В. Андреев**, к.ф.-м.н., доцент

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ СПОСОБОМ ЭКРАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ В ПАКЕТЕ GEANT4

Программный комплекс Geant4 моделирования взаимодействия излучения с веществом методом Монте-Карло, разрабатывается с 1994 года международной коллаборацией под эгидой ЦЕРН [1,2]. Задуманный, прежде всего, как средство моделирования детекторов в физике высоких энергий, он, благодаря своей объектно-ориентированной архитектуре, усилиями интернационального коллектива разработчиков, координируемого ЦЕРН через Internet, превратился в мульти дисциплинарный



инструмент, который находит применение, например, в задачах астрофизики, нейтронной и медицинской физики.

В наш век существует множество источников радиационного излучения, и защита от них является важным аспектом сохранения здоровья человека.

В данной работе предлагается использовать пакет Geant4 для создания программного комплекса расчета радиационной защиты способом экранирования.

Основными источниками получения дозы являются [3]:

- естественная радиоактивность;
- антропогенные источники ионизирующего излучения.

Основными способами защиты от ионизирующих излучений являются:

- защита расстоянием;
- защита временем;
- защита экранированием:
  - от альфа-излучения — лист бумаги, резиновые перчатки;
  - от бета-излучения — плексиглас, тонкий слой алюминия, стекло;
  - от гамма-излучения — тяжёлые металлы (вольфрам, свинец, сталь, чугун и пр.);
  - от нейтронов — вода, полиэтилен, другие полимеры;

В работе предлагается создание оригинального программного пакета, в который будет включено:

- графический интерфейс, содержащий следующие пункты
  - выбор типа и энергии излучения
  - выбор источника излучения
  - выбор материала и толщины экрана
- модель: представляющую собой исследуемый образец облучаемый заданным излучением, далее за ним располагается биологическая ткань, а за ней кремниевая пластина толщиной 1 см. Со всех частей модели имеется возможность считывания поглощённой энергии
- архив: позволяющий сохранять спектры поглощённой энергии.

Подобный программный продукт с использованием Geant4 существенно упрощает решение следующих задач: численного расчета радиационной защиты от ионизирующего излучения, определения экспозиционной дозы полученной тканью при экранировании определённым материалом или без экранирования. А также позволяет ознакомиться с основами взаимодействия частиц с веществом, излучения радионуклидов и принципами детектирования частиц. Данный программный комплекс можно использовать без глубоких знаний языка программирования C++, что позволяет работать с ним различным группам пользователей.

## Литература

1. The RD44 Collaboration. CERN/LHCC 98-44, LCB Status Report, 30 November 1998.
2. M.G. Pia. The Geant4 Object Oriented Simulation Toolkit. // Proc. of the EPS-HEP99 Conference, Tampere, 1999.
3. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: уч. пособие в 3-х частях.
4. Часть 3. / С.В. Дорожко, В.Т. Пустовит, Г.И. Морзак – Минск: Технопринт, 2003. – 209 с.

**Ф.Г. Самуха (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. Е.А. Дей, к.ф.-м.н., доцент

### **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

Квантовая механика — один из самых важных разделов физики. Её изучение необходимо для понимания и исследования физических свойств атомных ядер, атомов, молекул, а также явлений, происходящих в биологии, астрофизике и др. Задачи квантовой механики сводятся к решению уравнения Шрёдингера, которое в одномерном случае имеет вид [1, 2]

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x). \quad (1)$$

При изучении стационарных квантовых состояний решением уравнения для данного потенциала является волновая функция  $\psi$  и значение энергии состояния  $E$ .

Наша программа была создана с целью графического изображения решения задач квантовой механики на примере гармонического осциллятора с потенциалом

$$U(x) = \frac{m\omega^2 x^2}{2}. \quad (2)$$

В этом случае уравнение Шрёдингера в безразмерных переменных [2]

$$x' = \sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}} x, \quad E' = \frac{2E}{\hbar\omega} \quad (3)$$

имеет вид:

$$\left( \frac{d^2}{dx'^2} - x'^2 + E' \right) \psi(x') = 0, \quad (4)$$

где  $x'$  и  $E'$  – безразмерные значения координат и уровня энергии.

Теоретическое решение уравнения (4) (штрихи далее опущены) [2]

$$\psi_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2^n \sqrt{\pi}}} H_n(x) \exp(-x^2 / 2); \quad E_n = 2n + 1, \quad (5)$$

где  $H_n(x)$  — полиномы Эрмита, для которых известно рекуррентное соотношение [3]:

$$H_{n+1}(x) = 2xH_n(x) - 2nH_{n-1}(x); \quad H_0(x) = 1, \quad H_1(x) = 2x. \quad (6)$$

Программа была создана в среде визуального программирования Delphi на основе формул решения уравнения Шрёдингера для гармонического осциллятора (5) и (6). Входными параметрами являются выбор границ интервала и номер состояния. Выходными параметрами являются значение энергии в безразмерных величинах и графическое отображения  $\psi$  — функции и уровня энергии  $E$ .

Так как физический смысл имеет не сама функция, а квадрат её модуля, то есть, плотность вероятности, в программе дополнительно предусмотрен выбор построения графика между самой функцией  $\psi$  и квадратом её модуля.

На рисунке 1 представлен пример использования программы. На графике выведены вид  $\psi$ -функции и энергетический уровень для четвертого состояния в безразмерных переменных.

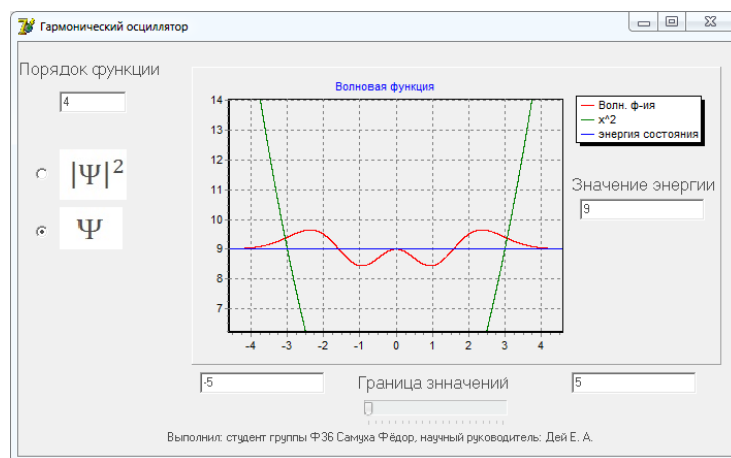


Рисунок 1 – Вид программы при введённых параметрах

Эта программа поможет графически анализировать решения уравнений квантовой механики. В дальнейшем планируется реализовать в программе графическое построение решения уравнения Шрёдингера для атома водорода, которое выражается через полиномы Лагерра.

### Литература

1. Ландау, Л. Д. Квантовая механика, нерелятивистская теория / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц / М. : Наука, 1989. – Т. 3. – 468 с.
2. Давыдов, А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов, М.: Наука – 1973. – 703 с.

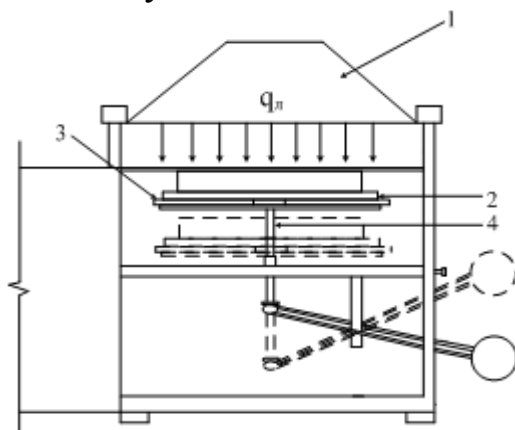
3. Абрамовиц, М. Справочник по специальным функциям / М. Абрамовиц, И. Стиган / М.: Наука, 1979. – С. 579–588.

**А.В. Станчик<sup>1</sup>, П.Н. Гоман<sup>2</sup> (1УО «БГПУ им. М.Танка», Минск;  
2ГУО «КИИ» МЧС Республики Беларусь, Минск)**

Науч. рук. **В.Р. Соболев**, д.ф.-м.н., профессор

## **АДАПТАЦИЯ ПОТОКА РАДИАЦИИ ОТ ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ФОРМЕ УСЕЧЕННОГО КОНУСА К СФЕРИЧЕСКОМУ ИСТОЧНИКУ**

В Командно-инженерном институте МЧС используется лабораторная установка, предназначенная для определения параметров воспламеняемости материалов, которая позволяет выявлять распределение температуры по толщине слоя облучаемой пробы при воздействии потока энергии (рисунок 1). Источник, излучающий энергетический поток, имеет форму усеченного конуса.



- 1 – конический излучатель; 2 – защитная плита с отверстием в центре  $d=150$  мм, 3 – кольцо из асбеста для расположения образца;  
4 – асбестоцементный лист

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для моделирования воздействия интенсивных энергетических потоков

Конструктивно в излучателе расположены электрические спирали, что обеспечивает требуемый уровень лучистого потока в отверстии защитной плиты диаметром 150 мм. Проба располагается на асбестоцементном листе толщиной 10 мм, который находится на держателе, установленном на подвижной платформе, позволяющей вводить образец в зону разогрева и извлекать его из нее.

Следует отметить, что представленная конфигурация излучателя не является идеальной с точки зрения создания интенсивного потока энергии с

высокой однородностью в значительной области рабочей зоны. С этой целью было исследовано пространственное распределение экспонируемой интенсивности лучистого потока методом регистрации уровня прогрева опорного асбестоцементного листа. Результаты эксперимента сопоставлены с данными расчета для источника в виде полусферы, выявлены условия адекватности представления падающего потока аналитическим выражениям для полусферического излучателя (рисунок 2).

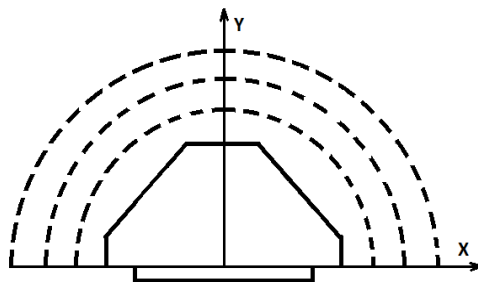


Рисунок 2 – Схема излучающей конической панели установки и вид полусферических излучателей при расчете

Пространственное распределение температуры по верхней грани асбестоцементного листа-подложки установлено с применением термопарного измерителя-регулятора типа «Сосна-003», чувствительные элементы которого были позиционированы вдоль радиуса. При известной плотности потока излучения распределение температурного поля было преобразовано в значения локальной плотности потока (рисунок 3). Следуя эксперименту плотность потока ослабляется при перемещении в периферийную область рабочей зоны и особенно резкое уменьшение начинается при удалении на 4 см.

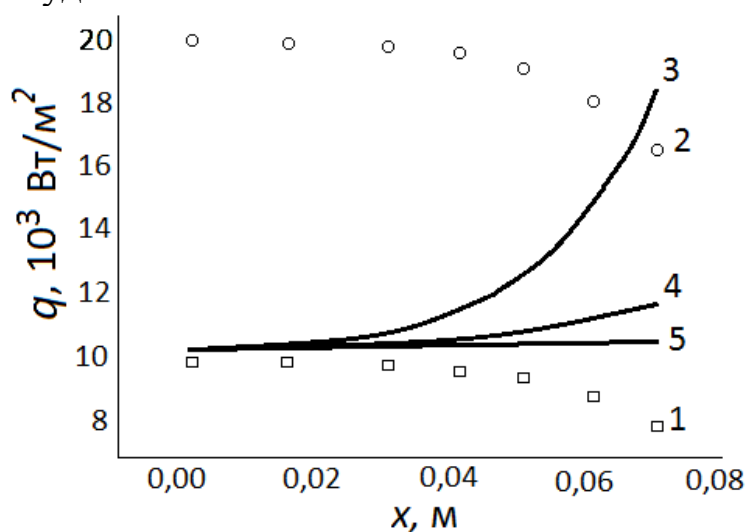


Рисунок 3 – Распределение плотности потока лучистой энергии ( $q$ ) по данным эксперимента для  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>: 10 (1), 20 (2) и расчета для полусферического источника для  $R$ , м: 0,10 (3), 0,16 (4), 0,32 (5) при энергетической яркости  $B=1100$  Вт/м<sup>2</sup>

Результаты эксперимента сопоставлены с расчетом возможного распределения энергетической освещенности от полусферической излучающей поверхности в приближении Ламбертовского источника. Для области внутри полусферы использовано выражение для нормальной компоненты локальной плотности энергии [3].

$$q = B \frac{2\pi R^4}{R^2 + x^2} \left[ \frac{1}{b^2} \left( \frac{1}{\sqrt{1-b^2}} - 1 \right) + \frac{2x^2}{R^2 + x^2} \left( \frac{1}{b^2 \sqrt{1-b^2}} + \frac{2}{b^4 \sqrt{1-b^2}} - \frac{2}{b^4} \right) \right], \quad b = \frac{2xR}{R^2 + x^2} \quad (1)$$

где  $R$  – радиус полусферы,  $x$  – смещение по радиусу от центра.

Расчет показывает, что при заданном уровне энергетической яркости значение энергетической освещенности изменяется в зависимости от  $x$  от минимального значения в сторону увеличения (рисунок 3). При этом область однородности потока расширяется с увеличением радиуса модельной излучающей полусферы. Приближение полусферического источника, отвечает реальному распределению и за счет радиуса можно расширить область однородности потока.

Таким образом, достаточно хорошее соответствие распределения радиационного поля лабораторной установки расчетному выражению позволяет расширить область задач по выявлению тепловых свойств и термической устойчивости материалов при действии тепловых фронтов больших сечений.

### Литература

1. Бельцова, Т.Г. Показатели воспламеняемости огнезащищенной древесины/ Т.Г. Бельцова, О.Н. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – № 4. – С. 31–33.
2. Гоман, П.Н. О распределении мощности радиационного излучателя в форме полусферы / П.Н. Гоман, А.В. Станчик // V Машеровские чтения: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Витебск, 21–23 сент. 2011 г. / Витебский гос. ун-т им. П.М. Машерова; редкол.: А.П. Солодков [и др.]. – Витебск, 2011. – С. 6–7.
3. Станчик, А. В. О пространственном распределении лучистого потока от сферического ламбертовского источника / А.В. Станчик // I Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники», 17 апреля 2012 г.: [материалы]: в 2 ч. Ч. 1 / редкол. : А. В. Рогачев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – 248 с.

**В.С. Судаков (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **Е.В. Комракова**, ассистент

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ**

Экстремальные условия работы элементов современных конструкций, сложность их формы и большие габариты делают исключительно трудным и дорогим осуществление натурального или полунатурного эксперимента, особенно, если речь идет об установлении предельных (разрушающих) нагрузок. Создание конструкций такого типа невозможно без совершенствования и автоматизации процесса проектирования, применения новых материалов и технологий.

В основе любого расчета на прочность лежит расчетная схема, включающая в себя геометрию конструкции и действующие на нее нагрузки. Естественно, что при создании расчетной схемы сложной конструкции прибегают к некоторой идеализации ее формы, при этом степень этой идеализации влияет на достоверность результатов расчета.

Компьютеры позволяют выполнять такие расчеты при помощи приближенных численных методов. Методы конечных элементов (МКЭ) и конечных разностей (МКР) являются одними из них. В последние десятилетия эти методы заняли ведущее положение и получили широкое применение. Множество программных продуктов, ориентированных на прочностные расчёты, разработаны на основе именно этих методов.

В данной работе рассмотрен расчет моста с помощью метода конечных элементов [1].

Для упрощения расчетов мост рассматривался как совокупность балочных элементов. Нижние и боковые крайние узлы конструкции жестко закреплены. К мосту приложены распределенные силы. Методика вычислений деформаций узлов реализована на языке высокого уровня C#.

К достоинству разработанного программного продукта можно отнести наглядность: модули имеют понятные названия и структуру, присутствуют комментарии. Это в свою очередь, позволяет данную работу адаптировать для решения другой задачи, в достаточно короткий промежуток времени.

Проводились расчеты деформации моста при разных режимах движения автотранспорта по нему: движение грузового транспорта, движение легкового транспорта. Исходя из полученных результатов можно

выработать рекомендации по допустимой плотности потока автомобилей, а также по максимально допустимой нагрузке на ось автомобиля.

Была проведена проверка проделанных вычислений, путем сравнения результатов деформации с результатами получаемых с помощью программного комплекса ANSYS [2]. Погрешность полученных результатов не превышает 3 %.

### Литература

1. Зенкевич О.С., Метод конечных элементов в технике / О.С. Зенкевич – М.: МИР, 1975 – 542 с.
2. Каплун А.Б., Ansys в руках инженера: Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева – М.: Едиториал УРСС, 2003, – 272 с.

**Ив.А. Фаняев (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.П. Кудин**, д.т.н., профессор

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ХАЛЛЕНА И ПОКЛИНГТОНА В ПРИБЛИЖЕНИИ ОСЕВОГО ТОКА И С ТОЧНЫМ ЯДРОМ

Расчет электрических вибраторов основан, как правило, на решении интегральных и интегро-дифференциальных уравнений для распределения тока на вибраторе. Основным математическим аппаратом, применяемым при моделировании электромагнитных процессов в электрическом вибраторе, являются интегро-дифференциальное уравнение Поклингтона [1] и интегральное уравнение Халлена [1]. Самым распространенным методом решения таких уравнений является метод моментов и его модификации, которые определяются выбором базисных и весовых функций.

На практике особый интерес представляет случай тонкого вибратора, для которого справедливы соотношения  $a \ll l$ ,  $a \ll \lambda$ , где  $a$  – радиус проводника,  $l$  – длина проводника,  $\lambda$  – длина волны. При соблюдении этих условий, учитывая осевую симметрию вибратора, а также пренебрегая азимутальной компонентой электрического тока на проводнике, можем записать интегро-дифференциальное уравнение Поклингтона:

$$\left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) \int_{-l}^l I(z') K(z, z') dz' = -i \frac{k}{120\pi} E_z^{na0}(z), \quad (1)$$

где  $I(z')$  – осевой ток;  $k$  – волновое число;  $K(z, z') = \frac{1}{4\pi} \frac{e^{-ik\sqrt{(z-z')^2 + a^2}}}{\sqrt{(z-z')^2 + a^2}}$  – приближенное ядро.



При этом возбуждение проводника производится сосредоточенным источником напряжения  $E_z^{nao}(z) = V \delta(z)$ , где  $\delta$  – функция Дирака,  $V$  – напряжение источника.

Из (1) обращение дифференциального оператора приводит к интегральному уравнению Халлена:

$$\int_{-l}^l K(z, z') I(z') dz' = C \cos(kz) + B \sin(kz) - \frac{i}{120\pi} \int_0^z E_z^{nao}(\xi) \sin(z - \xi) d\xi, \quad (2)$$

где  $C$  и  $B$  – произвольные константы, определяемые в процессе численного решения интегрального уравнения.

При численном решении уравнения (1) использовался метод Галеркина. В качестве базисных и весовых функций были взяты кусочно-синусоидальные. При решении же уравнения (2) использовался метод сшивания в точках. В качестве базисных функций использовались также кусочно-синусоидальные. При таком выборе функций решения двух уравнений получаются одинаковые [2]. Результаты расчета осевого тока на полуволновом вибраторе совпадают с машинной точностью при любом количестве базисных функций и при любом значении радиуса вибратора.

При использовании в качестве источника возбуждения падающей волны  $E_z^{nao}(z)$  имеет вид:

$$E_z^{nao}(z) = E_0 \sin(\theta) e^{-ikz \cos(\theta)}, \quad (3)$$

где  $E_0$  – амплитуда напряженности электрического поля падающей волны;  $\theta$  – угол падения волны на тонкий вибратор.

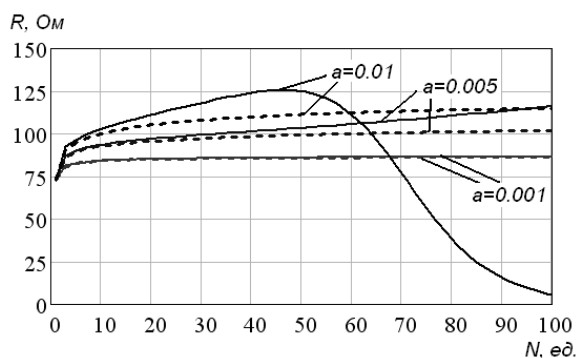
Решения уравнений Поклингтона и Халлена с падающей волной проводилось теми же методами, что описаны ранее. Результаты расчета осевого тока на полуволновом вибраторе также совпадают с машинной точностью.

Исследовались также решения уравнений Поклингтона и Халлена в случае точного ядра:

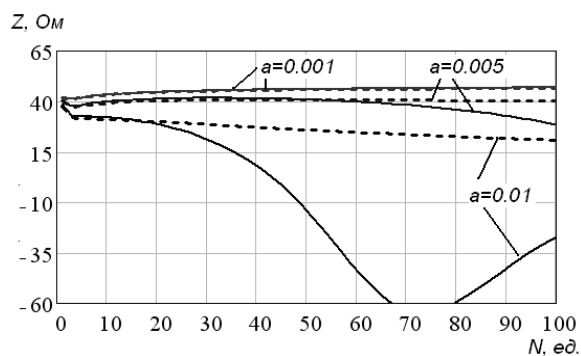
$$K(z, z', \varphi) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{-ik \sqrt{(z-z')^2 + 4a^2 \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}}}{\sqrt{(z-z')^2 + 4a^2 \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}} d\varphi. \quad (5)$$

Решение уравнения (2) с учетом (5) сводится к ядру с логарифмической особенностью, выделив которую, можно численно решить уравнение при любом источнике возбуждения.

На рисунке 1 представлены расчеты уравнения Халлена с приближенным и точным ядром при питании сосредоточенным источником напряжения в 1 вольт при различных радиусах проводника. Пунктирными линиями обозначены кривые для приближенного ядра, а сплошными – для точного ядра ( $a$  выражено в метрах).



а)

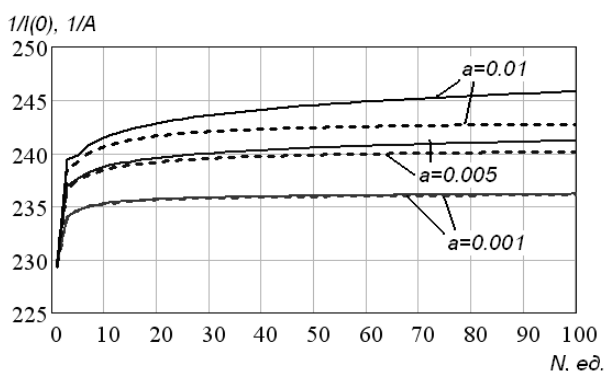


б)

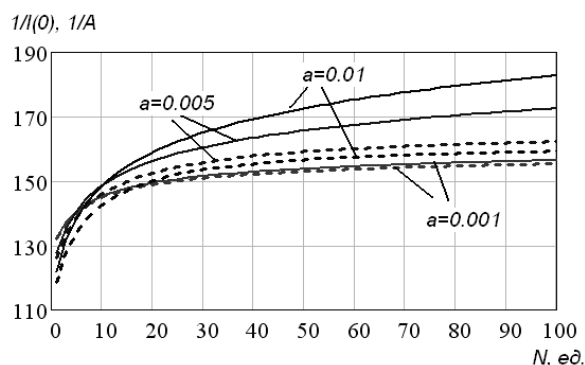
Рисунок 1 – Зависимость входного сопротивления от числа базисных функций: а) действительная часть, б) мнимая часть

Во многих случаях первостепенное значение имеет даже не абсолютное значение входного сопротивления, а характер его изменения. Поэтому можно ограничиться некоторым сошедшимся решением, отказавшись от точного определения входного сопротивления вибратора.

На рисунке 2 представлены графики зависимости обратной величины тока от числа базисных функций при решении уравнения Халлена и возбуждении в виде падающей волны.



а)



б)

Рисунок 2 – Обратная величина тока на полуволновом вибраторе в точке  $z$  равно нулю при возбуждении плоской волной:

а) действительная часть, б) мнимая часть

В результате, при подобном выборе базисных и весовых функций, решения уравнений Поклингтона и Халлена дают одинаковый ответ либо при возбуждении источником напряжения, либо падающей волной. Сравнительный анализ результатов решения интегрального уравнения Халлена с приближенным и точным ядром дает оценку и границы применимости подобного приближения. При любом источнике возбуждения

для численного решения достаточно порядка 20 базисных функций. Радиус проводника не должен превышать 0,01 длины волны.

Так как решения интегрального уравнения Халлена и интегродифференциального уравнения Поклингтона при специальном выборе проекционных функций совпадают, то полученные ограничения на численное решение уравнения Халлена справедливы и для решения уравнения Поклингтона.

### Литература

1. Митра, Р. Вычислительные методы в электродинамике / Р. Митра; пер. с англ. под ред. Э.Л. Бурштейна. – М.: Мир, 1977.

2. Butler, C. M., Wilton, D. R. Analysis of numerical applied to thin-wire scatterers / C. M. Butler, D. R. Wilton. // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 1975. – Vol. 23, No. 4. – P. 534–540.

**Иг.А. Фаняев (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **И.В. Семченко**, д.ф.-м.н., профессор

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ОГИБАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

Исследование скрытия объектов от электромагнитных полей, распространяющихся в свободном месте, пробудило большой интерес после опубликованных работ Greenleaf и др. [1], Leonhardt [2], Pendry и др. [3]. В частности, активно развиваются методы скрытия объектов цилиндрической формы в различных диапазонах частот [4].

Используя метод конечных элементов, проведено моделирование рассеяния плоской электромагнитной волны на цилиндре, окруженном прямолинейными металлическими проводниками. Данная структура исследуется в диапазоне частот 2,85-3,55 ГГц. Вектор напряженности электрического поля параллелен оси цилиндра.

В процессе исследования были найдены оптимальные параметры структуры в исследуемом диапазоне частот. Параметры структуры являются следующими:

$$r=77,5 \text{ мм}; R=91 \text{ мм}; h=36 \text{ мм}; l=30 \text{ мм}; r_0=0,5 \text{ мм}; N= 30,$$

где  $r$  – радиус цилиндра,  $R$  – радиус структуры,  $h$  – толщина одного слоя структуры,  $l$  – длина проводника,  $r_0$  – радиус проводника,  $N$  – количество проводников в одном слое структуры.

На рисунке 1а показана геометрия структуры, состоящей из 4 слоев

медных проводников, расположенных симметрично и однородно относительно скрываемого объекта.

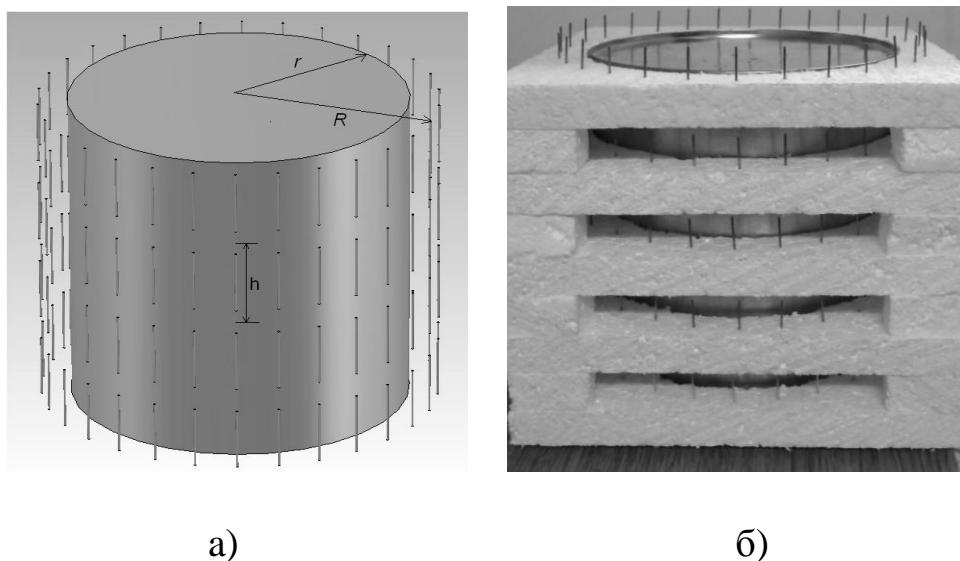


Рисунок 1 – Геометрия искусственной структуры:  
а) в моделировании, б) в эксперименте

На рисунке 2 показано рассеяние плоской электромагнитной волны на цилиндре и цилиндре с искусственной структурой.

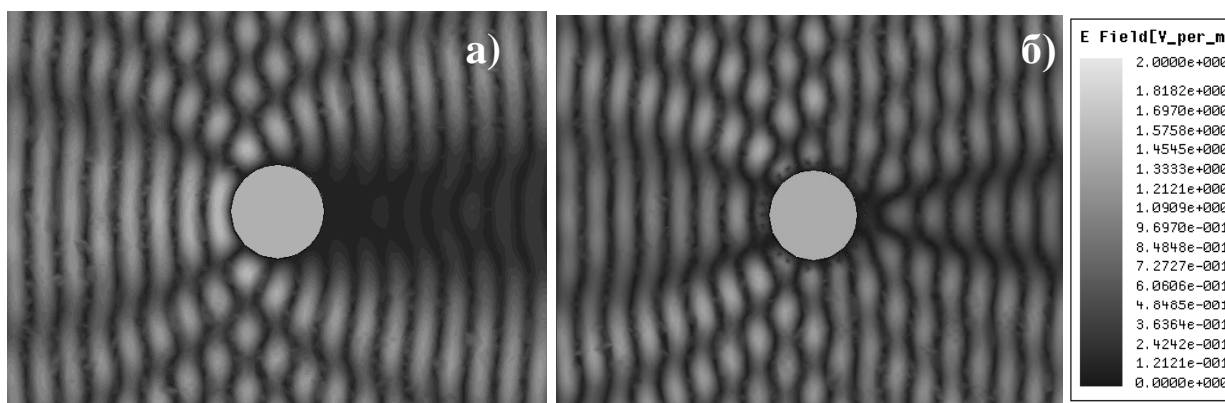


Рисунок 2 – Распределение напряженности электрического поля на частоте 3,1 ГГц:  
а) металлический цилиндр без искусственной структуры;  
б) металлический цилиндр, окруженный искусственной структурой на основе не резонансных проводников

Из рисунка 2б следует, что плоский фронт волны за цилиндром с искусственной структурой на частоте 3,1 ГГц восстанавливается, при этом рассеяние волны уменьшается.

На основании полученных результатов был изготовлен образец искусственной структуры, состоящий из 4 слоев прямолинейных проводников и цилиндра высотой 17 см (рисунок 1б). В качестве крепления проводников в структуре использовался пенопласт, так как он является радиопрозрачным и не влияет на результаты измерений. Экспериментальные исследования были проведены в безэховой камере. Измерения мощности сигнала проводились с помощью рупорной антенны, находящейся за структурой на расстоянии 30 см. В моделировании интенсивность электрического поля измерялась на плоскости, расположенной на расстоянии 30 см от края цилиндра. Площадь плоскости в моделировании равна площади раскрыва приемной рупорной антенны в эксперименте.

На рисунке 3 представлен график частотной зависимости нормированной интенсивности прошедшей волны за цилиндром с прямолинейными проводниками и за цилиндром без покрытия.

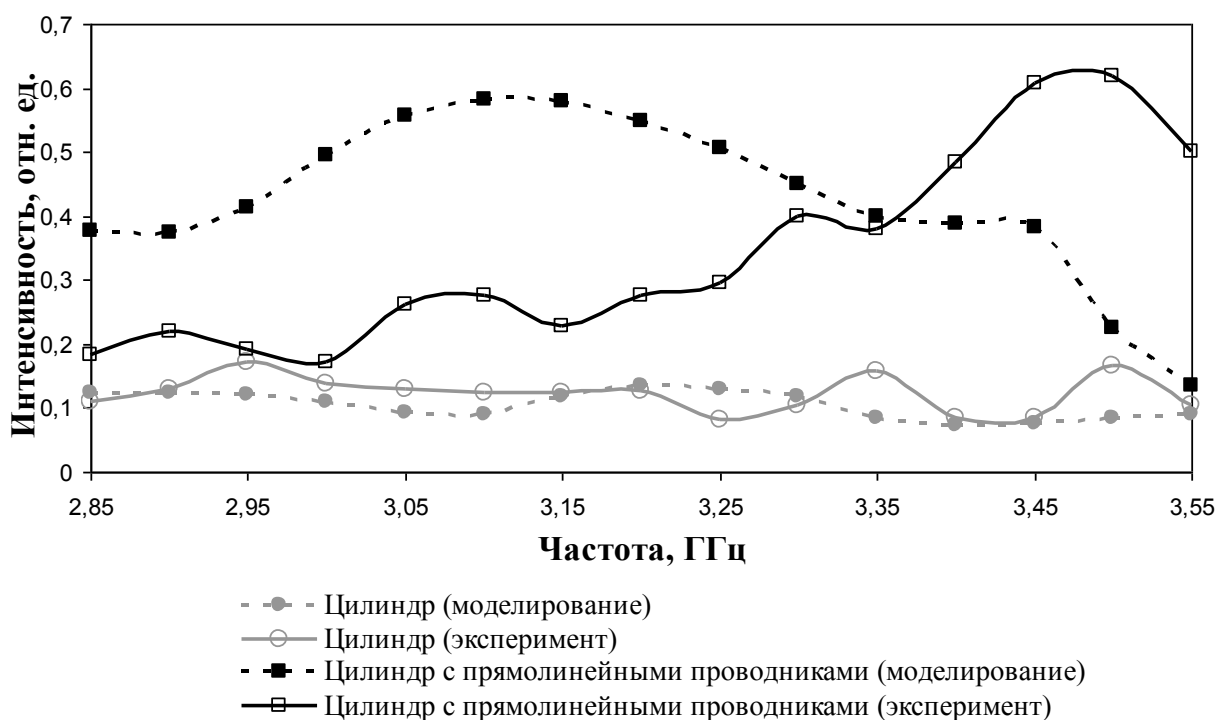


Рисунок 3 – График частотной зависимости интенсивности прошедшей волны относительно падающей

Как следует из моделирования, интенсивность прошедшей волны для искусственного образца на частоте 3,1 ГГц значительно превышает интенсивность за цилиндром без покрытия. При этом интенсивность волны за цилиндром, окруженным искусственной структурой, на 53 % больше, чем для цилиндра без покрытия. Так как прямолинейные проводники являются не резонансными, то восстановление волнового фронта наблюдается в широком диапазоне частот от 3 ГГц до 3,25 ГГц.

Из экспериментальной кривой следует, что максимум интенсивность волны за цилиндром с проводниками наблюдается в диапазоне частот от 3,4 до 3,55 ГГц.

### Литература

1. Greenleaf, A. On nonuniqueness for Calderon's inverse problem / A. Greenleaf, M. Lassas, G. Uhlmann // *Math. Res. Lett.* – 2003. – Vol. 10, No. 5–6. – pp. 685–693.
2. Leonhardt, U. Optical conformal mapping *Science.* – 2006. – Vol. 312. – pp. 1777–1780.
3. Pendry, J.B. Controlling electromagnetic fields / J.B. Pendry, D. Schurig and D.R. Smith // *Science.* – 2006. – Vol. 312. – pp. 1780–1782.
4. Wang, X. Implementation of Low Scattering Microwave Cloaking by All-Dielectric Metamaterials / Xiaohui Wang, Chen Fang, Elena Semouchkina // *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE.* – 2013. – Vol. 23. – pp. 63–65.

**С.И. Фиалка (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.Н. Капшай**, к.ф.-м.н., доцент

### РЕЗОНАНСНОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОХОЖДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ В СЛУЧАЕ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ДИРАКА

В данной работе рассмотрено решение стационарной задачи о рассеянии частицы, описываемой одномерным уравнением Дирака, часто используемым в физике твердого тела, на ступенчатом потенциале. Ковариантная форма этого уравнения для свободной частицы имеет вид [1]

$$\left( \hbar \gamma^\mu \partial_\mu - mc \right) \tilde{\Psi} = 0. \quad (1)$$

Одномерное свободное уравнение Дирака получается из (1) в результате замены гамма-матриц на матрицы Паули, а именно:  $\gamma^0 \rightarrow \sigma_z$  и  $\gamma^0 \vec{\gamma} \rightarrow \sigma_x$  [2]. Инвариантность уравнения Дирака относительно локальных калибровочных преобразований позволяет получить волновое уравнение для частицы в заданном внешнем электромагнитном поле [1]. Аналогичное одномерное уравнение Дирака для частицы во внешнем скалярном поле будет иметь вид ( $\hbar = c = 1$ )

$$i \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, x) = \left( i \sigma_x \frac{\partial}{\partial x} + m \sigma_z + V(x) \right) \Psi(t, x), \quad (3)$$

где  $\Psi(t, x)$  – двухкомпонентная волновая функция. Стационарное уравнение получается в результате замены  $\Psi(t, x) \rightarrow \exp(-iEt)\psi(x)$ :

$$E\psi(x) = \left\{ i\sigma_x \frac{\partial}{\partial x} + m\sigma_z + V(x) \right\} \psi(x). \quad (4)$$

Разложим спинор  $\psi(x)$  на верхнюю  $u(x)$  и нижнюю  $v(x)$  компоненты:

$$\psi(x) = \begin{pmatrix} u(x) \\ v(x) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

тогда из уравнения (4) получаем систему дифференциальных уравнений для компонент спинора

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} u(x) - i(E - V(x) + m)v(x) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial x} v(x) - i(E - V(x) - m)u(x) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

В области изменения переменной  $x$ , в которой  $V(x) = V = const$ , исключая из системы уравнений (6) функцию  $v(x)$  и вводя обозначение  $\beta^2 = (E - V)^2 - m^2$ , получим обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка для функции  $u(x)$ :

$$u''(x) + \beta^2 u(x) = 0, \quad (7)$$

решение которого есть

$$u(x) = ae^{i\beta x} + be^{-i\beta x}. \quad (8)$$

Выразив затем из первого уравнения системы (6)  $v(x)$ , получим

$$v(x) = \frac{\beta}{E - V + m} (e^{i\beta x} - be^{-i\beta x}). \quad (9)$$

Уравнение (3), вместе с аналогичным уравнением для эрмитово-сопряженной функции  $\Psi^+(t, x)$ , приводят к уравнению непрерывности, из которого следует выражение для тока

$$j = \Psi^+(t, x) \sigma_x \Psi(t, x) = \frac{2\beta}{E - V + m} |a|^2 - \frac{2\beta}{E - V + m} |b|^2. \quad (10)$$

Рассмотрим случай, когда частица движется из  $x \rightarrow -\infty$  и в начале координат встречает ступенчатое потенциальное поле вида

$$V(x) = \begin{cases} 0, & x < -x_2 \vee x > x_2 & \text{(область I и V);} \\ V_2, & -x_2 \leq x \leq x_1 \vee x_1 \leq x \leq x_2 & \text{(область II и IV);} \\ -V_1, & -x_1 < x < x_1 & \text{(область III).} \end{cases} \quad (11)$$

Ток (10) в области (V) должен содержать только положительный член, поэтому функции  $u(x)$  и  $v(x)$ , согласно (8) и (9), будут иметь вид:

$$u(x) = \begin{cases} a_1 e^{i\beta_3 x} + b_1 e^{-i\beta_3 x}; \\ a_2 e^{i\beta_2 x} + b_2 e^{-i\beta_2 x}; \\ a_3 e^{i\beta_1 x} + b_3 e^{-i\beta_1 x}; \\ a_4 e^{i\beta_2 x} + b_4 e^{-i\beta_2 x}; \\ a_5 e^{i\beta_3 x}; \end{cases} \quad v(x) = \begin{cases} \frac{\beta_3}{E+m} (a_1 e^{i\beta_3 x} - b_1 e^{-i\beta_3 x}); & \text{(I)} \\ \frac{\beta_2}{E-V_2+m} (a_2 e^{i\beta_2 x} - b_2 e^{-i\beta_2 x}); & \text{(II)} \\ \frac{\beta_1}{E+V_1+m} (a_3 e^{i\beta_1 x} - b_3 e^{-i\beta_1 x}); & \text{(III)} \\ \frac{\beta_2}{E-V_2+m} (a_4 e^{i\beta_2 x} - b_4 e^{-i\beta_2 x}); & \text{(IV)} \\ \frac{\beta_3}{E+m} a_5 e^{i\beta_3 x}; & \text{(V)}, \end{cases} \quad (12)$$

где  $\beta_1^2 = (E + V_1)^2 - m^2$ ,  $\beta_2^2 = (E - V_2)^2 - m^2$ ,  $\beta_3^2 = E^2 - m^2$ . Из (10) и (12) получим токи  $j_L$  (при  $x < -x_2$ ) и  $j_R$  (при  $x > x_2$ ):

$$j_L = j_{inc} - j_{ref} = \frac{2\beta}{E+m} |a_1|^2 - \frac{2\beta}{E+m} |b_1|^2; \quad j_R = j_{tr} = \frac{2\beta}{E+m} |a_5|^2. \quad (13)$$

Из стационарного характера задачи следует, что  $j_L = j_R$ , следовательно, для коэффициентов отражения и прохождения получим

$$R = \frac{j_{ref}}{j_{inc}} = \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2}; \quad T = \frac{j_{tr}}{j_{inc}} = \frac{|a_5|^2}{|a_1|^2} = 1 - R = 1 - \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2}. \quad (14)$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  были найдены нами из условий непрерывности функций  $u(x)$  и  $v(x)$  в точках скачка потенциала [1]. Вводя обозначения  $\alpha_1 = \frac{E+m-V_2}{E+m}$ ,  $\alpha_2 = \frac{E+m+V_1}{E+m-V_2}$ , коэффициент прохождения получим в виде

$$T = 1 - \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2} = 1 - |C_1|^2, \quad (15)$$

где

$$C_1 = \frac{e^{-2ix_2\beta_3} \left( e^{-2ix_2\beta_2} (\beta_3\alpha_1 - \beta_2) + C_2 (\beta_3\alpha_1 + \beta_2) \right)}{e^{-2ix_2\beta_2} (\beta_3\alpha_1 + \beta_2) + C_2 (\beta_3\alpha_1 - \beta_2)}; \quad C_2 = \frac{e^{-2ix_1\beta_2} \left( e^{-2ix_1\beta_1} (\beta_2\alpha_2 - \beta_1) + C_3 (\beta_2\alpha_2 + \beta_1) \right)}{e^{-2ix_1\beta_1} (\beta_2\alpha_2 + \beta_1) + C_3 (\beta_2\alpha_2 - \beta_1)};$$

$$C_3 = \frac{e^{2ix_1\beta_1} \left( e^{2ix_1\beta_2} (\beta_1 - \beta_2\alpha_2) + C_4 (\beta_1 + \beta_2\alpha_2) \right)}{e^{2ix_1\beta_2} (\beta_1 + \beta_2\alpha_2) + C_4 (\beta_1 - \beta_2\alpha_2)}; \quad C_4 = \frac{e^{2ix_2\beta_2} (\beta_2 - \beta_3\alpha_1)}{\beta_2 + \beta_3\alpha_1}. \quad (16)$$

На рисунке 1 видно, что наибольший минимум коэффициента прохождения наблюдается когда  $E \approx V_2$ , а при достаточно большой ширине барьеров может наблюдаться полное отражение ( $T = 0$ ). Также коэффициент прохождения имеет максимумы с точками, для которых  $T = 1$ . Эти состояния называют резонансами прозрачности (резонансами) [3].



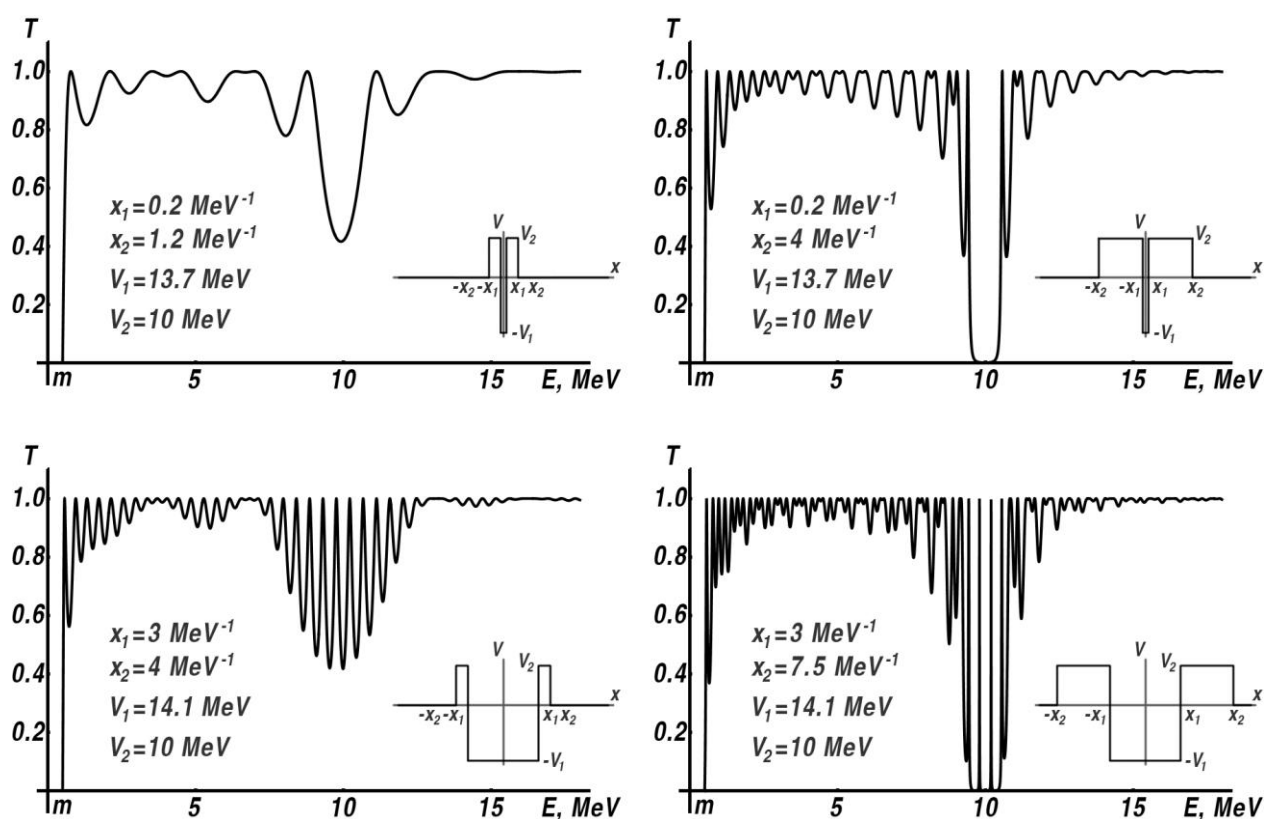


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента прохождения  $T$  от энергии частицы  $E$  для различных параметров потенциала, для  $m = 0.5$  МэВ

### Литература

1. Ахиезер, А.И. Квантовая электродинамика / А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий // М.: Наука – 1981. – 439 с.
2. Kennedy, P. The Woods-Saxon Potential in the Dirac Equation / P. Kennedy // J. Phys. – 2002. – A35, 689, hep-th/0107170
3. Бом, Д. Квантовая теория / Д. Бом – 2-е изд., испр. // М., Наука – 1965. – 727 с.

**Е.В. Фирагина (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, к.ф.-м.н., доцент

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

**Основные положения.** Проблема теоретического исследования распределения плотности вещества внутри небесных тел является одной из актуальнейших задач астрофизики планет [1]. Уравнение равновесия гравитирующего шара имеет вид

$$dP = -g\rho dr . \quad (1)$$

Здесь  $g$  – ускорение силы тяготения, в случае сферической симметрии определяемое формулой

$$g = G \frac{M_r}{r^2} ,$$

где  $G$  – гравитационная постоянная;  $M_r$  – масса, заключенная внутри сферы радиуса  $r$ . Тогда очевидно, что масса задается интегралом

$$M_r = 4\pi \int_0^R \rho r^2 dr . \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получаем

$$\frac{dP}{dr} = -G \frac{M_r}{r^2} \rho .$$

И вводя сюда выражение для  $M_r$ , приходим к уравнению механического равновесия в виде

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( \frac{r^2}{\rho} \frac{dP}{dr} \right) = -4\pi G \rho . \quad (3)$$

Уравнение (3) является одним из основных уравнений теории внутреннего строения планет и звезд. Для его решения необходимо знание функции распределения плотности  $\rho(r)$ .

Понимая тенденцию увеличения плотности в направлении центра шара, для моделирования  $\rho(r)$  используем различные приближения ее поведения. Возможный характер приближения функции  $\rho(r)$ : линейное, экспоненциальное. Применимость полученных результатов будем оценивать на основе наиболее достоверных данных о планете Земля.

**Линейное приближение.** Оценим возможность использования данного приближения. В этом случае  $\rho(r)$  задается выражением

$$\rho(r) = \rho_0 - \alpha r , \quad (4)$$

где  $\rho_0$  – плотность центральной области планеты. Находим коэффициент  $\alpha$  из выражения для линейного приближения

$$\alpha = \frac{\rho_0 - \rho(R)}{R} .$$

Тогда на основе (2) и (4) масса, заключенная внутри шара радиуса  $R$  равна

$$M(R) = 4\pi \int_0^R (\rho_0 - \alpha r) r^2 dr = \frac{4\pi R^3}{3} \left[ \rho_0 - \frac{3\alpha}{4} R \right] .$$

Характеристики планеты Земля:  $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ,  $R_{\oplus} = 6,38 \cdot 10^6 \text{ m}$ ,  $\rho_0 = 15,50 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho(R_{\oplus}) = 3,32 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

Искомый коэффициент оказывается равным  $\alpha = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2$  и, следовательно

$$\rho(r) = (15,5 \cdot 10^3 - 1,91 \cdot 10^{-3} r) \text{ kg} / \text{m}^3 .$$

Вычисление массы дает результат

$$M(R_{\oplus}) = 6,70 \cdot 10^{24} \text{ kg} ,$$

$$M(R_{\oplus}) = 1,057 M_{\oplus} .$$

Полученный результат говорит о том, что отклонение расчетной массы от реальной составляет 5,7 %. Данное отклонение достаточно велико, но позволяет использовать линейное приближение распределения плотности как оценочное.

**Экспоненциальное приближение.** В этом случае функция плотности

$$\rho(r) = \rho_0 e^{-\beta r} , \quad (5)$$

где по-прежнему  $\rho_0$  – плотность центральной области планеты, а  $\beta$  будет равен

$$\beta = \frac{1}{R} \ln \frac{\rho_0}{\rho(R)} .$$

Исходя из (2) и (5), заключенная внутри шара радиуса  $R$  масса оказывается равной

$$M(R) = 4\pi \int_0^R \rho_0 e^{-\beta r} r^2 dr = \frac{4\pi\rho_0}{\beta^3} \gamma(3, \beta R) ,$$

где  $\gamma(3, \beta R)$  – неполная  $\Gamma$ -функция.

Используя приведенные выше данные планеты Земля, находим, что

$$\beta = 24 \cdot 10^{-8} \text{ m}^{-1} .$$

Экспоненциальное приближение распределения плотности приобретает вид

$$\rho(r) = (5 \cdot 10^6 - e^{-(24 \cdot 10^{-8})r}) \text{ kg} / \text{m}^3 .$$

И теперь при вычислении массы получаем, что

$$M(R_{\oplus}) = 22,6 \cdot 10^{24} \text{ kg} ,$$

$$M(R_{\oplus}) = 3,79 M_{\oplus} .$$

Видно, что отклонение расчетной массы от реальной весьма значительно. Поэтому предположение об экспоненциальном распределении плотности внутри планет можно считать неправомерным.

Близость результата при использовании линейного приближения говорит о том, что оно может быть модифицировано в сторону улучшения результата. Например, это можно осуществить введением еще одного дополнительного параметра, что и будет рассматриваться в качестве ближайшей задачи. Кроме того будет исследовано приближение в виде обратной функции.

## Литература

1. Чернин, А. Звезды и физика / А. Чернин. – Москва: Эдиториал УРСС, 2004. – 176 с.

2. Zeilik, M. Astronomy / M. Zeilik. – Cambridge University press, 2002. – 552 с.

3. Соболев, В. Курс теоретической астрофизики / В. Соболев – Москва: Наука, 1985. – 503 с.

**И.Н. Цалко (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **Е.В. Комракова**, ассистент

## **РАСЧЕТ ПЛОСКИХ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

В последние годы проблемам автоматизации проектирования технических устройств уделяют большое внимание все большее количество исследователей. Развитие численных методов оказало влияние на системы автоматизированного проектирования. Среди численных методов, к сожалению, не существует универсального метода, который эффективно бы решал любую задачу. В настоящее время решение каждой задачи требует индивидуального подхода и часто связано с применением нескольких методов.

Среди численных методов решения задач строительной механики, получивших наибольшее распространение, ведущее положение занимает метод конечных элементов (МКЭ) [1]. Его отличает широкая область применения, инвариантность по отношению к геометрии конструкции и физическим характеристикам материалов, относительная простота учета взаимодействия конструкций с окружающей средой (механические, температурные, коррозионные воздействия, граничные условия и т.д.), высокая степень приспособляемости к автоматизации всех этапов расчета.

Результатом проведенной работы является программа, позволяющая выполнять статический расчет плоских балочных конструкций. Количество узлов, которое может иметь конструкция, рассчитываемая по программе, зависит от возможностей компьютера. Для разрабатываемой программы устанавливаются следующие требования: нагрузки могут быть только узловые (при необходимости распределенную по длине стрелы нагрузку несложно преобразовать в узловую).

Алгоритм расчета:

1. Построение матрицы жесткости  $k_j'$  в местной системе координат для некоторой  $j$ -й балки.

2. Преобразование матрицы  $k_j'$  в матрицу жесткости  $i$ -й балки в общей системе координат  $k_i$ .

3. Формирование матрицы жесткости всей конструкции  $K$  (поэлементное суммирование матриц  $k_i$ ).
4. Переход от  $i$ -й к  $(i+1)$ -й балке и повторение всех перечисленных операций.
5. Учет граничных условий.
6. Формирование вектора узловых нагрузок  $P$ .
7. Решение системы уравнений  $KU = P$ .
8. Вычисление внутренних усилий в каждой балке [2].

Для решения поставленной задачи была разработана программа моделирования напряжённо-деформированного состояния конструкции при наличии равномерно распределенной нагрузки. В программе реализован графический интерфейс пользователя. Программа позволяет быстро и эффективно решить поставленную задачу, используя метод конечных элементов. Было проведено сравнение полученных результатов с результатами моделирования в пакетах ANSYS. Погрешность результатов находится в пределах нормы.

Разработанный программный комплекс позволяет быстро рассчитывать перемещения в узлах балочной конструкции. При усовершенствовании программы, возможно ее использование для расчета более сложных задач.

### Литература

1. Зенкевич О.С., Метод конечных элементов в технике / О.С. Зенкевич – М.: МИР, 1975 – 542 с.
2. Каплун А.Б., Ansys в руках инженера: Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева – М.: Едиториал УРСС, 2003, – 272 с.

**Е.А. Цупикова, О.Н. Сапончик (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**  
 Науч. рук. Д.Г. Кроль, к.ф.-м.н., доцент

### ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И УРАВНЕНИЕ СИНОС-ГОРДОНА В ПОЛЕ ВНЕШНЕГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА

Уравнение синус-Гордона

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} - w^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \pm \sin T \quad (1)$$

хорошо известно в теории нелинейных эволюционных уравнений [1]. Точные решения уравнения (1) позволяют моделировать разнообразные физические явления: волны в ферромагнетиках, лазерные импульсы в двухфазной среде, дислокации в кристаллах и др. В данной работе мы рассматриваем волновое уравнение

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} - w^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = k_v(T, t), \quad (2)$$

$$k_v(T, t) = -\sin \left[ \Gamma - T_0 + f(t) \right] + k_1^2 f(t).$$

Физическое истолкование решения дается в терминах теории теплопереноса. Приняты обозначения:  $T$  – температура;  $q$  – удельный тепловой поток;  $t$  – время;  $x$  – декартова координата;  $k_v(T, t)$  – функция, описывающая мощность источников энергии;  $\alpha = x/w$ ;  $w$  – скорость распространения тепловых возмущений; независимая переменная в роли нижнего индекса означает частное дифференцирование по этой переменной. Источниковый член  $k_v(T, t)$  имеет два отличительных признака: (а) отклонение аргумента синуса есть периодическая функция времени,  $f(t) = f_1 \sin k_1 t$ ,  $f_1, k_1 - \text{const}$ ; (б) внешний источник энергии  $k_1^2 f(t)$  имеет амплитуду  $A_1 = f_1 k_1^2$ , пропорциональную квадрату частоты  $k_1^2$ . Функция  $\Theta(\alpha, t) = T - T_0 + f(t)$  удовлетворяет уравнению  $\Theta_{\alpha\alpha} - \Theta_{tt} = \sin \Theta$ . В отсутствие внешнего возбуждения ( $f_1 = 0$ ) периодическое по  $t$  решение уравнения (1) обладает «собственной» частотой  $\sqrt{1 - m^2}$ ,  $0 < m^2 < 1$ . Отношение частот  $h = \sqrt{1 - m^2} / k_1$  является важнейшим параметром задачи.

В докладе представлены результаты исследования уравнения (1) по следующим направлениям: 1) влияние частотного параметра  $h$  на пространственно-временную структуру теплового поля, на его градиентные и гистерезисные свойства; построение трехмерных  $(T_t, T_\alpha, T)$  фазовых портретов системы; 2) когерентность колебаний в системе «среда – реономный источник энергии»; 3) производство энтропии  $\sigma$  в поле внешнего периодического источника и анализ  $(q, \sigma, T)$  фазовых портретов системы. На рисунке 1 представлены два примера нетривиального поведения изучаемой системы.

Прикладные аспекты данной работы связаны с проблемой локально-неравновесного теплопереноса при взрывной кристаллизации аморфных пленок [2, 3].

Данная работа выполнена в рамках госпрограммы «Энергообеспечение, энергосбережение, энергоэффективность, энергоэффективные технологии 2.1.10.3». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

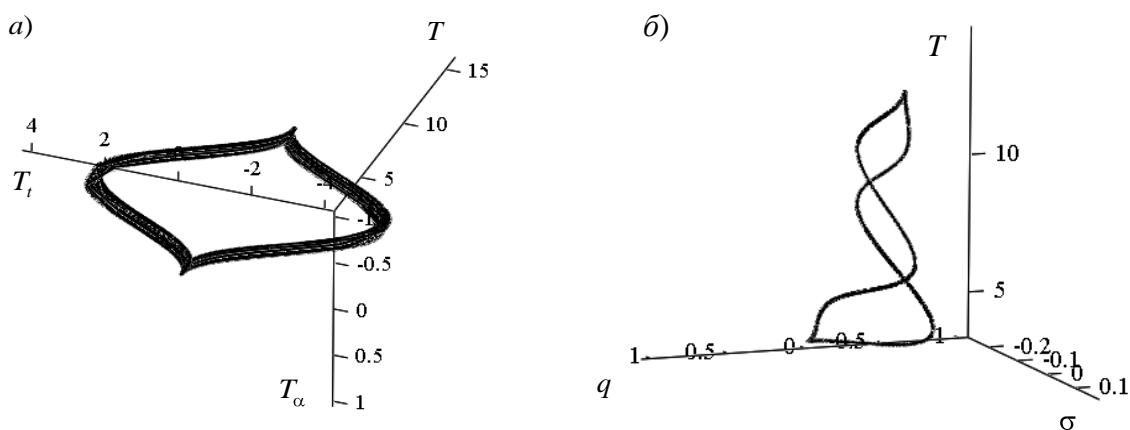


Рисунок 1– Примеры нетривиального поведения изучаемой системы

### Литература

1. Табор, М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике / М. Табор. – Москва: Эдиториал УРСС, 2001. – 320 с.
2. Shablovsky, O.N. A Thermal Model of Periodic Crystallization / O.N. Shablovsky // Crystallography Reports. – 2005. – Vol. 50, № 1. – P.
3. Шабловский, О.Н. Феноменологическая оценка времени тепловой релаксации при взрывной кристаллизации аморфных пленок германия / О.Н. Шабловский, Д.Г. Кроль // Тепловые процессы в технике. – 2010. – №5. – С. 203–208.

**А.А. Шамына (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.Н. Капшай**, к.ф.-м.н., доцент

### РЕШЕНИЕ МАТРИЧНЫМ СПОСОБОМ ЗАДАЧИ О ПРОХОЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ БИИЗОТРОПНЫЙ СЛОЙ В СЛУЧАЕ НАКЛОННОГО ПАДЕНИЯ

**Введение.** Главной особенностью биизотропных сред является то, что в них могут распространяться только циркулярно поляризованные волны. Материальные уравнения таких сред имеют вид

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} + (\chi + i\alpha) \vec{H}; \quad \vec{B} = (\chi - i\alpha) \vec{E} + \mu \vec{H}. \quad (1)$$

Здесь  $\vec{D}$ ,  $\vec{B}$  – вектора электрической и магнитной индукции,  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  – вектора электрической и магнитной напряжённости,  $\varepsilon$ ,  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды,  $\alpha$ ,  $\chi$  – параметры киральности и невзаимности соответственно.

Данная работа посвящена матричному методу решения задачи о прохождении плоской электромагнитной волны через биизотропный

слой толщины  $d$  в другой биизотропной среде в случае наклонного падения.

**Постановка задачи.** Пусть ось  $Oz$  направлена вверх, а ось  $Oy$  вправо. Пусть первая область  $z \leq 0$  заполнена биизотропной средой 1 с параметрами  $\varepsilon_1, \mu_1, \alpha_1, \chi_1$ , вторая область  $0 < z \leq d$  заполнена биизотропной средой 2 с параметрами  $\varepsilon_2, \mu_2, \alpha_2, \chi_2$ , третья область  $z > d$  заполнена биизотропной средой 1.

Пусть  $\uparrow / \downarrow$  характеризует направление распространения волны – в сторону увеличения/уменьшения координаты по оси  $Oz$  соответственно. Введём вспомогательный вектор  $\vec{d} = (0; 0; d)$  и единичные вектора ( $1 \leq p \leq 3$ )  $\vec{m} = (1; 0; 0)$ ;  $\vec{l}_v^{\uparrow p} = (0; \cos \theta_v^p; -\sin \theta_v^p)$ ;  $\vec{l}_v^{\downarrow p} = (0; -\cos \theta_v^p; -\sin \theta_v^p)$ , направленные перпендикулярно волновым векторам ( $\vec{k}_v^{\uparrow p} \perp \vec{l}_v^{\uparrow p} \perp \vec{m}$ ,  $\vec{k}_v^{\downarrow p} \perp \vec{l}_v^{\downarrow p} \perp \vec{m}$ ), где  $\nu$  отвечает за поляризацию электромагнитной волны ( $\nu = +1$   $\Leftarrow$   $-1$   $\Leftarrow$  – правая (левая) поляризация), а  $\theta_v^p$  – угол между осью  $Oz$  и вектором  $\vec{k}_v^p$ , определяемый с помощью закона преломления [1]. Введём также величины  $b_v^p = \left( \chi_p + i\nu \sqrt{\varepsilon_p \mu_p - \chi_p^2} \right) \mu_p$ ;  $k_v^p = |\vec{k}_v^p| = (\sqrt{\varepsilon_p \mu_p - \chi_p^2} + \nu \alpha_p) 2\pi / \lambda$ .

Тогда уравнения падающей волны:

$$\vec{E}_v^{\uparrow 1} = (\vec{m} + i\nu \vec{l}_v^{\uparrow 1}) E_v^{\uparrow 1} e^{-i(\omega t - \vec{k}_v^{\uparrow 1} \vec{r})}; \quad \vec{H}_v^{\uparrow 1} = -b_v^1 \vec{E}_v^{\uparrow 1}. \quad (2)$$

Уравнения для отражённой волны:

$$\vec{E}_v^{\downarrow 1} = (\vec{m} + i\nu \vec{l}_v^{\downarrow 1}) E_v^{\downarrow 1} e^{-i(\omega t - \vec{k}_v^{\downarrow 1} \vec{r})}; \quad \vec{H}_v^{\downarrow 1} = -b_v^1 \vec{E}_v^{\downarrow 1}. \quad (3)$$

Уравнения для волн в слое:

$$\vec{E}_v^{\uparrow 2} = (\vec{m} + i\nu \vec{l}_v^{\uparrow 2}) E_v^{\uparrow 2} e^{-i(\omega t - \vec{k}_v^{\uparrow 2} \vec{r})}; \quad \vec{H}_v^{\uparrow 2} = -b_v^2 \vec{E}_v^{\uparrow 2};$$

$$\vec{E}_v^{\downarrow 2} = (\vec{m} + i\nu \vec{l}_v^{\downarrow 2}) E_v^{\downarrow 2} e^{-i(\omega t - \vec{k}_v^{\downarrow 2} \vec{r})}; \quad \vec{H}_v^{\downarrow 2} = -b_v^2 \vec{E}_v^{\downarrow 2}. \quad (4)$$

Уравнения для прошедшей волны:

$$\vec{E}_v^{\uparrow 3} = (\vec{m} + i\nu \vec{l}_v^{\uparrow 3}) E_v^{\uparrow 3} e^{-i(\omega t - \vec{k}_v^{\uparrow 3} \vec{r} - \vec{d})}; \quad \vec{H}_v^{\uparrow 3} = -b_v^3 \vec{E}_v^{\uparrow 3}. \quad (5)$$

Требуется найти коэффициенты прохождения и отражения  $T_{\nu\sigma} = E_\sigma^{\uparrow 3} / E_v^{\uparrow 1}$ ,  $R_{\nu\sigma} = E_\sigma^{\downarrow 1} / E_v^{\uparrow 1}$ ;  $\nu, \sigma$  задают поляризации падающей и прошедшей (отражённой) волны. Схема прохождения электромагнитной волны через биизотропный слой изображена на рисунке 1.

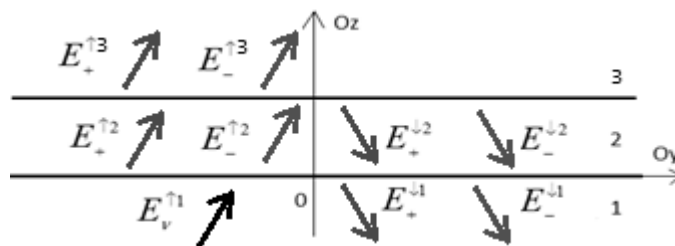


Рисунок 1 – Схема задачи



**Решение.** Составим системы уравнений, вытекающих из граничных условий. Для плоскости  $z = 0$  систему можно представить в матричном виде:  $M_2 E_2 = M_1 E_1$ . Здесь введены следующие обозначения ( $1 \leq p \leq 3$ ):

$$M_p = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -\cos\theta_+^p & \cos\theta_-^p & \cos\theta_+^p & -\cos\theta_-^p \\ b_+^p & b_-^p & b_+^p & b_-^p \\ -b_+^p \cos\theta_+^2 & b_-^p \cos\theta_-^2 & b_+^p \cos\theta_+^2 & b_-^p \cos\theta_-^2 \end{pmatrix}; E_p = \begin{pmatrix} E_+^{\downarrow p} \\ E_-^{\downarrow p} \\ E_+^{\uparrow p} \\ E_-^{\uparrow p} \end{pmatrix}; E_1 = \begin{pmatrix} E_+^{\downarrow 1} \\ E_-^{\downarrow 1} \\ E_+^{\uparrow 1} \left[ \leftarrow +1 \right] 2 \\ E_-^{\uparrow 1} \left[ \leftarrow -1 \right] 2 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где формула для  $E_1$  введена таким образом, чтобы падающая волна была только одной поляризации. Запишем граничные условия для плоскости  $z = d$ . Следует учесть, что при переходе через толщину слоя фаза волны меняется. Для этого введём фазовый множитель:

$$\Phi_2 = \begin{pmatrix} \exp(-ik_+^2 d \cos\theta_+^2) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \exp(-ik_-^2 d \cos\theta_-^2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \exp(ik_+^2 d \cos\theta_+^2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \exp(ik_-^2 d \cos\theta_-^2) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Матричное уравнение для  $z = d$  имеет вид:  $M_3 E_3 = M_2 \Phi_2 E_2$ . Производя необходимые подстановки, найдём выражение  $E_1$  через  $E_3$ :

$$E_1 = (M_1^{-1} M_2) \cdot (\Phi_2^{-1} M_2^{-1} M_3) E_3 = \Lambda E_3. \quad (8)$$

Здесь  $\Lambda$  – матрица  $4 \times 4$ , состоящая из элементов  $\Lambda_{ij}$ . Поскольку в области 3 составляющие, распространяющиеся против оси  $Oz$  отсутствуют, то:  $E_+^{\downarrow 3} = 0$ ;  $E_-^{\downarrow 3} = 0$ . Перенеся  $E_+^{\downarrow 1}$  и  $E_-^{\downarrow 1}$  в правую сторону и приняв амплитуды падающей волны равными единице  $E_+^{\uparrow 1} = 1$ ,  $E_-^{\uparrow 1} = 1$ , получим окончательное выражение для нахождения искоемых коэффициентов.

$$\begin{pmatrix} R_{\nu+} \\ R_{\nu-} \\ T_{\nu+} \\ T_{\nu-} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Lambda_{13} & \Lambda_{14} \\ 0 & 1 & \Lambda_{23} & \Lambda_{24} \\ 0 & 0 & \Lambda_{33} & \Lambda_{34} \\ 0 & 0 & \Lambda_{43} & \Lambda_{44} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \left[ \leftarrow +1 \right] 2 \\ \left[ \leftarrow -1 \right] 2 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

**Угловая зависимость.** Построим графики зависимости коэффициентов прохождения от угла падения.

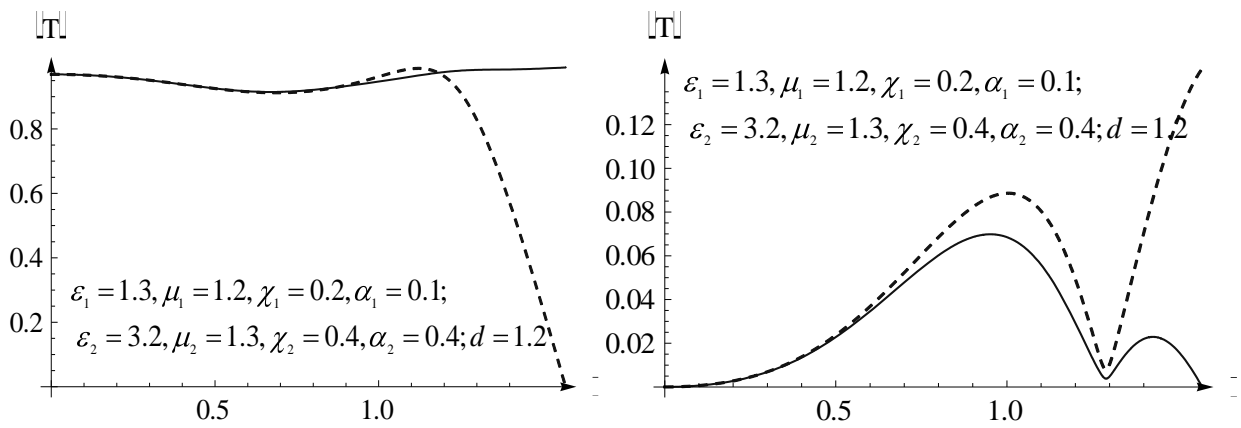


Рисунок 2 – Графики зависимости коэффициентов прохождения от угла падения: а) сплошная линия –  $|T_{++}|$ , штриховая линия –  $|T_{--}|$ ;

б) сплошная линия –  $|T_{+-}|$ , пунктирная линия –  $|T_{-+}|$

**Заключение.** Коэффициенты прохождения и отражения по энергии можно рассчитать с помощью векторов Умова-Пойнтинга. Приведём выражения для коэффициентов прохождения по энергии через амплитудные коэффициенты:

$$\Phi_{\nu\sigma} = \left| \vec{S}_\sigma^{\uparrow N} \right| / \left| \vec{S}_\nu^{\uparrow 1} \right| = |T_{\nu\sigma}|^2 \left| \text{Im}(b_\sigma^N) \cos \theta_\sigma^N \right| / \left| \text{Im}(b_\nu^1) \cos \theta_\nu^1 \right|;$$

$$R_{\nu\sigma} = \left| \vec{S}_\sigma^{\downarrow 1} \right| / \left| \vec{S}_\nu^{\downarrow 1} \right| = |R_{\nu\sigma}|^2 \left| \text{Im}(b_\sigma^1) \cos \theta_\sigma^1 \right| / \left| \text{Im}(b_\nu^1) \cos \theta_\nu^1 \right|.$$

Легко проверить выполнение закона сохранения энергии:

$$\sum_\sigma \Phi_{\nu\sigma} + R_{\nu\sigma} = 1.$$

Результаты, полученные методом многократных отражений и матричным методом, полностью совпадают, но решение задачи матричным упрощает численные расчёты. Однако такой метод может оказаться нестабильным в случае большого количества слоёв, поскольку числа в матрице  $\Lambda$  могут превысить допустимые пределы. Из достоинств метода можно отметить экономию времени при численном расчёте коэффициентов.

### Литература

1. Капшай, В.Н. Отражение и преломление плоской электромагнитной волны на границе раздела биизотропных сред / В.Н. Капшай, В.В. Кондратюк // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2009. – № 5 (56). – С. 129–133.

**А.Е. Шевцов (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **В.В. Комраков**, к.т.н., доцент; **Е.В. Комракова**, ассистент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТРАКТОРА И ЕГО МОДЕРНИЗАЦИЯ**

Современные методы постоянной фиксации отломков челюстей делятся на ортопедические и оперативные. К оперативным методам постоянного закрепления отломков челюстей относятся все виды остеосинтеза с помощью спиц, стержней, гвоздей, проволоки, наkostных рамок, мини-пластинок, скобок из никелида титана с «памятью» формы, накладок, аппаратов. Нужно отметить, что остеосинтез дополняет, а не конкурирует с ортопедическими методами лечения переломов.

Рассматриваемый в данной работе контрактор относится к медицине, а именно, разделам травматологии и ортопедии челюстно-лицевой хирургии. Он используется при операциях на костях для первоначальной фиксации отломков. Известно, что положительный эффект при сращении отломков костей достигается за счёт сдавливания отломков с силой  $100 - 200 \text{ Н/см}^2$  [1]. Слабая компрессия ( $45 - 90 \text{ Н/см}^2$ ) или избыточной компрессии ( $250 - 450 \text{ Н/см}^2$ ) приводит к возникновению побочных явлений [1].

Для того, чтобы щипцы контрактора обеспечивали оптимальное для каждого случая перелома усилие была проведена его модернизация, заключающаяся в конструировании устройства для определения усилия смыкания щипцов и размещения этого устройства внутри конструкции контрактора.

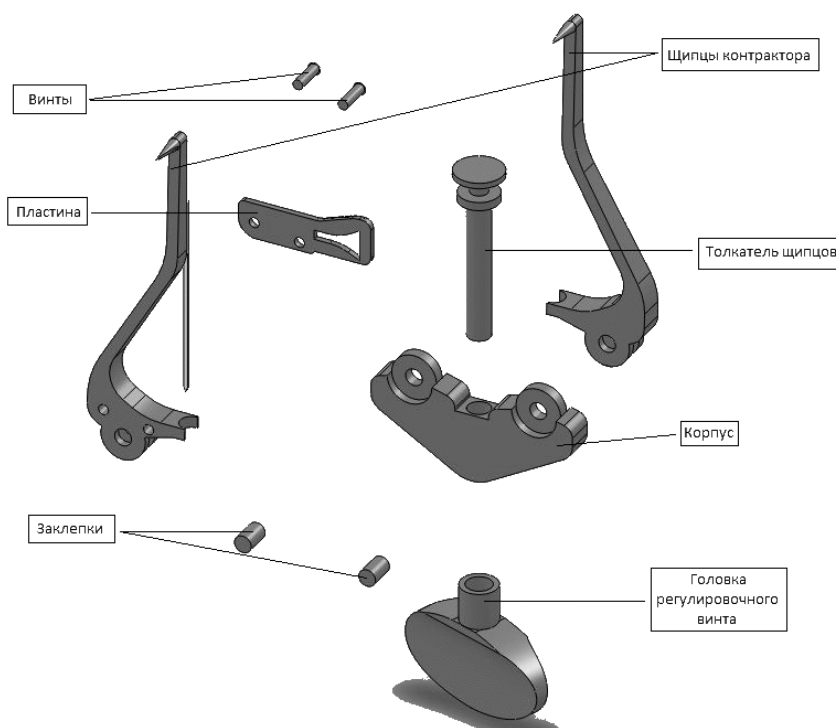


Рисунок 1 – Детали контрактора

Трехмерные модели деталей, созданные в пакете SolidWorks 2011 [2] показаны на рисунке 1. Собранный в этом же пакете трехмерная модель контрактора с рендерингом в программе PhotoView 360 показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид контрактора

Работает контрактор следующим образом. Нижняя часть регулировочного винта имеет метрическую резьбу (на рисунке 1 резьба не показана), с помощью которой он вкручивается в корпус контрактора. Щипцы контрактора крепятся шарнирно к корпусу при помощи заклепок и одной стороной входят в канавку, сделанную в верхней части регулировочного винта. Вкручивание или выкручивание регулировочного винта с помощью головки перемещает его вниз или вверх, что приводит к смыканию или размыканию щипцов контрактора.

Исследование напряженно–деформированного состояния конструкции проводилось в пакете SolidWorks Simulation, при этом нагрузка, действующая на щипцы контрактора при проведении операций челюстно-лицевой хирургии, менялась в пределах 20–200 Н, головку регулировочного винта считали неподвижной (рисунок 3 а).

Рассмотрим подробно основную идею, лежащую в основе модернизации устройства. Для измерения нагрузки, действующей на щипцы контрактора, используем упругие деформации его щипцов, легко различимые человеческим глазом. Приняли, что деформации, соответствующие максимальной нагрузке должны быть равны 5 мм. Однако, в этом случае, максимальные напряжения в щипцах становятся больше предела пропорциональности материала. Проведено изменение конструкции, заключающееся в креплении металлической стрелки к левой створке щипцов (см. рисунок 1). При этом свободный конец стрелки перемещается больше, чем зубцы щипцов в результате их деформаций. Определено оптимальное место крепления стрелки, позволяющее максимально увеличить величину ее перемещения. Кроме этого, найдена такая форма щипцов, при которой перемещение

свободного конца стрелки составляет 5,6 мм (рисунок 3 в), а их напряжения находятся в зоне упругости материала (рисунок 3 б).

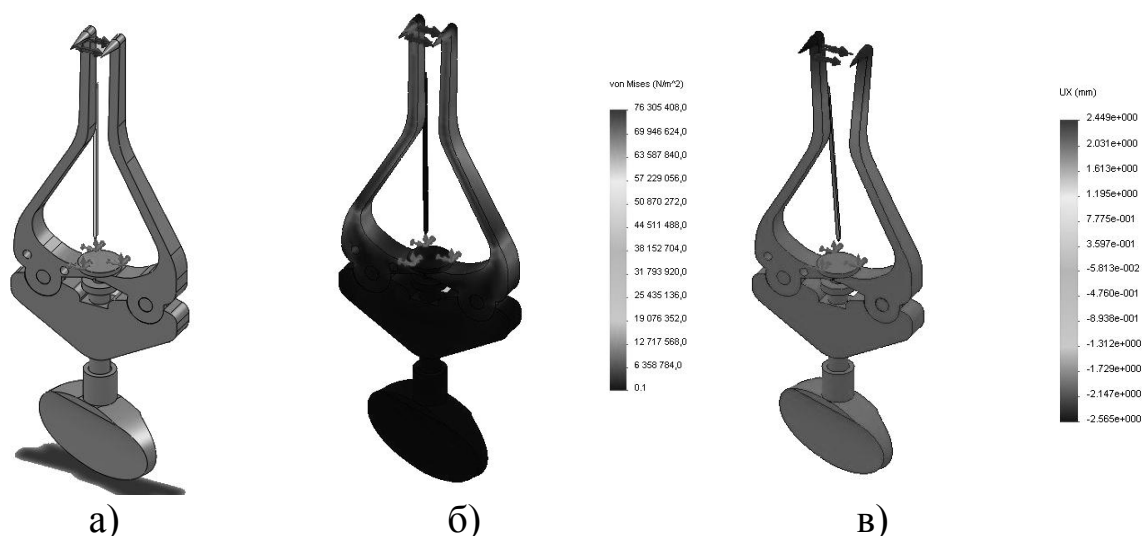


Рисунок 3 – Схема нагружения контрактора и результаты расчета в пакете SolidWorks Simulation

Выводы. Применение контрактора с устройством определения усилия на его щипцах отвечает наиболее благоприятным условиям первичного типа сращения репаративной регенерации костной ткани и также улучшает манипулятивную свободу оперирующего хирурга при внутривидовом доступе при операции на челюстных костях.

### Литература

1. Гуцан А.Э. Челюстно-лицевые операции: Справочник. / Под ред. А.Э. Гуцан [и др.]. – Витебск: Белмедкнига, 1997. – С. 73-74.
2. Прерис А. SolidWorks 2005/2006. Учебный курс. СПб.: Питер, 2006. - 528 с.

**В.В. Юргульский (УО «БГПУ имени М. Танка», Минск)**  
Науч. рук. **К.А. Саечников**, к.ф-м.н., доцент

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ СВЯЗАННЫХ КОНТУРОВ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Широкое применение современных компьютерных систем способно резко повысить эффективность активных методов обучения для всех

форм организации учебного процесса: на этапе самостоятельной подготовки студентов, на лекциях, на семинарских и лабораторных занятиях. Современные компьютерные системы позволяют после небольшого расчета моделировать электронные схемы и быстро, разносторонне и практически без ограничения количества графиков проводить анализ их работы. Одной из таких систем является система схемотехнического моделирования Micro-Cap.

В качестве примера проведем моделирование и анализ работы связанных контуров с трансформаторной и емкостной связью. Схема связанных контуров с трансформаторной связью представлена на рисунке 1, где каждый из контуров в отдельности настроен на резонансную частоту  $f_p$  т. е. в каждом из контуров выполняется условие резонанса напряжения (рисунок 2).

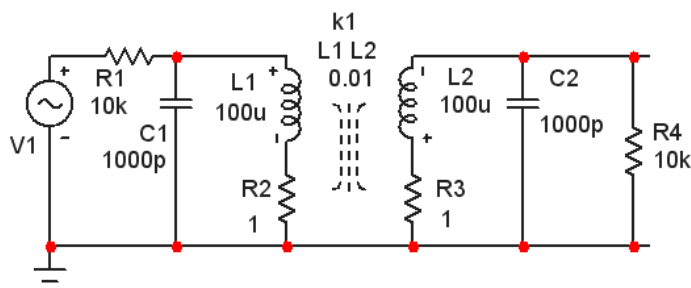


Рисунок 1 – Схема связанных контуров с трансформаторной связью

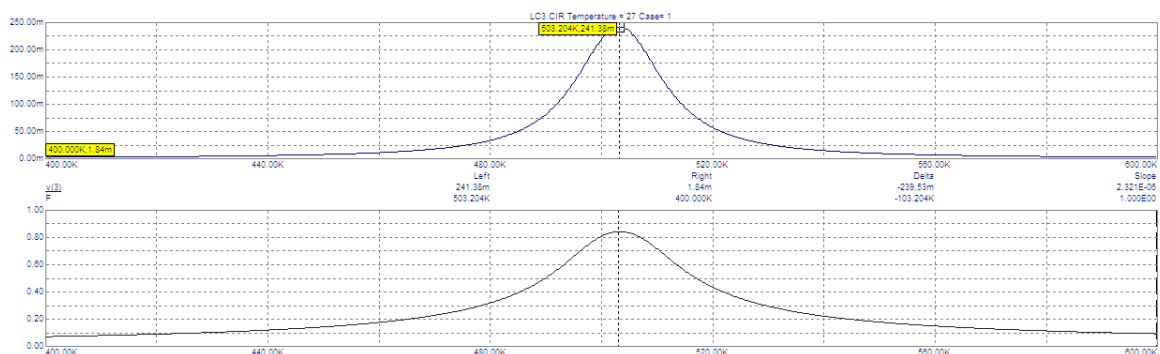


Рисунок 2 – Графики резонансных характеристик первичного и вторичного контуров

По данным колебательного контура L2 и C2 определяется резонансная частота  $f_p=503$  кГц. Командой Transient Analysis открывается меню построения графика выходного напряжения на резисторе R4, по графику (рисунок 2) производится измерения резонансной частоты и сравнивается с расчетной частотой.

Полоса пропускания вторичного контура определяется шириной резонансной кривой на уровне  $\frac{U_2}{\sqrt{2}}$ , и она равна 12,5кГц, добротность кон-

тура  $Q = \frac{f_p}{2\Delta f} = 40$ .

Степень взаимного влияния двух контуров количественно учитывается коэффициентом связи  $k$ . Анализ графика резонансных кривых связанных контуров на резисторе R4 можно получить изменяя величину коэффициента связи  $k$ .

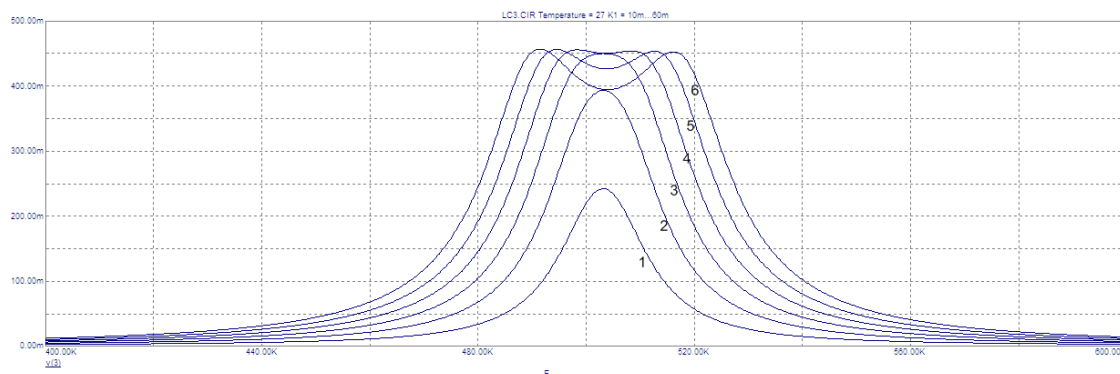


Рисунок 3 – График резонансных характеристик связанных контуров

На рисунке 3 показаны графики резонансных кривых, полученные при изменении коэффициента связи от  $k=0,01$  до  $k=0,06$  с шагом  $0,01$  между контурами. Анализ полученных графиков показывает, что при увеличении коэффициента связи происходит увеличение выходного напряжения, а при  $k=0,03$ , называемой критической связью, значение напряжения достигает наибольшей величины. Резонансная частота при этом не изменяется, полоса пропускания  $2\Delta f = 18 \text{ кГц}$ , что соответствует полосе пропускания  $2\Delta f_{кр} = 1,41 \frac{f_p}{Q}$  по теории, т. е. в  $\sqrt{2}$  раз больше, чем у одиночного контура.

При коэффициенте связи  $k=0,04$  резонансная кривая 4 связанных контуров уже по форме близка к идеальной П-образной характеристике, которую применяют в цепях усиления промежуточной частоты радиоприемников. Вершина резонансной кривой стала плоской, а скаты ее круче, чем в случае резонансной кривой одиночного контура. Достоинством такого фильтра является то, что он обеспечивает почти равномерное пропускание определенной полосы частот и более сильное ослабление частот, выходящих за пределы этой частоты.

По мере увеличения связи между контурами провал в резонансных кривых (5,6) становятся все больше и разница по частоте между двумя горбами этих кривых возрастает. Оптимальным считается такое значение  $k_{опт}$  при котором напряжение в минимуме лишь в  $\sqrt{2}$  раз меньше, чем в максимуме. Следовательно, в оптимальном случае  $k_{опт} Q = 2,4$  и полоса пропускания фильтра  $2\Delta f = 37,5 \text{ кГц}$  на связанных контурах примерно втрое шире, чем у одиночного контура фильтра.

Таким образом был произведен анализ двух индуктивно связанных контуров. На практике также используются схема с емкостной связью между контурами, вариант которой показан на рисунок 5.

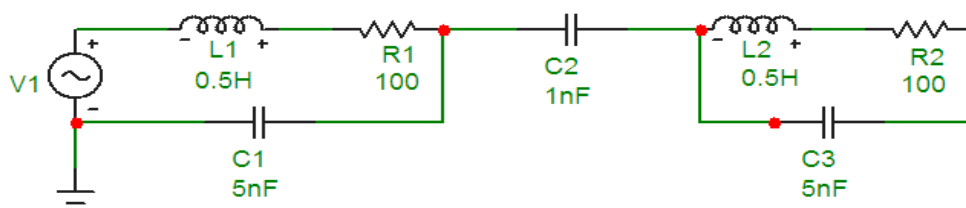


Рисунок 4 – Схема связанных контуров с внешней емкостной связью

Поскольку для схемы (рисунок 4)  $C1=C3=C$ ,  $L1=L2=L$ ,  $R1=R2=R$ , то коэффициент связи, резонансная частота определяются с помощью следующих выражений:

$$k = C2 / (C2 + C) \qquad f = 1 / 2\pi \sqrt{L(C2 + C)}$$

Расчеты по этим формулам при  $k=0,01$  (режим критической связи) дают:  $f1=f2=f=3,17$  кГц, т.е. частоты связи практически совпадают, а результаты моделирования приведены на рисунке 5 при коэффициенте связи выше критического график имеет двугорбый характер, соответствующий двум частотам связи, и отличается более крутыми скатами.

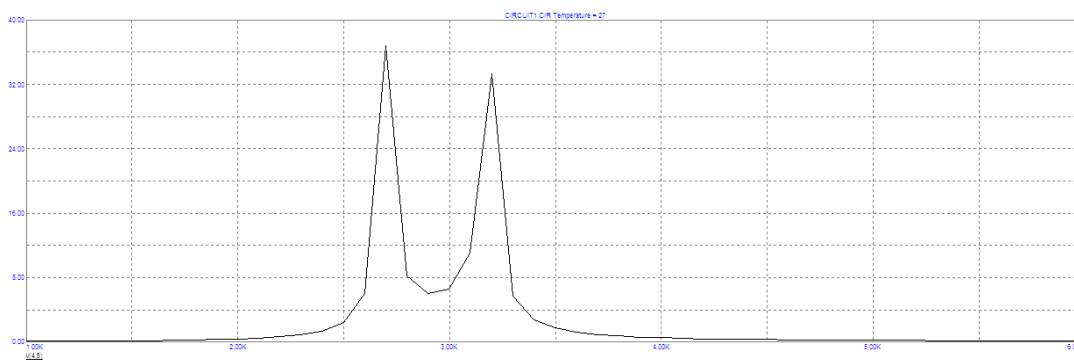


Рисунок 5 – График резонансной характеристики связанных контуров

Рассмотренный пример компьютерного моделирования и анализа работы связанных контуров является одной из лабораторных работ практикума по радиоэлектронике.

### Литература

1. Кардашев Г.А. Цифровая электроника на персональном компьютере, Москва: Горячая линия-Телеком, 2003.–311с.
2. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap, Москва, 1997.–272 с.



## МЕТОД ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Методы оптимизации с применением ЭВМ дают практически возможность решить любую задачу синтеза механизмов. Однако эти методы дают количественное решение любой задачи синтеза и не позволяют видеть влияние отдельных параметров синтеза на качественные характеристики механизма. Проводить качественный анализ ожидаемых решений позволяет метод синтеза механизмов, основывающийся на теории приближения функций.

Была рассмотрена задача приближенного воспроизведения функции  $\psi = k\varphi$  в интервале  $0, \varphi_m$  для шарнирного четырехзвенника (рис. 1).

Заданная функция имеет вид

$$\psi = \psi \varphi . \quad (1)$$

Шарнирный четырехзвенник в общем случае воспроизводит некоторую другую функцию

$$\psi_m = \psi_m \varphi, a, b, c, \alpha, \beta . \quad (2)$$

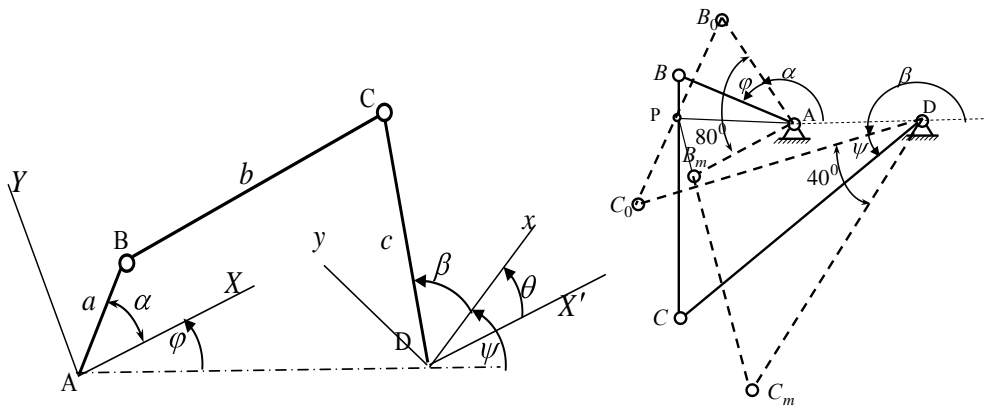


Рисунок 1

Рисунок 2

Данная функция зависит от аргумента  $\varphi$  и от пяти параметров синтеза: длин звеньев и углов  $\alpha$  и  $\beta$ , определяющих начала отсчетов углов  $\varphi$  и  $\psi$ . Для того чтобы механизм воспроизводил заданную функцию достаточно точно, следует выбрать такую комбинацию параметров синтеза, при которой функция (2) возможно мало отличается от заданной функции (1) на рассматриваемом отрезке изменения аргумента от  $\varphi = 0$  до  $\varphi = \varphi_m$ . Примем

$k = \frac{1}{2}$ ,  $\varphi_m = 0 \dots 80^\circ$ . Разбиваем рассматриваемый интервал на 20 равных

частей и определяем значения  $X_{D_i}$ ,  $Y_{D_i}$ ,  $\theta_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 21$ ),  $x_C = 2,27474$ ,  $y_C = 0,55895$ .  $X_B = 0,76325$ ,  $Y_B = 0,64594$ ,  $R = 1,30798$ ,  $a = 0,9999$ ,  $b = R$ ,  $c = 2,3424$ ,  $\alpha = 139^{\circ} 45'$ ,  $\beta = 193^{\circ} 48'$ . Спроектированный механизм показан на рисунке 2.

Отклонение от заданной функции в указанном интервале не превышает  $2'$ .

Данный метод позволяет с высокой точностью воспроизвести уравнение движения выходного звена в механизмах с низшими кинематическими парами.

### Литература

1. Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин / Н.И. Левитский. – М.: Наука, 1979. – 576 с.
2. Саркисян, Ю.Л. Аппроксимационный синтез механизмов / Ю.Л. Саркисян. – М.: Наука, 1982. – 304 с.

## **Секция 4 «Методика преподавания физики»**

### **Председатели:**

Шершнев Евгений Борисович, к.т.н., доцент,  
Желонкина Тамара Петровна, ст. преподаватель

**М.В. Анфалова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **А.В. Семченко**, к.ф.-м.н., доцент

### **ВНЕКЛАССНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ФИЗИКЕ В 10-ОМ КЛАССЕ**

Внеклассная работа – это необязательные, добровольные, специально организованные занятия вне урока, цель которых – способствовать развитию познавательных интересов, творческих способностей, углублению и расширению их знаний, удовлетворению и обеспечению разумного отдыха школьников.

Эффективная организация внеклассной работы невозможна без знания специфики различных видов внеклассных занятий. Необходимость разнообразия форм внеклассных занятий диктуется разнообразием задач внеклассной работы:

- повышение воспитательного воздействия всех форм внеурочной деятельности;
- развитие познавательной и творческой активности учащихся;
- усиление практической направленности знаний, формирование у учащихся устойчивых умений и навыков;
- осуществление индивидуализации и дифференциации в работе с учащимися;
- всестороннее развитие личности ученика.

Для внеурочной работы характерны:

- необходимость удовлетворения интересов и запросов учащихся;
- добровольность выбора ими вида работы;
- определенная самостоятельность участников работы;
- учет местных условий.

Внеклассная работа может осуществляться в самых разнообразных видах и формах, которые условно можно разделить на следующие:

1. Индивидуальная работа – работа с отдельными учащимися с целью руководства их внеклассным чтением по физике, подготовка на этой основе рефератов, докладов; руководство детским творчеством; работа с учащимися-лаборантами и т. п.

2. Групповая работа – систематическая работа, проводимая с большим постоянным коллективом учащихся и направленная на удовлетворение определенных интересов, приобретение новых знаний и практических умений (физические кружки, секции, творческие группы).

3. Массовая работа – эпизодическая работа, проводимая с большим детским коллективом, – лекции, вечера, конференции; недели, декады физики; олимпиады и конкурсы, выставки, внепрограммные экскурсии и т. п.

Сами внеклассные мероприятия могут быть следующими:

1. Конкурсы, смотры, олимпиады, турниры, фестивали и другие формы состязаний.

2. Выставки, экскурсии.

3. Лабораторные опыты.

4. Предметные недели и так далее.

Внеклассная работа по физике будет эффективна в том случае, если:

1. Будет удовлетворять индивидуальным особенностям и способствовать развитию познавательных интересов учащихся.

2. Она опирается на потребности учащихся, их личностные интересы и достижения.

3. Существуют возможности развития достижений учащихся.

4. Она опирается на принцип коллективности.

5. Она реализует принцип взаимосвязи классной и внеклассной работы.

Таким образом, внеклассная работа играет огромную роль на уроках физики, является одной из эффективных средств развития познавательного интереса у учащихся с различной успеваемостью, развивает умения работать в команде, способствует становлению целостного коллектива школьников как внутри класса, так и среди параллели.

**Е.В. Ализарчик (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ ДОСКИ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ**

Интерактивная доска — ценный инструмент для обучения физике. Доска позволяет работать на ней в двух режимах: интерактивный и режим Office. В интерактивном режиме компьютером можно управлять прямо с поверхности доски с помощью электронных маркеров. В этом режиме доска по мановению волшебной палочки превращается то в координатную сетку, то в космическое пространство, то в подводный мир, в зависимости от тематики задач, которые мы решаем на ней. Координатная

сетка помогает быстро, с применением различных цветов показать сложение векторных величин, строить графики и отмечать их преобразования.

Предлагая различные задачи, например, о движении и взаимодействии тел, можно подобрать фон из реальных объектов, совершающих эти движения, что вызывает больший интерес у учащихся при решении задач.

При отработке навыков решения задач удобно использовать замечательный инструмент Шторка, который используется для скрытия части доски. На закрытой части доски можно поместить план решения задачи, которым должны пользоваться обучающиеся и открывать его по мере выполнения каждого пункта, можно спрятать уже готовое решение задачи и также открывать постепенно, чтобы студенты могли сверить своё решение с решением преподавателя. При выполнении тестов эта функция доски также может быть использована для скрытия правильных ответов и последующей их проверки.

Во время объяснения по заранее подготовленному конспекту можно путешествовать с помощью инструмента Прожектор, который затемняет неважный в данную минуту материал и высвечивает на доске именно тот участок, который должен привлечь внимание студентов.

При работе с интерактивной доской эффективно использовать компьютерные интерактивные модели, представляющие собой схемы, графики, имитации процессов и экспериментов, задания, игры, исходные параметры которых задаются пользователем. Протекание процессов рассчитывается с использованием физических законов. Результат расчетов представляется в виде статичной или динамичной картины. На основе моделей можно вести изложение материала, составлять задания для тренинга по усвоению понятий и физических законов.

Интерактивные модели позволяют: проводить необходимые лабораторные и практические работы в условиях отсутствия материально-технической базы для реального эксперимента; проводить необходимые работы с экспериментальными материалами, прямой контакт с которыми небезопасен или нежелателен (например, работы по изучению радиоактивности и др.); моделировать такие процессы и явления, для которых необходимо специализированное дорогостоящее оборудование; визуализировать физическое явление в динамике, а не вид привычных статистических картинок, изображенных мелом на доске; значительно расширить информационную составляющую обучения.

При работе с интерактивной доской имеется возможность использования виртуальной лаборатории.

Виртуальная лаборатория имеет уникальные возможности:

- самостоятельного построения моделей различной степени сложности;

- изменения параметров объектов, свойств и масштабов среды конструирования, которые сложно технически реализовывать в реальном эксперименте;
- сохранения построенной модели с возможностью последующего использования;
- повышения наглядности представления информации путем выявления закономерностей с помощью диаграмм и графиков процессов;
- развитие креативных способностей учащихся.

Для более эффективного усвоения материала можно использовать фотографии природных явлений, бытовых приборов и приспособлений, экспериментальных установок, технических объектов, портреты ученых. Они призваны проиллюстрировать экспериментальную базу, на которой строятся физические представления и многочисленные технические применения физических явлений, открытых в лаборатории.

Также можно использовать рисунки, которые являются статичными иллюстрациями к текстам сопровождаемых учебников и представляют собой схемы приборов, экспериментальных установок, электрических цепей, образное представление физических величин, символическое изображение протекающих процессов, модельных представлений об их протекании, а также графики зависимостей физических величин от времени, расстояния, диаграммы, иллюстрирующие взаимосвязь различных физических параметров объектов.

Использование интерактивной доски при изучении физики — это ещё один шаг к повышению интереса к предмету, т. к. благодаря именно этой науке создаются подобные приборы.

**С.М. Баслак (ДУА «ГП МНС РБ», Гомель)**

Навук. кір. С.А. Ч удзілоўская, выкладчык

## **ЯЗЭП ДРАЗДОВІЧ: ЖЫЦЦЁ І ЎКЛАД У НАВУКУ**

Язэп Драздовіч — ягонае імя сёння ведаюць калі і не ўсе, дык, напэўна ж, многія людзі на Беларусі. За апошнія дзесяцігоддзі з’явілася шмат матэрыялаў аб яго незвычайнай асобе, захапляючым таленце, бесспрытульным жыцці, аб яго штодзённых пошуках працы, хлеба і ісціны. А быў час, калі ў краіне мала хто ведаў, што недзе жыў на Беларусі такі падзвіжнік-мастак, такая шматгранная і таленавітая асоба з вялікай любоўю да роднай зямлі ў сэрцы.

3 1979 года рэзка ўзрасла цікавасць да Я. Драздовіча, калі Саюз мастакоў рэспублікі арганізаваў выстаўку яго твораў, на якой упершыню

больш-менш поўна была сабрана мастацкая спадчына нашага таленавітага суайчынніка. Наведвальнікі выставы ў Палацы мастацтваў, прадстаўнікі грамадскасці і творчай інтэлігенцыі былі здзіўлены і зачараваны: яснае, задумлівае аблічча Драздовіча, самаадданага мастака, зычлівага і спагадлівага да людзей, убачылі ўсе — і ўсе былі ўсхваляваныя і ўзрушаныя.

Я. Драздовіч займаўся не толькі мастацкай дзейнасцю, але і вялікі ўклад унес у развіццё навукі. Вось толкі некаторыя назвы яго твораў, прысвечаных даследаванню паходжання планет і іх унутранага стану, паходжання жыцця на Зямлі, прыроды камет і асаблівасцей іх руху: Драздовіч, Я. Нябесныя бегі. — Вільня, 1931. — 23 с.

Драздовіч, Я. Дзе мы і хто мы, рукапіс. — 1937–1938. — 189 с.

Драздовіч, Я. Тэорыя рухаў у касмалагічным значэнні / у пытаннях і адказах” у бт., рукапіс. — 1948 — 1950. — 224 с.

Драздовіч, Я. Зборнік артыкулаў “Аб тэлескапічным і мікраскапічным сусвецце”, “Эфір і безэфір’е”, “Чым можа служыць абсалютная пустата ў сусветным руху для нябеснай механікі”, рукапіс. — 1950. — 26 с.

Назвы артыкулаў і манаграфій даюць магчымасць ўявіць кола пытанняў, на якія імкнуўся знайсці адказ аматар астраноміі Язэп Драздовіч: “Што такое каналы Марса і ад чаго яны паўсталі”, “Аб марсіанах”, “Пра зносіны з Марсам”, “Як выглядае на Месяцы неба”, “Аб выглядзе неба на вялікіх планетах Соўнічнай сістэмы”, “Ці есць расліннасць на Месяцы”, “Ці дастануцца калі нашы зямныя людзі на Луну”, “Аб луннай фауне”, “Гармонія плянэтаў Сонечнае сыстэмы”. Некаторыя з яго тэорый не знайшлі пацвярджэння ў сучасных даследаваннях (магчыма, толькі пакуль), некаторыя пытанні дагэтуль застаюцца невырашанымі, праца “Тэорыя паходжання самакрутных плянэтаў” і зараз лічыцца найбольш узважанай і абгрунтаванай” [1].

Нездарма яго імя уключана ў міжнародны каталёг, як сведчыць даследчык жыцця і творчасці Язэпа Драздовіча Юрась Малаш.

Драздовіч не толькі маляваў фантастычна захапляльныя іншапланетныя краявіды, але і узносіў у касмічныя прасторы Месяца беларускія гароды і вежы, ствараў чарцяжы “касмічнай тарпеды”, на якой “зямныя турысты” павінны адправіцца ў падарожжа на плянэты Сонечнай сістэмы...

У канцы 1931 года мастак выдаў у Вільні брашуру “Нябесныя бегі” [2], у якой на падставе скурпулёзных падлікаў імкнуўся высветліць пытанні, звязаныя з вярчэннем Зямлі. Асобна спыніўся на абручах Сатурна, які лічыў самай цікавай планетай Сусвету.

Вясной і летам 1931 года Язэп Драздовіч напісаў шэраг карцін на касмічныя тэмы: “Падкружнікавы краявід на плянэце Сатурн”,

“Астранамічная абсэрваторыя на брылявіку” (“брылявік” – гэта назва, дадзеная Я. Драздовічам унутранаму, больш шырокаму абручу Сатурна, знешні абруч ён назваў “брыжавік”, разглядаючы іх узаемадзеянне паміж сабой у працы “Нябесныя бегі” [2]), “Касмаполіс”, “Сатурнянка” і іншыя.

Драздовіч верыў і спрабаваў даказаць, што “наша Зямля ўтварылася не з пякла Сонца, а паходзіць з парназоркавай сістэмы пары з Марсам...”, бо, па меркаванні мастака, і Зямля, і Марс абгортваюцца вакол паляй восі за 24 гадзіны, і нахілы іх восяў аднолькавыя. Такімі ж парамі ён зваў Сатурн і Юпітар, Уран і Нептун. Драздовіч быў настолькі ўпэўнены ў свой правасці, што напісаў: “Калі з’явіцца новая тэорыя паходжання планет... тое аўтарства першынства на гэту тэорыю прыналежыць мне, аматару тэарэтычнай астраноміі, мастаку Драздовічу”.

– А яго тэорыя аб “ператваральных зонах” у Космасе, у якіх старыя зоркі амалоджваюцца і ператвараюцца ў новыя, вельмі падобная на тэорыю існавання чорных дзюр, – лічыць Юрась Малаш [3]. – Тады, у 40-е гады, ды гэтай тэмы ніхто нават тэарэтычна не набліжаўся. Як лічаць спецыялісты часопіса “Земля і Вселенная” пры расейскай Акадэміі навук, калі б працы Драздовіча былі своечасова надрукаваныя, то яны былі б не менш цікавымі для гісторыі астраноміі, чым вядомая ў той час касмалягічная тэорыя Джэфрыса-Джынса.

Дарэчы, быў Драздовіч перакананы і ў касмічным паходжанні жыцця на Зямлі. “А што датычыцца “агульнага бацькі народа Зямлі”, то я назваў бы такім бацькам не легендарнага біблейскага Адама, а саму Прыроду, якаючы і на іншых планетах нашай Сонечнай сістэмы бадай што такая самая, як у нас на Зямлі, з такім самым творчым поступам...”

Зімой 1931-1932 гадоў Язэп Драздовіч напісаў працу “Гармонія плянэтаў Сонечнае сістэмы”. Рукапіс адаслаў у Акадэмію навук БССР і суправадзіў яго лістом: “Магчыма, што для Акадэміі навук такое пытаньне, скуль сьвет паўстаў, паўстала гэта зямелька, на якой мы жывём, і гэта ўсяяснае зорнае неба, зусім неактуальнае, але для мяне, як аўтара, які знайшоў сваё тлумачэнне паходжаньня плянэтаў Сонечнае сістэмы і іх самакручэння, а таксама гармоніі руху плянэтаў, для мяне гэта вельмі паважная рэч...”

Гэтую сваю працу Язэп Драздовіч лічыў найбольшым здабыткам усяго свайго жыцця. Пісьмо ў Акадэмію навук ён закончыў такой думкай: “Кожная адкрытая навуковая ісьціна, хоць бы нават у выглядзе ўдалае гіпотэзы, робіць гонар ня толькі той навуковай установе, якая налажыла на яго сваю апрабату, але і цэламу краю, і таму народу, зь якога яна выйшла”.

Хочацца дадаць, што гонар краю і народу робіць таксама і прысутнасць у яго гісторыі такога таленавітага і шматбаковага чалавека –



мастака, скульптара, разьбяра, пісьменніка, паэта, археолага, фалькларыста, педагога, вандроўніка і вучонага, якім быў Язэп Нарцызавіч Драздовіч.

### Літаратура

1. Космологические тезисы Язэпа Драздовича в контексте европейской космологии и астрономии.
2. Драздовіч, Я. Нябесныя бегі. – Вільня, 1931. – 23 с.
3. Малаш Ю.Л. «Жыватворная крыніца Язэпа Драздовіча» Рукапісная кніга, 2005 г.

**Д.Б. Белоножко** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины»)  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

### ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

При изучения законов постоянного тока основное внимание уделяется на правильное понимание учащимися потери напряжения в электрической цепи, что определяет возможность дальнейшего усвоения ими большинства электрических явлений. Вместе с тем важно выяснить, от чего зависит скорость потери напряжения, в частности средняя ее величина на каждую единицу длины электрической цепи. В качестве одной из переменных величин берется длина проводника или сопротивление, прямо пропорционально его длине. Другой переменной величиной является потеря напряжения.

Основные вопросы, которые необходимо уделить на уроках при изучения законов Ома, следующее:

1. В однородном проводнике одинакового сечения по всей его длине потеря напряжения равномерная.
2. Скорость изменения напряжения зависит от сопротивления проводника.
3. В общем случае потеря напряжения в полной цепи неравномерна, если даже источник тока замкнут однородным проводником одинакового сечения по всей его длине. Это объясняется тем, что удельные сопротивления внешнего и внутреннего участков цепи не одинаковы.
4. Какая разница между напряжением на зажимах  $U$  и ЭДС источника и каково отношение между их численными значениями?
5. От чего зависит величина напряжения на зажимах источника и как получить наибольшее и наименьшее ее значение?

При изучении закона Ома необходимо построить графики зависимости электрического тока от напряжения при различных сопротивлениях цепи (рисунок 1).

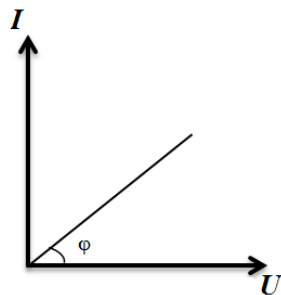


Рисунок 1 – График зависимости силы тока от напряжения

При рассмотрении данных графиков необходимо определить сопротивление участка цепи, физический смысл тангенса угла наклона  $\operatorname{tg}\varphi$ . При этом необходимо определить, как изменится угол  $\varphi$  при увеличении или уменьшении сопротивления.

Целесообразно предложить учащимся задачу по изучению закона Ома для полной цепи и построению графика зависимости потери напряжения во внешней цепи для двух случаев: а) от длины проводника; б) от его сопротивления.

Так как сопротивление проводника зависит от материала, из которого изготовлен проводник, длины и сечения, предлагаем учащимся построить зависимость напряжения во внешней цепи от длины проводника и от его сечения. При рассмотрении этих графиков необходимо обратить внимание, какой из проводников имеет меньшее или большее сопротивление. При рассмотрении вопросов соединения проводников и гальванических элементов, учащиеся рядом упражнений подводятся к формулировке тех условий для получения во внешней цепи наибольшей мощности электрического тока. Графические построения, предлагаемые на уроках показывают, что нагревательные приборы (например электрический чайник) не имеют одинакового КПД от момента включения в электрическую сеть до установления стационарного теплового режима, т. е. что до наступления этого режима имеет место неодинаковая отдача теплоты окружающим телам. Следовательно, для такого нагревательного прибора, как электрический чайник, имеет смысл говорить о среднем значении коэффициента полезного действия.

Графики, показывающие, как изменяются мощность и величина тока во времени, позволяют определить работу электрического тока, наибольшие и наименьшие значения тока в течение определенных промежутков времени и т. п. В процессе выполнения упражнений необхо-

димо обратить внимание на усвоение учащимися понятий работы и мощности электрического тока, а также на вывод формул мощности электрического тока с применением закона Ома.

При изучении тепловых действий тока учителю необходимо уделить внимание учащихся к измерительным приборам, которые применяются на практике, ознакомить учащихся с точностью измерений и оценкой погрешностей в показаниях электрических измерительных приборов. Вопросы эти весьма важны в лабораторной практике, в частности, при изучения раздела электричества. При проведении лабораторных занятий необходимо выяснить условия, при которых погрешность некоторых измерений можно свести к минимуму; уяснить необходимость во многих практических случаях проводить переградуировку прибора или пользоваться графиком поправок его показаний.

**Е.А. Белый (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.В. Андреев**, к.ф.-м.н., доцент

## **ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ФАКУЛЬТАТИВНЫЕ ЗАНЯТИЯ ФИЗИКИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ШКОЛЕ**

В 2013 году министерство образования Республики Беларусь сократит сроки обучения в ВУЗах. Для специальностей в сфере IT-технологий, такое изменение может повлиять на качество и квалификацию в первую очередь — программистов.

Стремительно меняющиеся компьютерные технологии, информационный прогресс, а главное, широта распространения продукта программирования – это те камни преткновения, которые затруднят подготовку высококлассных специалистов за 4 года.

Одним из выходов в данной ситуации, является то, что программистов нужно готовить со школьной скамьи. Правильная профориентационная подготовка для выпускников школ и дополнительные факультативные занятия в разных средах программного обеспечения позволяют абитуриентам владеть полной и объективной информацией не только о своей будущей профессии, но сразу же включится в работу на первом курсе, помогая при этом своим одноклассникам.

На факультативных занятиях в средней школе № 67 г. Гомеля в форме интегрированных курсов физики и программирования для одиннадцатиклассников, демонстрируют физические явления механики, а затем в программной среде Delphi эти явления описывают с помощью алгоритмов. Интегрированные курсы представляют собой 2 урока в неделю,

продолжительностью 2 месяца. Полезность таких факультативных занятий заключается в том, что школьники работают в коллективе над общим проектом. Дабы не разрушать целостность групп, было проведено анкетирование учащихся на профпригодность и целеустремленность к познаниям программированию. По итогам которого был выбран класс для проведения курсов.

Важным этапом во взаимодействии между «учителем и учеником» стало следующее: донести о важности умения работать в коллективе и умение воплотить свои творческие идеи в реальность.

Главная задача курсов не только эффективное достижение поставленных целей, но и контроль за соблюдением социальных норм и ценностей, в основе, которой лежит этика делового общения [1,2]. Так существует 3 основных психотипа человека по информационному каналу восприятия (аудиал, визуал, кинестетик). Аудиалы — те люди, кто в основном усваивают информацию через слуховой канал. Визуалы — через зрительный канал. Кинестетики — воспринимают информацию через осязание, с помощью движения [3].

Группа была представлена из всех трех психотипов людей по восприятию информации. Таким образом, выявив индивидуально доминантный канал восприятия информации школьников и зная их особенности, стало максимально тесное общение коллектива в деловой атмосфере. И этим самым я старался донести идею философии программиста: самая важная информация — это от человека и, нужно уметь ее правильно воспринять.

Для того, чтобы снять напряженность и отвлечь от мониторов ребят, после 45 минут занятия проводились игры на эрудированность и смекалку. Таким образом, даже такая мелочь как пятиминутная игра, могла найти путь взаимодействия со всеми участниками факультатива.

И все же на факультативах такие элементы как: знание, талант и эрудиция стали настоящими бриллиантами в огранке с уважающими, тактичными, а главное, уверенными в себе – программистами.

### **Литература**

1. Узерина, М. С. Этика делового общения. – Ульяновск : УлГТУ, 2004. – 72 с.
2. Лавриненко, В. Н. Психология и этика делового общения. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 415 с.
3. Балыко, Д. 30 правил НЛП, которые перевернут ваш мир – М.: ЭКСМО, 2010. – 240 с.

**А.Д. Беляева (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **РОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА И ЦЕЛОСТНОГО МИРОПОНИМАНИЯ**

Физическая картина мира базируется на основных физических понятиях, не последнее место среди которых занимают физические модели. Педагогический словарь определяет моделирование, как метод исследования объектов на их моделях – аналогах определённого фрагмента природной или социальной реальности; процесс построения и изучения моделей реально существующих предметов и явлений (органических и неорганических систем, инженерных устройств, разнообразных физических, химических, биологических и других процессов). Форма моделирования зависит от используемых моделей и сферы их применения. По характеру моделей выделяют предметное и знаковое (информационное) моделирование. Предметным называют моделирование, в ходе которого исследование ведётся на модели, воспроизводящей геометрические, физические либо функциональные характеристики объекта-оригинала. При знаковом моделировании моделями служат схемы, чертежи, формулы, предложения в некотором алфавите (естественного или искусственного языка) и т.п. Важнейшим видом такого моделирования является математическое (логико-математическое) моделирование. Возможность моделирования, то есть переноса результатов, полученных в ходе построения и исследования моделей, на оригинал, основана на том, что модель в определённом смысле отображает (воспроизводит) какие-либо его стороны и предполагает наличие соответствующих теорий и гипотез, указывающих на рамки допустимых при моделировании упрощений. Моделирование в обучении имеет два аспекта: моделирование, как содержание, которое учащиеся должны усвоить (о нём и пойдёт речь далее в данном пункте), и моделирование, как учебное действие – средство, без которого невозможно полноценное обучение, особенно обучение физике. С помощью моделирования, введения различных моделей, удаётся свести изучение сложного к простому, невидимого и неосязаемого к видимому и осязаемому, незнакомого к знакомому, то есть сделать любой сложный объект доступным для тщательного и всестороннего изучения. Моделирование учебного материала, логическое его упорядочение, представление в наглядной форме, а также с помощью мнемонических средств в расчёте на образные ассоциации – эффективное лучшее понимания и запоминания учащимися нового учебного материала.

Возможности для моделирования существуют в школьных курсах математики, химии и т. д., но особенно их много в школьном курсе физики. Необходимость овладения методом моделирования при обучении физике диктуется не только его значением, как метода научного познания, но и психолого-педагогическими соображениями. Согласно теории поэтапного формирования умственных действий (П.Я. Гальперина) знакомство учащихся с каким-либо действием, которым они должны овладеть, начинается с выполнения этого действия с помощью соответствующих материальных предметов. Однако предметы обладают различными свойствами, многие из которых не относятся к выполняемому действию. Чтобы от них отвлечься переходят к действиям с моделями этих предметов, обладающими только необходимыми в данном случае свойствами. Это может быть графическая схема, формула и т. п.

Таким образом, и изучение различных физических процессов, явлений и закономерностей целесообразно проводить на их моделях, обладающих всеми необходимыми для этого свойствами и параметрами и лишённых тех свойств, которые при этом не важны. При изучении физических процессов стремятся к тому, чтобы по результатам опытов на модели можно было судить о явлениях, происходящих в реальных условиях, которые ученики могут наблюдать в повседневной жизни. Изучение физических теорий невозможно без введения моделей уже на начальных этапах обучения. Так, например, изучение первого раздела механики – кинематики начинается с введения понятия равномерного движения, которое само является моделью, так как практически не встречается в реальности, но позволяет достаточно точно описать закономерности, по которым происходит движение тел в окружающем нас мире. Понятие материальной точки – тела, размерами, которого можно пренебречь по сравнению с фигурирующим в конкретной задаче расстоянием, а по сути геометрической точки, обладающей массой, позволяет в дальнейшем достаточно просто описывать различные виды движения. Модели идеального газа и идеальной несжимаемой жидкости позволяют сформировать у учащихся представление о процессах, происходящих в реальных веществах, с которыми они имеют дело повседневно, и упрощают задачу формулировки соответствующих законов. Стоит также отметить, что даже при решении физических задач учащиеся постоянно сталкиваются с моделями процессов и явлений; даже измерительные приборы, с помощью которых могло быть получено большинство данных, приводящихся в задачах являются идеальными (не дающими погрешностей измерения), то есть моделями.

**Ю.Б. Борисова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И ЕГО ЗАДАЧИ**

Учебный физический эксперимент входит в систему методов обучения, который является одновременно источником знаний, методом обучения и видом наглядности. Он служит для открытия явлений, законов, имеющих субъективную новизну. 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. Система учебного физического эксперимента представляет собой взаимосвязанную совокупность важнейших опытных фактов (элементов содержания), экспериментальных методов в физике (включая технические средства: приборы, материалы, установки, аудиовизуальные средства), видов эксперимента и организационных форм обучения, воспитание и развитие учащихся, соответствующих ведущей концепции методики преподавания физики.

Отражение экспериментального характера физической науки осуществляется в школьном курсе посредством широкого использования различных видов эксперимента – демонстрационных опытов, кинофильмов, фронтальных лабораторных работ, работ физического практикума, экспериментальных задач, внеклассных и домашних опытов, при изучении основных компонентов знаний, составляющих фундаментальные физические теории, в частности, фактов, физических величин, понятий, идеализированных объектов, общих и частных законов.

Чтобы учащиеся поняли роль эксперимента в обосновании или проверке соответствующих теорий, в каждом конкретном случае рекомендуется устанавливать взаимосвязь эксперимента и теории посредством логических компонентов эксперимента, включающих постановку проблемы, формулировку проверяемой в опыте гипотезы, выбор методики исследования, логико-математическую обработку, обобщение и интерпретацию опыта. При постановке демонстрационных опытов проблема или гипотеза необходимости того или иного эксперимента формулируется, как правило, учителем (иногда всем коллективом класса). Экспериментальная установка и сам эксперимент – дело учителя.

**А.В. Бурачевский (БГУ, Минск)**  
Науч. рук. **А.И. Слободянюк**, к.ф.-м.н., доцент

## **СТИМУЛИРУЮЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

Традиционные стимулирующие занятия по форме организации и дидактическим целям занимают промежуточное положение между внеурочными формами работы и основными занятиями, включенными в сетку расписания. Стимулирующие занятия предоставляют учащимся дополнительные возможности в изучении учебных предметов как на базовом, так и на углубленном уровне, что является основной целью внеурочных форм работы. В то же время они связаны с основной программой подготовки учащихся по учебному предмету и не представляют собой отдельных завершённых курсов. Таким образом, стимулирующие занятия сочетают в себе преимущества внеурочных форм работы учащихся и основных занятий. Близость к учебному материалу, рассматриваемому на уроках, а также отсутствие жесткой регламентации со стороны учебных программ делает их эффективным инструментом повышения качества образовательного процесса.

Стимулирующие занятия по физике могут быть организованы в форме исследовательских работ. При этом на занятии рассматривается некоторая экспериментальная, расчётная или качественная задача с изменённым, дополненным или расширенным условием. Занятие организуется по принципам исследовательского обучения. Это значит, что в отличие от традиционных лабораторных работ и практических занятий по решению задач по физике, учащиеся сами выбирают способ решения поставленной задачи, планируют эксперименты и анализируют полученные результаты.

Примером экспериментальной исследовательской задачи, рассматриваемой на одном из стимулирующих занятий, может служить проверка выполнения закона сохранения энергии для математического и пружинного маятников. Данная задача может рассматриваться в качестве дополнения к лабораторным работам «Изучение характеристик колебаний груза на нити» и «Измерение жёсткости пружины при помощи пружинного маятника» в курсе физики 11 класса [1]. Перед учащимися ставится задача разработать способ оценки точности выполнения закона сохранения энергии для данных физических систем и объяснить полученные результаты.

Для решения поставленной задачи учащиеся использовали несколько различных подходов. Один из наиболее эффективных подходов



заключался в измерении амплитуды колебаний по прошествии определённого количества периодов и сравнении полученной величины с начальной амплитудой колебаний. Согласно другому подходу измерялось время полной остановки маятника. На основании количества совершённых колебаний проводилась оценка энергетических потерь за одно колебание. Оба подхода позволили получить удовлетворительные результаты.

Примером расчётного задания, которое может быть рассмотрено на стимулирующих занятиях, может служить задача о зажигании неоновой лампы, рассмотренная во многих учебных пособиях по физике [2, 3] в рамках темы «Законы переменного электрического тока» в 11 классе средней школы. При решении необходимо ответить на вопрос: будет ли светить неоновая лампа в цепи с заданными частотой и действующим напряжением переменного тока. Напряжение зажигания и гашения лампы также считаются известными.

При рассмотрении вышеописанной задачи на стимулирующих занятиях учащимся предлагается выполнить следующие задания:

- 1) определить, какую часть периода будет светить неоновая лампа;
- 2) оценить время между вспышками;
- 3) оценить минимальную частоту и минимальное напряжение в цепи, достаточные для того, чтобы человек не замечал вспышек.

Поставленная задача может быть решена аналитически или графически. При аналитическом подходе необходимо решить ряд тригонометрических уравнений относительно времени или частоты. Для выполнения третьего задания необходимо знать теоретический предел различения вспышек человеческим глазом. При выполнении данной работы этот предел принимался равным 14–15 Гц.

При решении данной задачи графическим методом необходимо начертить график зависимости напряжения в цепи от времени и выделить диапазон свечения лампы (рисунок 1).

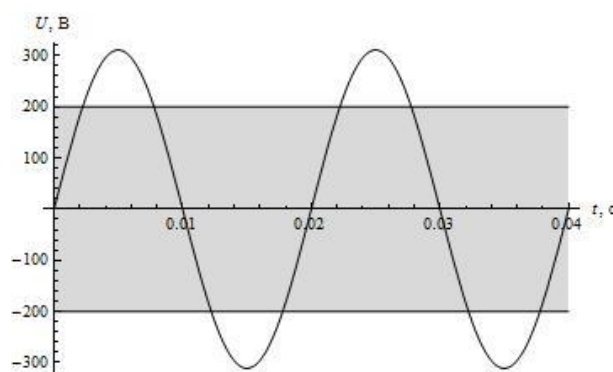


Рисунок 1 – Зависимость напряжения в цепи переменного тока от времени с выделенным диапазоном свечения неоновой лампы

По построенному графику учащиеся оценивают время свечения лампы за период и время между вспышками.

Для выполнения третьего задания в одних осях чертятся несколько графиков, отличающихся частотой переменного напряжения (рисунок 2а) и амплитудой колебаний (рисунок 2б).

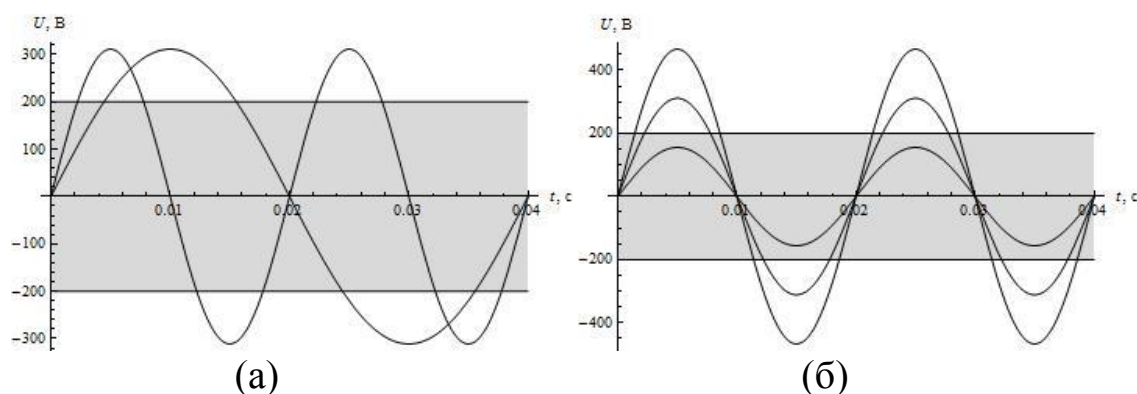


Рисунок 2 – Зависимость напряжения переменного тока от времени при различной частоте (а) и различной амплитуде (б) колебаний в цепи

Из графиков рисунок 2 аналогично проводится оценка частоты переменного тока в цепи и находится теоретический предел амплитуды напряжения, при которой вспышки неоновой лампы не будут заметны человеческому глазу.

При тщательном выполнении исследовательских работ учащиеся на практике осваивают закономерности изучаемых физических явлений, делают предположения, выполняют расчёты, планируют эксперименты, строят графические зависимости, анализируют полученные результаты, то есть совершенствуют основные исследовательские умения и углубляют свой уровень знаний по учебному предмету.

### Литература

1. Жилко В.В. Физика: учеб. пособие для 11-го кл. общеобразоват. учреждений с рус. яз. обучения с 12-летним сроком обучения (базовый и повышенный уровни) / В.В. Жилко, Л.Г. Маркович. – 2-е изд., исправленное. – Минск: Нар. асвета, 2008. – 359 с.: ил.

2. Савченко Н.Е. Решение задач по физике: учеб. пособие / Н.Е. Савченко. – 10-е изд. – Минск: Выш. шк., 2011. – 479 с.: ил.

3. Физика: 3800 задач для школьников и поступающих в вузы / Авт.-сост. Н.В. Турчина, Л.И. Рудакова, О.И. Суров и др. – М.: Дрофа, 2000. – 672 с.: ил. – (Большая библиотека «Дрофы»).

**Е.Н. Васильева (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **УЧЕБНИК ФИЗИКИ КАК СРЕДСТВО ОРГАНИЗАЦИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ**

Познавательная учебная деятельность учащихся является специфическим видом деятельности, направленной на самого обучающегося как её субъекта — совершенствование, развитие, формирование его как личности благодаря осознанному, целенаправленному присвоению им общественного опыта. Это достаточно сложный процесс, и он не всегда по разным причинам осуществляется эффективно. Требуется создание дидактического обеспечения организации познавательной деятельности учащихся, т. е. такой деятельности, при которой учащиеся в специально созданной ситуации сами: формулируют познавательные цели, описывают модель результата познавательной деятельности, подбирают или создают способы и средства конкретных действий, выполняют запланированные действия, оценивают и осознают степень достижения запланированных результатов, осознают причины отклонения реальных результатов познания от запланированной модели, оценивают свое эмоциональное состояние и планируют способы преодоления возникших трудностей. Центральный, связующий компонент комплекса средств обучения – учебник. В нем в полной мере отражается содержание и объем физических знаний, которые должны усвоить учащиеся. Содержание учебника определяется программой. Программа включает перечень структурных элементов физических знаний (понятий, законов и закономерностей, законов и методов познания) для усвоения учащимися при изучении физики.

Содержание обучения в учебнике рассматривается всегда с учетом таких принципов дидактики, как научность, систематичность, наглядность, сознательность. В нем в той или иной мере отражается методика преподавания учебного предмета: приводятся материалы и инструкции для самостоятельных работ и практических занятий учащихся, для наблюдений и опытов, задачи и вопросы для проверки знаний, осуществления обратной связи и освоения учебных и практических умений. Содержание этих частей учебника не в достаточной мере ориентировано на организацию познавательной деятельности в соответствии с ранее приведенными схемами. В современных условиях особое значение учебной книги возрастает.

Она в большей мере принимает на себя обучающие функции, ранее целиком принадлежащие учителю. Из пассивного носителя информации

учебник превращается в активную дидактическую систему, которая должна обеспечить ученику самоконтроль за усвоением знаний, а также способствовать формированию физического стиля мышления и специфической языковой культуры. Будучи ведущим дидактическим средством, учебная книга по физике призвана обеспечить оптимальные условия для самообразовательной работы: ученик должен иметь реальную возможность изучить и осознать содержащийся в ней учебный материал. Одним из основополагающих дидактических оснований для конструирования учебника является учет единства содержательной и процессуальной сторон обучения. В связи с этим учебник выступает одновременно как носитель содержания образования и форм фиксации различных элементов содержания, и как проект (модель) учебного процесса (познавательной учебной деятельности). Поэтому в его структуре и содержании должны быть отражены основные этапы этого вида деятельности, удовлетворяющие следующим требованиям:

1. Формирование познавательного интереса учащихся средствами эпиграфов, цитат ученых, описаний истории научных открытий, практически значимых ситуаций.

2. Включение в содержание учебника материала по организации рефлексии деятельности учащимися. Это могут быть вопросы и задания.

3. Модульное построение содержания обучения, при котором учебные элементы физических знаний в рамках параграфа объединяются в логически завершенную систему, воспринимающуюся учащимися в рамках одного урока.

4. Актуализация исходных (базовых) знаний учащихся путем их перечисления вначале каждого учебного модуля.

5. Учет психологических особенностей формирования мышления и личности учащегося.

6. Построение содержания в соответствии с принципом поэтапного формирования предметных знаний (достигается эффективным сочетанием составных частей содержания).

7. Включение в содержание учебника теоретических основ учебных задач и алгоритмических предписаний их решения.

8. Придание исследовательского характера описания лабораторных работ и исследовательских заданий.

9. Усиление таких основных требований к описанию содержания обучения как логичность, систематичность и последовательность, экономичность.

10. Введение в структуру учебника описания содержания обучения для дополнительного чтения, логически связанного с основным содержанием.

**Я.В. Васильева (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **А.В. Семченко**, к.ф.-м.н., доцент

## **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАДАЧ ТВОРЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ПО ФИЗИКЕ НА РАЗВИТИЕ ЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ УЧЕНИКОВ СТАРШИХ КЛАССОВ**

Развитие мышления учащихся многократно ускоряется и усиливается, если, обучая физике, одновременно учить умелому применению различных мыслительных приемов. Мышление учащегося проявляется в умении анализировать и синтезировать, обобщать, конкретизировать, то есть в умении применять различные приемы мыслительной деятельности к изучаемому материалу, к решению задачи, к любой жизненной ситуации.

Надо постоянно напоминать, что, прочитав в книге или услышав на уроке при объяснении, при ответе товарища какое-либо утверждение, полезно проверить, действительно ли оно справедливо, поставив перед собой вопросы: «Почему?», «На каком основании?»

Чтобы учащиеся действительно выполняли перечисленные рекомендации, чтобы целенаправленно управлять их мыслительной деятельностью, надо сначала ставить конкретное задание, направляющее усилие учащихся на использование определенных мыслительных процессов, а затем предлагать тот или иной абзац учебника, слушать объяснение.

Решение задач по праву считается одним из средств развития мышления. Теоретические исследования и практика обучения показывает, что формирование этого умения у учащихся представляет сложнейшую проблему учебного процесса по физике.

Физическая задача – это ситуация, требующая от учащихся мыслительных и практических действий на основе законов и методов физики, направленных на овладение знаниями по физике и на развитие мышления.

Многие учащиеся и выпускники школ испытывают большие трудности в решении даже стандартных типовых задач. Отсутствие у школьников умений решать задачи создает у них отрицательное отношение к физике, разрушает интерес, подрывает веру в собственные силы.

Главная причина, приводящая к этому состоит в том, что школьники не учатся методам решения задач, а просто пытаются решить их путем проб и ошибок, стремятся найти подходящую формулу, ведущую к ответу.

Физика как учебный предмет обладает большими возможностями для создания условий творческого саморазвития школьников. Такие условия могут быть созданы при включении в учебный процесс по физике задач творческого характера.

Нестандартные задачи требуют нестандартного мышления, их решение невозможно свести к алгоритму. Поэтому наряду с традиционными методами необходимо вооружить учащихся и *эвристическими методами* решения задач, которые основаны на фантазии, преувеличении, «вживании» в изучаемый предмет или явление и др.

Например, использование эвристических методов технического творчества (прямая и обратная мозговая атака, метод эвристических приемов и метод морфологического анализа и синтеза) позволяют развить творческое воображение и способности учащихся сделать первые шаги к изобретательству — созданию новых технических решений.

Эти методы не просто интересны, они раскрывают творческий потенциал ученика, развивают образное мышление, обогащают духовную сферу. Они помогут учителю показать физику как предмет глубоко значимый для любого человека, огромный культурный аспект физической науки, сформировать устойчивый интерес к ее изучению.

Развитие мышления учащихся многократно ускоряется и усиливается, если, обучая физике, одновременно учить умелому применению различных мыслительных приемов. Мышление учащегося проявляется в умении анализировать и синтезировать, обобщать, конкретизировать, то есть в умении применять различные приемы мыслительной деятельности к изучаемому материалу, к решению задачи, к любой жизненной ситуации.

Рассмотрим пример решение задач творческого характера, применяемых на уроке физики в 10 классе на тему «Тепловые явления».

Задача 1: Вы собрались завтракать и налили в стакан кофе. Но вас просят отлучиться на несколько минут. Что надо сделать, чтобы к вашему возвращению кофе был горячим: налить в него молоко сразу перед уходом или тогда, когда вы вернётесь?

Решение: Скорость охлаждения пропорциональна разности температур нагретого тела и окружающего воздуха. Поэтому следует сразу несколько охладить кофе, влив в него молоко, чтобы дальнейшее остывание происходило медленнее.

Задача 2: После заполнения водохранилища в некоторых местах оказались под водой остатки каменных построек. Почему лёд над такими постройками менее прочен, чем в других местах водохранилища?

Решение: В глубоких водоёмах вода, как известно, промерзает не до дна. Самые нижние слои воды имеют температуру  $4^{\circ}\text{C}$ . Температура более высоких слоёв понижается по мере приближения к поверхности, и самые верхние слои обращаются в лёд.

Теплопроводность камня больше, чем теплопроводность воды, поэтому по каменным стенам от нижних тёплых слоёв воды и от дна водохранилища тепловые потоки поднимаются вверх, поэтому, температура воды над постройками выше, а лёд, следовательно, тоньше.

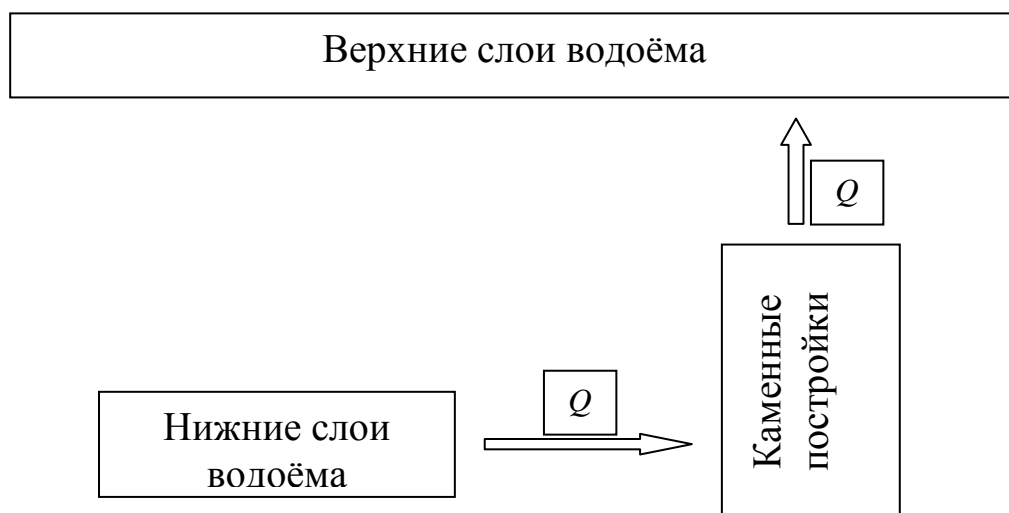


Рисунок 1 – Иллюстрация к задаче 2

Развивающий эффект дает не отдельно взятая задача, а вся серия задач в целом.

Умение логически мыслить, правильно рассуждать является необходимым условием для глубокого и сознательного усвоения физики, а в самой тесной связи с этим умением находится умение с полной ясностью и с возможно большей точностью излагать свои мысли, правильно с логической и стилистической стороны – строить предложения, употреблять только нужные слова и этим достигать необходимой краткости.

### Литература

1. Кулюткин, Ю.К. Эвристические методы в структуре решений / М.: Педагогика, – 1970. – С.118–135.
2. Макеев, Г.П. Физические парадоксы и занимательные вопросы / Г.П. Макеев, М.С. Цедрик / Мн.: Нар. асвета, 1981. – 39. – 108 с.

**И.С. Вистунова (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.Ф. Шолох**, к.ф.-м.н., доцент

### КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Знания о физическом научном эксперименте формируются, прежде всего, в процессе ознакомления школьников с историческими опытами. Чтобы оно было эффективным, требуется выполнение ряда условий. Следует знакомить учащихся с такими историческими опытами, которые сыграли в развитии физики значительную роль. Показ исторического

опыта не должен изобиловать второстепенными техническими подробностями, но должен отражать его суть. Учитель должен обращать внимание учащихся на те упущения, которые он сознательно вводит для показа главного в данном явлении. Необходимо разъяснить, почему в действительности путь к этим фундаментальным опытам был таким сложным и длительным, полным ошибок и заблуждений. В противном случае у школьника может создаться представление, что в науке все делается просто и «с первого раза». При проведении исторических опытов можно использовать современное оборудование, однако при этом необходимо рассказать школьникам, каким оборудованием в действительности пользовались исследователи (показать исторические рисунки, фотографии, модели и т. д.). Следует раскрывать связь данного эксперимента с научной и социальной обстановкой, сложившейся к этому времени, сформулировать задачи, которые были решены в науке в результате проведения данного эксперимента.

Полезно систематизировать многочисленные исторические наблюдения и опыты курса физики средней школы по их функциональному признаку – реализации определенной задачи и значению в развитии физической науки.

Классификация:

– опыты, благодаря которым было положено начало новым разделам физики (опыт Эрстеда по отклонению магнитной стрелки вблизи проводника с током; опыты Фарадея по электромагнитной индукции, опыты Беккереля по обнаружению радиоактивности; опыты Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц и др.);

– опыты, позволяющие открыть отдельные физические явления (опыты Ньютона по дисперсии света; опыты Юнга и Френеля по интерференции света; обнаружение Герцем фотоэффекта; опыты Резерфорда по превращению ядер);

– опыты, позволяющие установить свойства и закономерности открытых ранее явлений (опыты Галилея по кинематике равноускоренного движения; опыт Бройля с газами; опыт Кулона по определению силы статического взаимодействия; опыты Столетова по фотоэффекту; опыты Иофе по изучению механических свойств твердых тел);

– опыты, с помощью которых была доказана справедливость фундаментальных теорий (опыты Штерна и Перрена, подтвердившие справедливость молекулярно-кинетической теории; опыт Комптона, подтвердивший справедливость квантовой теории света; опыт Дэвиссона – Джермера, подтвердивший идею де Бройля о волновых свойствах электрона);



– опыты, окончательно отвергнувшие или подтвердившие справедливость теоретического положения (опыт Паскаля по атмосферному давлению; опыт Ньютона с трубкой; опыт Фуко по определению скорости света в воздухе и воде);

– опыты, в которых определяется точное значение физических величин и постоянных (опыты Милликена по определению постоянной Планка и заряда электрона):

– опыты и исследования по созданию новых экспериментальных средств и методов, новых материалов, техническому использованию открытых явлений (создание камеры Вильсона и счетчика Гейгера, опыты Фарадея, опыты Якоби, создание ускорителей элементарных частиц).

Изучение исторических опытов в соответствии с проведенной классификацией помогает избежать возникновения у учащихся ошибочного представления об одинаковом значении всех исторических опытов, дает возможность показать круг задач, которые решает физический эксперимент в науке.

**И.Е. Волынец (УО «БГПУ им. М. Танка», Минск)**

Науч. рук. **И.М. Елисеева**, д.т.н., профессор

## **ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В ХОДЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Под учебно-исследовательской деятельностью учащихся понимают [1] специально организованную, сознательную творческую деятельность учащихся, по своей структуре соответствующую научной деятельности, результатом которой является формирование познавательных мотивов, исследовательских умений, субъективно новых для учащихся знаний или способов деятельности. В отличие от научного исследования, целью которого является открытие объективно нового и значимого для науки знания, в учебном исследовании ученик делает открытие «для себя». В процессе учебно-исследовательской деятельности учащиеся приобретают навык исследования как универсального способа освоения действительности, развивают способность к исследовательскому типу мышления.

Одним из важнейших этапов в проведении учебно-исследовательской деятельности является непосредственное проведение эксперимента и обработка его результатов. Для количественной оценки результатов проводимого эксперимента учащиеся измеряют физические величины.

Измерить физическую величину – значит сравнить ее с однородной физической величиной, принятой за единицу измерения [2].

Вследствие несовершенства органов чувств человека и измерительной аппаратуры, любые измерения приводят лишь к приближенным значениям измеряемых величин. Для повышения точности результатов исследования требуется найти наиболее близкое к истинному значение измеряемой величины и оценить допустимую погрешность.

При проведении лабораторного эксперимента согласно учебной программе в 9 классе учащиеся впервые используют оценку погрешностей измерений. При этом они определяют абсолютную и относительную погрешности.

Среди методов для оценки погрешностей используют оценку погрешностей прямых измерений методом цены деления и метод подсчета цифр. [3]

Для проведения лабораторного эксперимента в 9 классе по механике этих методов достаточно, однако в ходе выполнения учебно-исследовательской работы учащихся зачастую, с целью прогнозирования возможных результатов, необходимо провести оценку погрешностей при помощи других методов, например:

- метод границ;
- графический метод.

Для оценки результатов измерения можно использовать метод границ [4]. Исходными данными этого метода являются средние значения аргументов  $\langle x \rangle$ ,  $\langle y \rangle$ , ...,  $\langle z \rangle$  уравнения и измеренные их предельные погрешности  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , ...,  $\Delta z$ . С помощью уравнения измерения  $U = f(\langle x \rangle, \langle y \rangle, \dots, \langle z \rangle)$  определяют два значения величины  $U$ : одно меньше истинного (нижняя граница)  $\underline{U}$ , а другое выше истинного (верхняя граница)  $\overline{U}$ . Алгоритм метода границ следующий [4]:

1. Определяют верхние и нижние границы всех аргументов уравнения:  $x = \langle x \rangle - \Delta x$ ; ...  $x = \langle x \rangle + \Delta x$

2. Используя функциональную зависимость, определяют верхнюю и нижнюю границы искомой величины ( $U$ ). При этом нижние границы округляют с излишком, а верхние с недостатком [2].

3. Приблизительное значение физической величины находят при помощи формулы  $\langle U \rangle \approx 0,5(\underline{U} + \overline{U})$ .

4. Предельную погрешность измеряют по формуле  $\Delta U = 0,5(\overline{U} - \underline{U})$ .

5. Результат измерения записывают в виде:  $U = \langle U \rangle \pm \Delta U$ .

Для повышения наглядности полученных результатов можно использовать графический метод. При построении графиков соблюдают определенные правила [2]. По оси абсцисс (горизонтальной) принято

откладывать аргумент, а по оси ординат (вертикальной) – функцию. Масштабы по обеим осям выбирают так, чтобы добиться наилучшей наглядности. Затем анализируют результаты, полученные экспериментальным путем (это легче сделать, если они оформлены в виде таблиц), и устанавливают границы изменения переменных: область определения и множество значений функции.

На графиках обычно приводят только те области изменения величин, которые экспериментально исследованы. Необязательно, чтобы началом отсчета была точка (0;0). На осях указывают обозначения величин и их единицы, а также (при необходимости) множители, определяющие порядок величин. Стрелки, указывающие направления осей, на экспериментальных графиках обычно не ставят. Масштабы наносят в виде чисел, расположенных на достаточном промежутке на числовой прямой (например, 4,6,8...). Например, график зависимости ускорения от силы во втором законе Ньютона:

$$a = \frac{F}{m}.$$

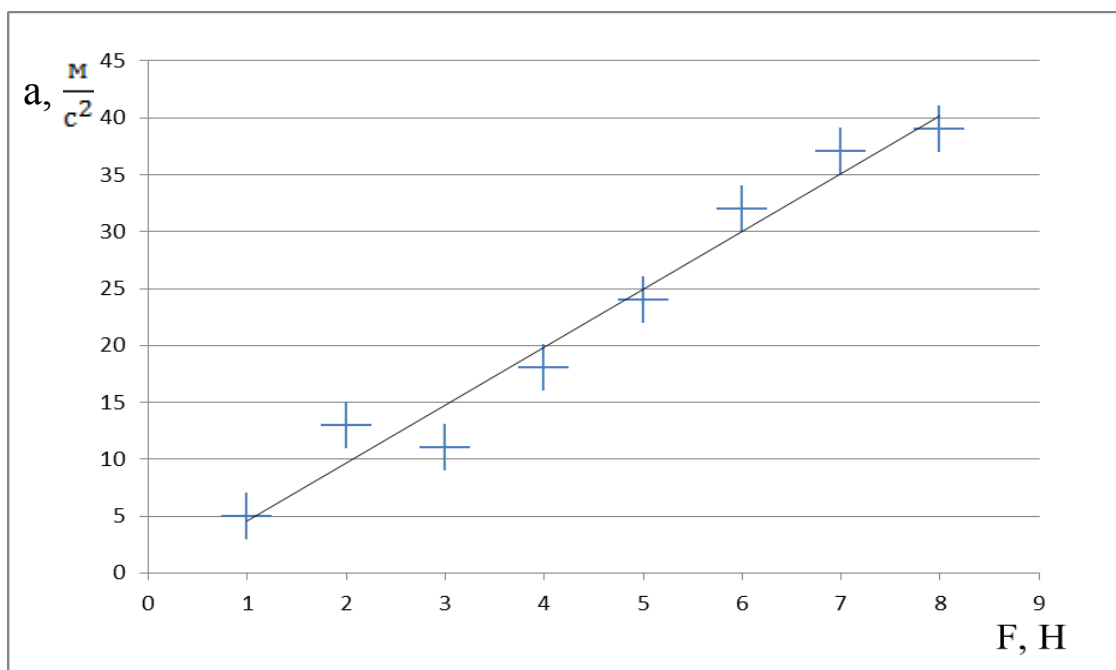


Рисунок 1 – График зависимости ускорения от приложенной силы во втором законе Ньютона

Погрешности указывают в виде крестиков с линейными размерами  $2\Delta x$  вдоль оси  $x$  и  $2\Delta y$  – вдоль оси  $y$ , построенными около этих точек как около центров.

Вышерассмотренные методы могут быть использованы учителем при организации и проведении учебно-исследовательской деятельности учащихся, т. к. они позволяют провести исследование более точно и наглядно.

## Литература

1. Савенков, А.И. Психологические основы исследовательского подхода к обучению: учебное пособие / А.И. Савенков. – М.: Ось-89, 2006. – 480 с.
2. Бондарь, В.А. Общая физика. Практикум: учеб. пособие / В.А. Бондарь [и др.]; под общ. ред. В.А. Яковенко. – Минск : Выш. шк., 2008. – 572 с.
3. Исаченкова, Л.А. Физика : учеб. пособие для 9-го кл. общеобразоват. учреждений с рус. яз. обучения / Л.А. Исаченкова, Г.В. Пальчик, А.А. Сокольский; под. ред. А.А. Сокольского. – Минск : Нар. света, 2010. – 213 с.
4. Слободянюк, А. И. Исследовательская деятельность учащихся по физике / А. И. Слободянюк, Л. Е. Осипенко, Т. С. Пролиско. – Минск : Красико-Принт, 2008. – 144 с.

**А.В. Галета (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

### **МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИСУНКОВ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Активизация процесса обучения является одной из основных задач, стоящих перед школой. Решение этой задачи идет по разным направлениям, в том числе и по направлению усиления наглядности.

Термин “наглядность” в настоящее время понимается очень широко. Мы же ограничимся его первоначальным значением и будем говорить о роли визуальной наглядности. Известно, что к средствам такой наглядности следует относить не только сами предметы, но и их изображения - рисунки, которые могут быть выполнены в схематизированном (упрощенном) или символическом (упрощенном) виде. Символическое изображение предмета по форме уже не напоминает самого предмета, а отображает его функцию, т. е. служит своеобразным понятием.

Рисунки особенно необходимы тогда, когда объекты не доступны непосредственному наблюдению, а слово учителя оказывается недостаточным, чтобы дать представление об изучаемом объекте или явлении. В этом случае система графических обозначений может взять на себя функции языка.

Правильно выполненный рисунок с некоторыми объяснительными надписями служит своеобразным графическим конспектом урока, который чрезвычайно удобен для повторения изучаемого материала и при ответах учащихся.

Для того чтобы графический язык успешно служил целям познания, графические образы должны однозначно соответствовать фрагментам действительности.

Однозначное соответствие между символическим изображением и элементом действительности существует во всех случаях, предусмотренных ГОСТом. Однако учитель часто использует на уроках графические изображения, не предусмотренные стандартом, причем в процессе преподавания начертание графических образов он иногда произвольно изменяет (аналогично поступают и авторы методической литературы), что затрудняет восприятие и формирование понятий. Поэтому важна унификация графических обозначений, используемых в педагогической практике.

Применяемые учителем рисунки по степени сложности можно разбить на две группы:

- простые, которые, безусловно, может и должен выполнять каждый учитель;
- сложные, которые должны воспроизводиться типографским способом или людьми соответствующей квалификации.

Простые рисунки учитель выполняет по ходу рассказа, а не использует заранее заготовленные на доске или на листах бумаги, а также полученные методом проецирования на экран. Рисунок этого типа должен воспроизводиться учеником при ответах.

Сложные рисунки могут быть представлены в виде книжных иллюстраций или настенных учебных таблиц. Такие рисунки желательно сопровождать простой скелетной схемой, которая поможет учащимся закрепить в памяти необходимую информацию.

Рисунки, применяемые на уроках физики, занимают огромную роль в формировании образов, которые лежат в основе представлений учащихся об основных физических явлениях.

**Б.П. Грецкий (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **МЕТОДИКА ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Каждая демонстрация, проводимая на уроках физики, только тогда имеет педагогическую ценность, когда она наглядна и убедительна.

Демонстрация производит тот эффект, на который рассчитана, если при ее постановке соблюдается ряд условий:

- демонстрации составляют органическую часть изложения. Каждая демонстрация должна ставиться на том уроке, на котором разбирается тема. Когда опыт ставится в отрыве от теоретического разбора темы, он теряет свое значение и вызывает значительно меньший интерес учащихся;

- важно, что бы опыт вытекал из самого изложения, а не являлся механическим придатком. Учащимся должна быть очевидна необходимость данной демонстрации. Опыт должен дать ответы на возникшие в предшествующей беседе вопросы;

- каждая отдельная демонстрация не должна быть слишком продолжительной и не следует перегружать урок большим их количеством.

При невыполнении данного условия у учащихся наступает утомление, падает интерес; в результате эффективность демонстрации получается малой;

- основная задача демонстрации учителя – показ физических явлений с качественной стороны. Учитель показывает, при каких протекает данное явление, от каких факторов зависит его интенсивность, в каком направлении происходит изменение той или иной величины при изменении других;

- опыт на уроках физики может служить иллюстрацией положения или закона, обоснованного учащимся теоретически. Но основным путем, которым следует идти, должен быть иным. Опыт должен давать на поставленные вопросы, они являются той базой, на которой ведется изложение;

- существенную роль играет расположение приборов на экспериментальном столе. На экспериментальном столе не должно быть других установок и приборов, кроме необходимых для данной демонстрации. Приборы необходимо при некоторых установках поворачивать, обращая к различным частям класса;

- демонстрация должна сопровождаться схематическими рисунками, выполненными учителем на доске и учащимися в своих тетрадях;

- демонстрация только тогда будит стоять на должной высоте, когда учитель тщательно подготовлен к ней. Каждый прибор, выносимый для демонстрации, должен быть всесторонне испытан и тщательно подготовлен. Установка приборов, сборка частей производится на уроке на глазах учащихся, все детали должны быть подготовлены заранее. Полезно при предварительных опытах фиксировать время, необходимое для их проведения, это позволит правильно распределить время на уроке;

- слово учителя и опыт неотделимы друг от друга. Опыт проводится в процессе последовательной развивающейся речи учителя;

- если учащихся приходится приглашать к экспериментальному столу, то необходимо позаботиться, чтобы время уходило как можно

меньше, не нарушалась дисциплина.

Значение демонстрационного физического эксперимента заключается в том, что:

- учащиеся знакомятся с экспериментальным методом познания в физике, с ролью эксперимента в физических исследованиях (в итоге у них формируется научное мировоззрение);
- у учащихся формируются некоторые экспериментальные умения: наблюдать явления, выдвигать гипотезы, планировать эксперимент, анализировать результаты, устанавливать зависимости между величинами, делать выводы и т. п.

Демонстрационный эксперимент, являясь средством наглядности, способствует организации восприятия учащимися учебного материала, его пониманию и запоминанию; способствует повышению интереса к изучению физики.

Преподавание физики без демонстрирования опытов является неправильным. Никакое яркое и живое описание не сможет заменить восприятие подлинного опыта. Изложение физики без демонстрации опытов принимает догматический характер, а полученные учащимися знания являются формальными и нежизненными и потому ненужными.

Опыт необходимо показывать не до рассказа о нем и не после, а одновременно с ним.

Демонстрации должны быть поставлены таким образом, чтобы никакие второстепенные стороны явления, а тем более побочные впечатления не отвлекали учащихся от основной цели демонстрации.

Опыт, демонстрируемый преподавателем, всегда должен удаваться.

**Ю.А. Гудкова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. А.Н. Годлевская, к.ф.-м. н.

## **ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ»**

Современный молодой специалист должен быть компетентным в своей профессиональной области, способным самостоятельно принимать грамотные и ответственные решения, основываясь на результатах анализа больших объёмов информации, владеющим современными средствами, методами и технологией работы с ней [1]. Подготовка таких специалистов невозможна без создания в вузе многоуровневой системы менеджмента качества. Важным звеном в этой системе является

контроль знаний и умений студентов в различных формах, одной из которых является тестирование.

Тестирование по своей объективности и скорости получения результата превосходит все остальные формы контроля [2]. Однако выявить реальный уровень знаний, умений, навыков учащегося этим способом удаётся не всегда, так как не все студенты выполняют задания ответственно, обдумывая ответы. Поэтому при разработке тестов следует если не отказаться, то хотя бы свести к минимуму число тестовых заданий с альтернативным ответом и вводить в тест больше заданий с несколькими правильными ответами, заданий открытого типа на применение знаний. Тестирование можно использовать и как средство для мотивации учащихся к более активной работе по изучению учебного материала, развитию логического мышления и способностей к аналитической деятельности. При использовании тестов в тренинговом режиме развивается внимание, укрепляется память, устраняются пробелы в знаниях [3]. Располагая несколькими вариантами баз данных, можно организовать образовательную деятельность учащихся с учётом их индивидуальных особенностей, корректировать границы зоны ближайшего развития каждого учащегося с учётом итогов контрольного тестирования. Организация тестового контроля и самоконтроля – одна из актуальных задач в учреждениях образования.

Целью настоящей работы является разработка тестовых заданий для контроля качества подготовки студентов по темам «Цветные оптические стекла», «Оптические кристаллы» спецкурса «Оптические материалы и методы их исследований».

Нами разработаны тестовые задания, в которых полностью отражено содержание учебного материала по указанному ранее разделу спецкурса «Оптические материалы и методы их исследований». В этом комплексе содержатся задания различных типов: с выбором одного правильного ответа, с выбором нескольких правильных ответов, задания в открытой форме. В заданиях открытой формы полностью исключена вероятность угадывания правильного ответа, так как готовых ответов к ним не предлагается – выполняя тест на воспроизведение информации, студент сам вспоминает необходимые для ответа сведения.

Данная работа является продолжением исследований выполненных на предыдущих этапах.

### Литература

1. Багутдинова Н. Управление качеством образования / Н. Багутдинова, Н. Новиков. // Стандарты и качество. – 2002. – № 9. – Режим доступа: <http://festival.1september.ru/articles/531473/>. – Дата доступа: 24.03.2012.



2. Белов А.А. Система анализа результатов тестирования // Университетское образование: Сборник материалов VIII Междунар. науч.-методич. конф. – Пенза: ПДЗ, 2004. – С.497 – 498. – Режим доступа: <http://www.donntu.edu.ua/2005/fvti/changli/library/problems.htm> /. – Дата доступа: 24.03.2012.

3. Чельшкова М.Б. Адаптивное тестирование в образовании – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/65577.html>/. – Дата доступа: 24.03.2012.

**Н.С. Гуськова (УО «БГПУ им. М. Танка», Минск)**

Науч. рук. **И.М. Елисеева**, д.т.н., профессор

## **МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»**

В общей системе естественно-научного образования современного человека физика играет основополагающую роль. Под влиянием физической науки развиваются новые направления научных исследований, возникающие на стыке с другими науками, создаются техника и технологическая база инновационного развития общества.

При разработке содержания физического образования учитываются общие принципы единства содержательной, структурной и организационной сторон обучения физике на разных ступенях общего среднего образования, а также дидактические принципы. Содержание физического образования должно удовлетворять интересам и запросам учащихся.

При изучении тепловых явлений в базовом курсе физики в качестве основных рассматриваются вопросы о тепловом движении, теплопередаче и работе, изменении агрегатных состояний вещества и тепловых двигателях.

Тема «Тепловые явления» включает систему понятий, формирование которых имеет важное мировоззренческое и политехническое значение. К ним относят: тепловое движение, внутренняя энергия, способы изменения внутренней энергии, количество теплоты, удельная теплоемкость вещества, изменение агрегатных состояний вещества (плавление и отвердевание, испарение и конденсация), их объяснение на основе молекулярно-кинетических представлений, превращения энергии в механических и тепловых процессах, тепловые двигатели.

Целью данной работы является реализация на практике методики использования электронных средств обучения в образовательном процессе при изучении темы «Тепловые явления».

Обилие понятий, которые нужно усвоить учащимся при изучении темы «Тепловые явления», требует тщательной разработки методики их формирования. Учитель при этом должен опираться на знания, полученные учащимися при изучении первоначальных сведений о строении вещества в VI классе, на понятия о работе и энергии, изученных в VII классе. Это необходимо для объяснения сущности тепловых явлений и формирования основных понятий, таких, как тепловое движение, температура, внутренняя энергия, теплопередача, количество теплоты, удельная теплоемкость вещества.

Для преодоления трудностей при изучении тем, связанных с формированием у учащихся сложных и абстрактных понятий, надо идти по пути широкого использования демонстрационного и лабораторного физического эксперимента, решения задач и привлечения примеров из жизни, быта, природы и производства.

Применение информационных технологий, основанных на результатах исследований в области микроэлектроники и компьютерной техники, привело к тому, что в настоящее время необходимым и неотъемлемым элементом в процессе обучения является персональный компьютер.

Сегодня стало возможным создание на основе персонального компьютера универсальных измерительных комплексов, позволяющих не только измерять, но и анализировать результаты измерений. С этой целью к персональному компьютеру должны быть присоединены датчики различных физических величин и интерфейсный блок, позволяющий информацию с датчиков автоматически вводить в компьютер, образуя, тем самым, компьютерную лабораторию.

Компьютерная лаборатория L-микро нашла широкое применение при изучении тепловых явлений в 8 классе. При изучении темы «Работа и теплопередача как способы изменения внутренней энергии. Количество теплоты. Единицы количества теплоты» будет целесообразно показать учащимся демонстрационный эксперимент «Изменение внутренней энергии при совершении работы. Адиабатическое расширение и сжатие газа».

В первой части опыта подтверждают результат: при совершении работы над телом (сжатии газа) внутренняя энергия его увеличивается, во второй части опыта, когда газ расширяется, регистрируют уменьшение температуры, что соответствует уменьшению внутренней энергии газа.

При изучении темы «Тепловые явления» в 8 классе учитель также может использовать видеоматериалы «Собрание демонстрационных опытов для средней общеобразовательной школы. Школьный физический эксперимент. Основы молекулярно-кинетической теории. Часть 1–2».

В этих видеоматериалах очень наглядно описываются различные явления, процессы и закономерности, которые учащимся необходимо уяснить в ходе изучения данной темы.

Применение видеофрагментов при изучении темы «Тепловые явления» абсолютно оправдано, т.к. здесь рассматриваются явления и физические процессы, которые тяжело реализовать в условиях класса. Также видеофрагменты экономят время урока на объяснение материала. Это позволяет учителю уделять больше внимания пробелам в знаниях учащихся, в понимании нового материала, и сразу же эти пробелы восполнять.

На первом уроке при изучении теплового движения частиц вещества и внутренней энергии учитель может показать учащимся видеофрагменты «Диффузия в жидкостях», «Диффузия в газах», «Броуновское движение», «Модель броуновского движения», «Взаимодействие молекул жидкости» для актуализации и систематизации знаний, которые были получены учащимися ранее на уроках физики в 6 классе. Эти знания будут необходимы при изучении темы «Тепловые явления» в 8 классе.

Компьютерное моделирование при изучении темы «Тепловые явления» позволяет наглядно иллюстрировать эксперименты и явления, воспроизводить их тонкие детали, которые могут быть не замечены наблюдателем при реальных экспериментах. Использование компьютерных моделей предоставляется как уникальная возможность визуализации упрощенной модели реального явления. При этом можно поэтапно включать в рассмотрение дополнительные факторы, которые постепенно усложняют модель и приближают ее к реальному явлению. Кроме того, компьютер позволяет моделировать ситуации, нереализуемые экспериментально.

### **Литература**

1. Елисеева И.М, Луцевич А.А., Белая О.Н. Методика обучения физике в 6 – 8 классах: учеб.-метод. пособие / И.М Елисеева. – Минск: БГПУ, 2012. – 80 – 97 с.
2. Исаченкова Л.А., Лещинский Ю.Д. Учебник для 8 класса – Минск: Народная асвета, 2010.
3. Каменецкий С.Е., Иванов Л.А. Методика преподавания физики в средней школе. Частные вопросы / С.Е. Каменецкий. – М.: Просвещение, 1987. – 189 – 208 с.
4. Усова А.В. Методика преподавания физики в 7-8 классах средней школы: пособие для учителя – М.: Просвещение, 1990. – 293–300 с.

**Р.В. Дешкович (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)**

Науч. рук. **А.И. Кравченко**, к.ф.-м.н., доцент

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ**

Сегодня, когда технологический прогресс шагнул далеко, многие ученые ищут способы автоматизации различных научных процессов. Существует множество вычислительной техники самого разного уровня, которая может выполнять различные задачи, начиная от систематизации данных, полученных в ходе исследований, и заканчивая контролем различных научных процессов.

Уже созданы такие машины, как «Watson 2.0», которая оснащена искусственным интеллектом высокого уровня, позволяющая анализировать большие объемы данных за считанные секунды. Сейчас «Watson 2.0» используется сотрудниками медицины. Он помогает диагностировать, а затем выдавать варианты лечения для пациентов со сложной формой рака. Сейчас ведутся работы по переносу Watson 2.0 на персональные компьютеры и мобильные устройства. Но на сегодняшний день, это невозможно, так как это достаточно ресурсоемкая программа, которая расположена на 20 серверах IBM.

В настоящей работе представлена разработка интернет-ресурса, получившего название Fis-assist, что означает «Ассистент в физике», предназначенного для решения типовых задач по физике, рассматриваемых в курсе общей физики для студентов технических специальностей вузов.

Fis-assist должен уметь решать типовые задачи по физике на основе разработанных алгоритмов, которые делятся на определенные классы для каждого раздела физики. Каждый класс позволяет решить только задачи из определенного раздела физики. А также ресурс должен предоставлять пользователю необходимую справку по решению типовых задач по физике.

Fis-assist должен обладать географической доступностью (т. е. каждый пользователь, находясь в любой точке мира, должен иметь возможность воспользоваться ресурсом.). Пользовательская доступность – не смотря на свои знания персонального компьютера каждый пользователь должен беспрепятственно для себя использовать ресурс.

Исходя из выше перечисленных свойств был разработан максимально простой и удобный интерфейс ресурса, который был построен с использованием стандарта Web 2.0

На сегодняшний день разработка алгоритмов ведется по двум направлениям. Классовые алгоритмы – это группа алгоритмов объединяющая

в себе алгоритмы для решения типовых задач по физике из определенных разделов. И универсальный алгоритм, который не привязан к классам и позволяет решить всего 30 % задач по физике.

**В.Н. Ильницкая (УО «БГПУ им. М. Танка», Минск)**

Науч. рук. **К.А. Саечников**, к.ф.-м.н., доцент

## **КОМПЛЕКС ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЛАЗЕРАМ НА КРАСИТЕЛЯХ**

Повышенный интерес к лазерам и лазерным комплексам на протяжении нескольких десятилетий связан с расширяющейся сферой их практического использования. В связи с этим возникла необходимость расширить кругозор будущих преподавателей физики в области оптического приборостроения и квантовой электроники путем введения для студентов старших курсов соответствующего спецкурса.

Курс дисциплины по выбору «Экспериментальная физика. Современные оптические приборы» преследует в качестве основной цели формирование у будущих преподавателей средней общеобразовательной школы общих представлений об основных физических принципах, явлениях и процессах лежащих в основе функционирования систем квантовой электроники во всем многообразии их реализации и применения. В рамках сформулированной цели рассматриваются следующие задачи:

- изучение студентами конструктивных и других особенностей различных типов оптических систем, в том числе и лазерных;
- знакомство с особенностями их конструктивного исполнения, методами управления их параметрами и некоторыми эффектами нелинейной оптики;
- приобретение студентами представлений о роли, которую играют оптические лазерные системы в современной науке, технике, повседневной жизни человека;
- знакомство с конкретными примерами применения современных лазерных и спектроскопических систем в научном эксперименте.

Получение студентами объема знаний представленных в рассматриваемом курсе дает возможность существенно расширить мировоззренческий уровень выпускников БГПУ за пределы программ общеобразовательной школы и осуществлять педагогическую подготовку в системе среднего специального образования, успешно готовиться к вступительным

испытаниям в магистратуру и аспирантуру, работать в исследовательских учреждениях и организациях оптического профиля.

Предлагаемый комплекс лабораторных работ по разделу лазеры на красителях является частью общего цикла лабораторных работ в рамках программы спецкурса. Лабораторные работы выполняются на базе разработанного на физическом факультете БГПУ компактного лазера на красителях (Р-6Ж, Ф-70), внедренных в матрицу полимера (полиметилметакрилат) с накачкой второй гармоникой твердотельного лазера АИГ:Nd<sup>3+</sup> фирмы LOTIS–ТН [1].

Предлагаемый комплекс включает следующие лабораторные работы:

- юстировка лазера на красителях с продольной накачкой;
- исследование генерационных характеристик лазерного излучения;
- изучение возможностей расширения диапазона частот лазерного излучения и сужения спектральной ширины линии генерации.

В ходе выполнения первой лабораторной работы студенты знакомятся со схемами накачки лазеров на красителях и осваивают методику юстировки оптических систем с продольной лазерной накачкой. Получают генерацию лазера на красителе и определяют порог генерации.

Вторая работа начинается с оптимизации генерационных характеристик по мощности, диапазону перестройки линии лазерного излучения, затем измеряется длительность генерируемых импульсов и их спектральная ширина. По полученным экспериментальным результатам рассчитывают КПД лазера на красителе.

При выполнении последней работы закрепляются полученные экспериментальные навыки на другом активном элементе (таблетка с другим красителем). Кроме того, исследуются параметры лазерного излучения в зависимости от коэффициентов отражения зеркал и эффективность использования внутрирезонаторного интерферометра Фабри-Перо для спектрального сужения линии лазерного излучения.

### Литература

1. Ильницкая В.Н. Разработка конструкции и исследование генерационных характеристик лазера на красителе Р-6Ж в твердой матрице с лазерной накачкой // I Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники». ГГУ. 2012. С. 35–37.

**Д.С. Казакова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Н.А. Алешкевич**, к.ф.-м.н., доцент

## **О НЕОБХОДИМОСТИ ВВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТИВНОГО КУРСА ПО ОСНОВАМ МЕТРОЛОГИИ В ШКОЛЕ**

Ученики современной школы заинтересованы в получении знаний на высоком уровне, которые пригодятся им для успешной адаптации в современном мире. Элективные курсы (курсы по выбору) играют важную роль в системе современного профильного обучения на старшей ступени школы [1]. В отличие от факультативных курсов, существующих ныне в школе, элективные курсы как правило обязательны для старшеклассников. Познавательные интересы многих старшеклассников часто могут выходить за рамки традиционных школьных предметов, распространяться на области деятельности человека вне круга выбранного ими профиля обучения. Это определяет появление в старших классах элективных курсов, носящих "внепредметный" или "надпредметный" характер. Одним из таких развивающих курсов может стать элективный курс "Основы метрологии", поскольку в настоящее время существенно возросло значение метрологии и измерений во всех сферах человеческой деятельности. Метрология служит теоретической основой измерений и измерительной техники. Требования к точности, чувствительности, быстродействию, надежности средств измерений непрерывно повышаются. Метрологическая безграмотность приводит иногда к трагическим последствиям как техническим, так и социальным. Метрологические ошибки могут вызывать аварии и даже катастрофы.

Поэтому важнейшей задачей метрологии на современном этапе является повышение метрологической культуры общества. Метрология должна входить в состав базового образования ребенка, чтобы он мог ориентироваться в современном мире, заполненном различными электронными средствами, приборами и измерениями. Вместе с тем, в школьной программе по физике и в соответствующих учебниках для средней общеобразовательной школы уделено недостаточно внимания вопросам метрологии и теории погрешностей. Одним из путей преодоления указанных трудностей может стать рассмотрение основ теории измерений и обработки их результатов, а также методов и средств измерений в рамках элективного курса по основам метрологии.

Целью нашего исследования является анализ возможных форм и методов преподавания основ метрологии в средней общеобразовательной школе и разработка элективного курса «Основы метрологии» для учащихся старшего звена. Анализ литературных источников показал, что введение элективных курсов связано с рядом вопросов и проблем,

которые можно разделить на три группы: организационные, методические и кадровые [2]. Элективные курсы как наиболее дифференцированная, вариативная часть школьного образования потребует новых решений в их организации. Широкий спектр и разнообразный характер таких курсов может поставить школу в затруднительное положение, определяемое нехваткой педагогических кадров, отсутствием соответствующего учебно-методического обеспечения и т. д. Поэтому при разработке элективного курса по основам метрологии необходимо будет ориентироваться на имеющееся в физических лабораториях измерительное и экспериментальное оборудование. Возможности школ по обновлению и поддержанию на надлежащем уровне физических лабораторий современным оборудованием и средствами измерений, к сожалению весьма ограничены. В то же время практически в каждой школе имеются компьютерные классы, да и практически у каждого школьника дома есть персональный компьютер или ноутбук и необходимые навыки работы. Поэтому одним из наиболее простых и реальных путей решения проблем материально-технического обеспечения, может стать переход к виртуальным измерениям и экспериментам.

На данном этапе нами оцениваются возможности и педагогическая целесообразность введения данного элективного курса, формируется программа курса, определяется спектр умений и навыков которые должны быть сформированы в результате изучения теоретического материала и проведения экспериментальных исследований по основам метрологии. Рассматриваются аспекты адаптации программ наиболее удачных и близких по тематике факультативных курсов, обеспеченных учебными и методическими пособиями под метрологические исследования. Это позволит частично решить проблему учебно-методического обеспечения элективных курсов.

Однако, не смотря на ряд рассмотренных трудностей, авторы полагают, что разработка и внедрение элективного курса по основам метрологии в школьный образовательный процесс будет способствовать углубленному пониманию основ теории измерений, приобретению навыков и умений проведения измерений с помощью имеющихся средств измерений и усвоению методов оценки погрешностей измерений.

### Литература

1. Воронина, Г.А. Элективные курсы: алгоритмы создания, примеры программ: практическое руководство для учителя. – М.: Айрис-пресс, 2006. – 128 с.

2. Зубрилин А.А. О некоторых проблемах внедрения элективных курсов // Педагогика. – 2007. – № 7. – С. 32–35.



**Д.С. Казакова (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ВНЕКЛАСНОЙ РАБОТЫ В ШКОЛЕ**

Внеклассные занятия углубляют и расширяют знания учащихся, полученные на уроке, повышают их интерес к предмету. Если учащиеся не вовлечены в активную познавательную деятельность, то любой содержательный материал вызовет в них созерцательный интерес к предмету. Ознакомившись на занятии кружка, конференции или вечере с тем или иным понятием или явлением, ученик постарается глубже понять его суть, захочет получить дополнительную информацию.

К внеклассной работе по предметам предъявляются следующие требования:

- внеклассные занятия, углубляя и расширяя знания учащихся, не должны отвлекать их внимание от основного содержания учебной программы;
- необходима тесная связь учебно-воспитательной работы на уроке и на внеклассных занятиях. Однако внеклассная работа не должна быть простым продолжением учебной работы;
- предлагаемый учащимся для изучения материал должен быть доступен им, соответствовать их возрасту, уровню развития;
- содержание внеклассных занятий и формы их организации должны быть всегда интересны учащимся;
- должна осуществляться глубокая связь индивидуальной, групповой и коллективной работы;
- необходимо сочетание добровольности работы с обязательностью ее выполнения.

Между классной и внеклассной работой есть как сходства, так и различия. Сходство заключается в том, что и та и другая работа решает примерно одинаковый круг общеобразовательных, воспитательных и развивающих проблем. Но есть и ряд различий: тематика внеклассных занятий не предписана, ее выбирает педагог сам либо совместно с учащимися, соотносясь со склонностями и желаниями последних и, конечно, возможностями учебного заведения.

В педагогической литературе отражаются наиболее общие принципы, определяющие работу системы общего образования в целом. Это принципы гуманизации, демократизации, индивидуализации, дифференциации, доступности, вариативности, активности, сотрудничества,

адаптивности и т. д.

На основе результатов анализа психолого-педагогической литературы можно сформулировать ведущие идеи обучения детей в рамках внеклассной работы.

*1. Идея всестороннего развития личности ребенка.*

Смысл этой идеи строится на основе возрастающей активности самой личности. При этом речь должна идти о системности не одних только знаний, но и мотивационно-ценностной, нравственно-практической и интеллектуально-познавательной сфер личности, исключительно только в своем единстве придающих ей позитивный, творческий, созидательный характер. Эмоции, отношения, идеалы не менее важны, чем знания и мастерство.

*2. Идея предоставления ребенку максимальной свободы выбора форм и средств самореализации.*

Основана на ведущей роли отношений творческого сотрудничества между детьми и взрослыми, взаимном уважении достоинств обеих сторон. Проблема свободы – это, прежде всего свобода личностной самореализации в различных видах деятельности. При этом важным предметом педагогического внимания должно стать отношение ребенка, особенно подростка, к самому себе. Уважением к ребенку мы научим его уважать самого себя, тогда он будет уважать и других.

*3. Идея усиления мотивации к творчеству.*

Усиление мотивации к познанию происходит за счет разнообразной разносторонне развивающей, творческой деятельности, организуемой совместно с ребятами. Формирование положительного отношения к учению, познанию, творчеству – главное условие дальнейшего непрерывного самообразования человека. Но творца можно создать лишь посредством упражнения в творчестве.

*4. Принципы организации обучения в рамках внеклассной работы:*

- принцип ориентации на потребности и интересы учащихся;
- принцип опоры педагога на личностные достижения учащихся. Это является условием гуманизации образовательного процесса;
- принцип возможности осуществления самореализации. Самореализация – это особый вид высших потребностей. Существует объективная зависимость успешности образовательного процесса от того, насколько в ходе этого процесса выявляются и актуализируются естественные мотивы самореализации личности;
- принцип взаимосвязи классной и внеклассной работы.

**А.А. Карацюба (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. А.Н. Годлевская, к.ф.-м.н., доцент

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОПРОСА И ИНТЕРАКТИВНЫХ ПЛАНШЕТОВ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Современная школа с ее проблемами заставляет думать о том, как сделать процесс обучения более результативным, как построить образовательный процесс таким образом, чтобы ученик проявлял интерес к знанию. Доступность информационных технологий обуславливает возможность сделать обучение более актуальным, интересным, открытым. Используя их на различных этапах урока, можно существенно повысить интерес учащихся к учебе, а, следовательно, и качество знаний.

В современных школах у учителей есть все возможности для использования на уроках интерактивной техники различных видов. Актуален вопрос о том, как не растеряться в разнообразии новинок, как подобрать для применения на определенных этапах урока такое интерактивное средство, посредством которого можно достичь большего эффекта в работе.

Помимо интерактивных досок в техническом оснащении кабинетов лица МЧС имеются и другие новинки интерактивного оборудования: системы опроса Votum: компьютер с установленной программой Votum, радио ресивер, пульт учителя и пульта учеников (рисунок 1) и интерактивные планшеты (рисунок 2).



Рисунок 1



Рисунок 2

Интерактивная система опроса и голосования Votum – это мобильный комплект, включающий в себя набор пультов для опроса учеников, пульт преподавателя, приемник сигнала и программное обеспечение, устанавливаемое на компьютере (как правило, на ноутбуке). Система голосования обеспечивает учителю возможность быстро провести тестирование учеников и получить результаты в режиме реального времени.

Детальные отчеты удобны для анализа ответов учащихся и на их основе можно оценить знания наиболее полно и объективно.

Основная особенность работы интерактивного планшета состоит в том, что ввод информации осуществляется с использованием электронного пера. При использовании интерактивных планшетов обеспечивается мобильность учителя, возможность работы в любой точке класса. Интерактивный планшет – это интерактивная доска в руках учителя, предназначенная для поддержки групповой работы, содержащая адаптированную коллекцию цифровых образовательных ресурсов, полностью совместимая с MS Power Point, MS Word, MS Excel.

Опишем пример из личного опыта использования системы Votum и интерактивных планшетов на уроке физики по теме «Оптика. Обобщение систематизация знаний». Отметим, что подготовка таких уроков требует дополнительных затрат времени, однако в последующей работе готовые разработки можно использовать и корректировать с учётом уровня подготовленности класса и количества времени, отведённого для проведения урока (один урок или спаренный урок).

Ученики в начале урока разбиваются на 4 группы, отвечать на вопросы может любой ученик (по решению группы). Ученики разных групп отвечают одновременно, а программа Votum фиксирует правильные ответы в электронной ведомости учащихся класса. При использовании планшетом необходимо отвечать по очереди. На экран выводятся результаты ответов учащихся, и учитель выставляет отметки за урок.

В целях выполнения требований относительно сбережения здоровья на уроке, проводимом с применением информационно-технологических средств, необходимо предусмотреть чередование различных видов деятельности на его этапах.

**Этап I – разминка.** Предусмотрена работа в группах устно; вопросы составлены учителем по разделу «Оптика» в соответствии с программой. В приложении А приведён один вариант из четырёх [1].

**Этап 2.** Построение оптических изображений с применением интерактивных планшетов, соблюдая очерёдность групп. В приложении Б приведён вариант задания для одной из четырёх групп.

**Этап 3 – углубление в тему.**

А) Выполнение заданий с выбором ответа с применением пультов-опросников. Отвечает один из учеников группы, система опроса фиксирует и сохраняет в памяти количество набранных им баллов. В приложении В приведён вариант для одной из четырёх групп.

Б) Экспериментальные задания по геометрической оптике (по выбору учащихся каждая группа получает по 2 задания; 2–3 минуты на подготовку; затем представитель группы комментирует ответы).

**Задание 1.** Как нужно поставить плоское зеркало на нарисованный квадрат, чтобы получилось изображение: трех-, четырех- и пятиугольника? Приборы и материалы: плоское зеркало, бумага.

**Задание 2.** Сколько изображений предмета получается между двумя зеркалами, если их расположить перпендикулярно друг к другу? если угол уменьшать? если расположить зеркала параллельно одно другому? Приборы и материалы: два плоских зеркала, предмет (шарик, пуговица).

**Задание 3.** Почему в зеркале правая рука оказывается слева и наоборот? Приборы и материалы: плоское зеркало.

**Задание 4.** Посредством каких опытов можно отличить собирающую линзу от рассеивающей? Приборы и материалы: свеча, рассеивающая и собирающая линзы, экран.

**Задание 5.** Как, не применяя формулы линзы, можно определить ее фокусное расстояние? Приборы и материалы: свеча, линза, экран и линейка.

**Задание 6.** В двух закрытых одинаковых шаровых колбах находятся спирт и вода. Как, пользуясь только источником света и экраном, определить, в какой колбе находится спирт, а в какой – вода? Приборы: две шаровые колбы со спиртом и водой, лазер.

**Задание 7.** Найти наименьшее расстояние от предмета до собирающей линзы, при котором изображение предмета является действительным. Приборы и материалы: собирающая линза, экран, свеча, линейка.

**Задание 8.** Пользуясь двояковыпуклой линзой получить увеличенное, уменьшенное и равновеликое предмету изображение пламени свечи. Определить фокусное расстояние линзы, не применяя формулы линзы. Приборы и материалы: линза, свеча, экран, линейка.

#### **Этап 4 – работа у доски.**

1. Двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием 0,2 м сложена вплотную с двояковогнутой линзой, оптическая сила которой равна  $-3$  дптр. На каком расстоянии от линзы находится предмет, если его изображение расположено на расстоянии  $-0,5$  м?

2. Мнимое изображение предмета, увеличенное в три раза, находится на расстоянии  $-0,2$  м от собирающей линзы. Какова оптическая сила линзы?

**Этап 5 – подведение итогов урока, выставление отметок учащимся.**

### **Литература**

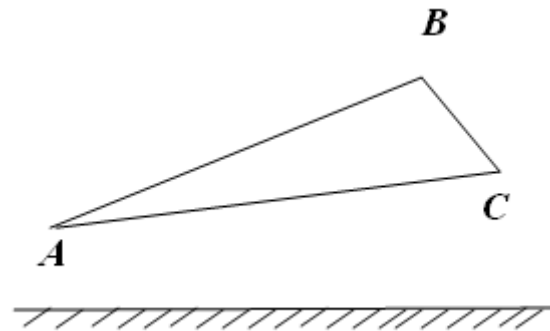
1. Кирик, Л.А. Физика – 8. Разноуровневые самостоятельные и контрольные работы / Л.А. Кирик. – Харьков: Гимназия, 2001. – 144 с.

### Приложение А

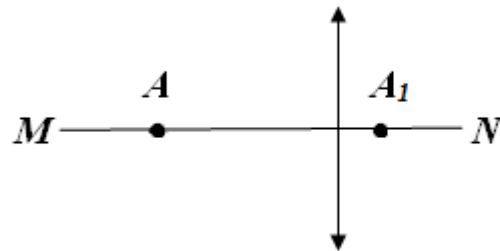
1. При переходе света из воздуха в воду длина волны света... .
2. В однородной среде луч распространяется...; при переходе луча в оптически менее плотную среду угол падения ... .
3. Дайте определение явления дисперсии света.
4. Чтобы посредством собирающей линзы получить увеличенное мнимое изображение предмета, его необходимо расположить... .
5. Диффузным отражением называют ... .
6. В жаркий день асфальт на дороге кажется мокрым, потому что ...

### Приложение Б

1. Постройте изображение треугольника  $ABC$  в плоском зеркале. Определите графически область видения изображения.



2. Определите построением положение фокусов линзы, если  $A$  — светящаяся точка,  $A_1$  — её изображение,  $MN$  — главная оптическая ось линзы.

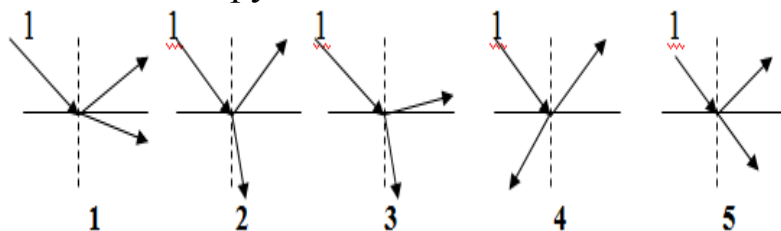


### Приложение В

Выберите правильный вариант ответа из предложенных в заданиях 1–3.

1. Угол отражения равен  $60^\circ$ . Угол между падающим лучом и плоскостью зеркала равен: а)  $60^\circ$ ; б)  $30^\circ$ ; в)  $90^\circ$ ; г)  $15^\circ$ .
2. Рабочие на стройке носят каски оранжевого цвета потому что:  
а) оранжевый цвет хорошо заметен на расстоянии; б) мало изменяется во время непогоды; в) рассеивается в наименьшей степени; г) в соответствии с требованиями безопасности труда?

3. На каком из рисунков 1–5 правильно изображен ход лучей, образованных при падении луча 1 на границу воздух – стекло?



**В.С. Ковалева (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО УРОКА ФИЗИКИ**

Поиски новых путей в преподавании всегда были важной частью любой науки. Преподавание, следуя развитию науки, должно непрерывно менять свои формы, ломать традиции, искать новые формы. Однако в этом процессе необходимо проявлять большую осторожность.

Неотъемлемым качеством всякого урока должны стать понятные всем ученикам в классе конечная цель урока и путь ее достижения. Более того, каждый учащийся должен заранее знать, на сколько уроков рассчитана изучаемая тема и каковы будут требования учителя к конечному результату. При этом каждый предыдущий урок должен быть средством, обеспечивающим успех следующего.

В соответствии с планируемыми целями учитель отбирает содержание учебного материала, ту информацию, которая должна быть усвоена на уроке.

Отбор содержания – не менее сложная сторона планирования, и ее недооценка или недостаточный уровень квалификации учителя приводит к тому, что на практике редко удается реализовать задуманное.

Содержание должно быть научно обоснованно, логически выстроено и доступно.

Важно тщательно отобрать ведущую идею, понятия, выделить способы их раскрытия, определить действия учителя и учащихся.

Итак, учитель отбирает в порядке значимости содержание учебного материала на урок:

– главную идею, ключевые слова и основные понятия, а также способы их раскрытия;

– вопросы, упражнения, задания разного уровня, способствующие усвоению главной идеи темы на уроке;

– занимательный материал. Иногда он бывает необходим. Иногда подменяет серьезный учебный труд развлечениями, не имеющими ни познавательной, ни воспитательной ценности.

Для формирования интереса к обучению необходимо на уроке создавать следующие условия:

- вносить элемент новизны, связывать известное и понятное содержание учебного материала с новой информацией;
- опираться на сложившиеся у ученика побуждения;
- отрабатывать изучаемое содержание на практике, привычной и понятной для ученика;

- организовывать самостоятельную и активную деятельность учащихся;
- отмечать любые успехи в учебной работе.

Следующим шагом учителя в проектировании урока является выбор методов обучения, соответствующих целям урока и содержанию учебного материала.

Существуют различные классификации методов обучения. Наиболее известная, которой придерживаются многие учителя, представлена ниже:

1. Объяснительно-иллюстрированный метод, то есть принятие учениками информации разными способами: зрительным, слуховым, речевым.

2. Репродуктивный метод – воспроизведение репродукции действий с помощью упражнений, решения стереотипных задач, повторения, неоднократного чтения текстов, заучивания.

3. Исследовательский метод. Учитель предлагает творческие (проблемные) задания, а учащиеся их самостоятельно решают, творчески применяют имеющиеся знания и добывают новые.

4. Использование эвристического метода также способствует развитию творческих способностей учащихся. Учитель с помощью вопросов помогает учащимся в решении проблемных задач, заданий.

На уроке взаимодействие учителя и ученика предполагает обмен содержанием, опытом познания. Учитель на уроке является носителем социокультурных образцов знаний, реализует свой опыт в виде собственной позиции, но и не перестает помнить, что субъектный опыт в виде разрозненных представлений в различных областях знаний имеется и у ученика.

Эффективность учебно-воспитательного процесса зависит не только от направленности и устремленности школьников, но и от их познавательной самостоятельности. Для этого всегда на уроке должно быть ясно, что они должны делать, чтобы научиться. Иначе говоря, школьники должны всегда знать, что они изучают, и владеть методами познания, т.е. прежде всего, иметь яркое представление о самом этом процессе. А оно заключается в следующем: мы наблюдаем явления природы. На основе сопоставления их между собой и известными нам фактами у нас возникают проблемы. Для их решения мы строим различные гипотезы; эти гипотезы мы проверяем экспериментально; далее мы находим способы использования изученных явлений. Центральным моментом в процессе научного познания на уроке является выдвижение гипотезы.



**М.А. Ковалева (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ЗАДАЧИ КАК СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Физической задачей в учебной практике называют небольшую проблему, которая решается с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе законов и методов физики. По существу на занятиях по физике каждый вопрос, возникающий в связи с изучением учебного материала, является задачей для учащихся. В методической же и учебной литературе под задачами обычно понимают целесообразно подобранные упражнения, главное обозначение которых заключается в изучении физических явлений, формировании понятий, развитии физического мышления учащихся и привитии им умений применять свои знания на практике. Решение задач преследует и многие другие цели: воспитание учащихся, контроль и учет знаний, умений и навыков и т. д. С сущностью физических явлений учащихся знакомят различными методами: путем рассказа, демонстрации опытов, проведения лабораторных работ и внеклассных мероприятий.

Опираясь на имеющиеся у учащихся знания, в процессе решения задач можно подвергать анализу изучаемые физические явления, формировать понятия о физических явлениях и величинах. При решении экспериментальных задач учащимся можно дать некоторое понятие о физическом эксперименте, как методе исследования явлений природы, основу которого составляют измерения и математические исследования функциональной зависимости между физическими величинами.

Задачи имеют большое значение для политехнического обучения учащихся. В них могут содержаться сведения о промышленном и сельскохозяйственном производстве, транспорте, связи, современной технике и т. д. Такие задачи являются одним из доступных для учащихся средств связи теории с практикой. Наряду с задачами производственного содержания для связи обучения с жизнью большое значение имеют задачи о физических явлениях в быту, они помогают видеть физику «вокруг нас», воспитывают у учащихся наблюдательность. Решение задач имеет воспитательное значение. С помощью задач можно познакомить учащихся с возникновением новых прогрессивных идей и взглядов, с открытиями ученых, занимающихся различными областями науки, обратить их внимание на достижения науки и техники. Воспитательное воздействие задач заключается также в том, что они являются действенным средством воспитания трудолюбия, настойчивости, воли и характера учащихся.

**Ю.В. Котлярова (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ИГРА В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ**

Игра – наиболее освоенная школьниками деятельность. В ней они черпают образцы для решения новых жизненных задач, возникших в познании, в труде, в творчестве. Поэтому опора на игру – это важнейший путь включения детей в учебную работу без психологических сдвигов и перегрузок. Вся детская деятельность синкретична, т. е. в известной степени слитна, неразделима. И это единство возникает благодаря воображаемой, условной ситуации, в которой происходит процесс детского творчества. Игра как бы синтезирует познавательную, трудовую и творческую активность. Любое новое занятие или умение, приобретенное в школе, побуждает его к действию с ним. Характер же этого действия игровой, наиболее понятный для детей из их прежнего опыта.

Игра – явление многогранное, ее можно рассматривать как особую форму существования всех без исключения сторон жизнедеятельности коллектива. Столь же много оттенков появляется с игрой в педагогическом руководстве воспитательным процессом.

Огромная роль в развитии и воспитании ребенка принадлежит игре – важнейшему виду детской деятельности. Она является эффективным средством формирования личности дошкольника, его морально-волевых качеств, в игре реализуется потребность воздействия на мир. Советский педагог В.А. Сухомлинский подчеркивал, что «игра – это огромное светлое окно, через которое в духовный мир ребенка вливается живительный поток представлений, понятий об окружающем мире. Игра – это искра, зажигающая огонек пытливости и любознательности».

Воспитательное значение игры во многом зависит от профессионального мастерства педагога, от знания им психологии ребенка, учета его возрастных и индивидуальных особенностей, от правильного методического руководства взаимоотношениями детей, от четкой организации и проведения всевозможных игр.

Дети сами выбирают игру, сами организуют ее. Но в то же время ни в какой другой деятельности нет таких строгих правил, такой обусловленности поведения, как здесь. Поэтому игра приучает детей подчинять свои действия и мысли определенной цели, помогает воспитывать целенаправленность.

В игре ребенок начинает чувствовать себя членом коллектива, справедливо оценивать действия и поступки своих товарищей и свои собственные. Задача воспитателя состоит в том, чтобы сосредоточить

внимание играющих на таких целях, которые вызвали бы общность чувств и действий, способствовать установлению между детьми отношений, основанные на дружбе, справедливости, взаимной ответственности. Игра – важное средство умственного воспитания ребенка. Знания, полученные в детском саду и дома, находят в игре практическое применение и развитие. Воспроизводя различные события жизни, эпизоды из сказок и рассказов, ребенок размышляет над тем, что видел, о чем ему читали и говорили; смысл многих явлениях, их значение становится для него более понятным. Воплощение жизненных впечатлений в игре – процесс сложный. Творческую игру нельзя подчинять узким дидактическим целям, с ее помощью решаются важнейшие воспитательные задачи. Игровую роль дети выбирают в соответствии со своими интересами, своими мечтами о будущей профессии. Они еще по-детски наивны, не раз изменятся, но важно, что ребенок мечтает об участии в полезном для общества труде. Постепенно в игре у ребенка формируются общие представления о значении труда, о роли различных профессий.

Основной путь воспитания в игре – влияние на ее содержание, т. е. на выбор темы, развитие сюжета, распределение ролей и на реализацию игровых образов.

Тема игры – это то явление жизни, которое будет изображаться: семья, детский сад, школа, путешествия, праздники. Одна и та же тема включает в себя различные эпизоды в зависимости от интересов детей и развития фантазии. Таким образом, по одной теме могут создаваться различные сюжеты. Каждый ребенок изображает человека определенной профессии (учитель, капитан, шофер) или члена семьи (мама, бабушка). Иногда разыгрываются роли животных, персонажей из сказок. Создавая игровой образ, ребенок не только выражает свое отношение к выбранному герою, но и проявляет личные качества. Все девочки бывают мамами, но каждая придает роли свои индивидуальные черты. Так же и в сыгранной роли летчика или космонавта сочетаются черты героя с чертами ребенка, который его изображает. Поэтому роли могут быть одинаковыми, но игровые образы всегда индивидуальны.

Игра выявляет отношение детей к изображаемому и в то же время содействует закреплению и развитию такого отношения. Детям нравится вновь и вновь переживать восхищение, радость, восторг, удивление, которые они испытали при знакомстве с явлением, объектом, событием. Этим объясняется их устойчивый интерес к играм. Именно в игре дети практически реализуют то, что они хотели бы увидеть в школе, в первом классе.

**Н.С. Половкова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Н.А. Алешкевич**, к.ф.-м.н, доцент

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕЗЕНТАЦИЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕКЦИЙ**

Современная ситуация в подготовке специалистов высшей квалификации требует совершенствования стратегии и тактики обучения. Одной из основных форм организации учебного процесса традиционно является классическая лекция как наиболее экономичная и доступная форма передачи и усвоения информации. В настоящее время в учреждениях высшего образования активно предпринимаются попытки сочетания традиционных и новых методов обучения и организации лекций. Одним из таких методов, поднимающих организацию лекции на качественно новый уровень и повышающих эффективность обучения в целом, является конструирование лекций с использованием новых информационных технологий. Среди таких направлений наиболее актуальными являются так называемые электронные презентации, подключающие и развивающие визуальное мышление студентов. Интерес к данным технологиям обучения возрастает в соответствии с уровнем доступности современных технических средств.

Анализ литературных источников показал, что использование презентаций открывают перед преподавателем широкие возможности. Так для чтения вводных лекций по дисциплине или отдельным ее разделам можно проследить историю того или иного открытия, проиллюстрировать последние достижения науки и техники, показать современные устройства, принципы действия которых основаны на изучаемом явлении, продемонстрировать портреты выдающихся ученых и т. д.

Эффективность лекции значительно возрастает, когда на экране дублируется информация обобщающего или сравнительного характера, которую удобно представлять в виде таблиц, диаграмм, графиков, организационных схем, географических карт, портретов и т. д. Иллюстрации могут быть статическими, сменяющимися одна другую, или трансформирующимися в некотором масштабе времени или по ходу изложения материала.

Основные трудности при подготовке лекций-презентаций состоят в выборе и подготовке системы средств наглядности, дидактически обоснованной подготовке процесса ее чтения с учетом психофизиологических особенностей студентов и уровня их знаний. Разработку тематических презентаций целесообразно вести на общедоступных технических средствах и в стандартном программном обеспечении: обычный IBM PC-совместимый компьютер с приложениями из состава MS Office, в основном — MS Powerpoint.

**О.Н. Проц (УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», Мозырь)**

Науч. рук. **В.В. Шепелевич**, д.ф.-м.н., профессор

## **ПЕРЕВЕРНУТЫЙ СТАКАН**

В настоящее время в физике наблюдается значительный рост интереса к различным исследовательским экспериментам.

В качестве данных экспериментов могут использоваться перевернутый стакан с водой, яйцо в бутылке, поющие бокалы, задача об электрометре и др.

Рассмотрим эксперимент «Перевернутый стакан».

Суть эксперимента заключается в том, чтобы перевернуть стакан, наполненный водой, не пролив воды.

Этапы эксперимента.



Возьмем стакан (желательно стеклянный, так как он меньше подвергается деформации); наполним его водой (не меньше четверти стакана, иначе эксперимент не получится); накроем стакан с водой сверху кругом из картона или какой-нибудь крышкой; затем, придерживая рукой картонку, осторожно перевернем стакан. Опускаем стакан на стол доньшком вверх, вытягиваем картонку из-под стакана, вода все так же будет оставаться в стакане.



Воду в стакане удерживает атмосферное давление. Рассмотрим наш эксперимент с физической точки зрения. На картон со стороны воды действует сила тяжести и атмосферное давление воздуха, который находится в стакане, а с другой стороны только атмосферное давление. Поэтому вода будет вытекать из стакана очень медленно, маленькими каплями. Через некоторое время вода перестанет вытекать, так как силы уравновесятся, поскольку при вытекании воды из стакана объем воздуха внутри стакана увеличится, а давление уменьшится (Закон Бойля-Мариотта). При этом сила давления внутри стакана и сила тяжести воды будут уравновешиваться силой атмосферного давления).

Со стаканом и водой можно проводить множество различных экспериментов и решить множество исследовательских задач. Например, если в картонной крышке, которой накрывают стакан, проделать небольшое отверстие и со временем его увеличивать, то при каком-то диаметре

отверстия вода начнет вытекать через него. Нужно узнать при каком диаметре отверстия это произойдет.

Решим эту задачу. Наливаем воду в стакан и накрываем его картонкой с отверстием радиусом  $0,001\text{м}$ . Вода под действием силы поверхностного натяжения заполняет отверстие, но не вытекает. Увеличиваем отверстие до тех пор, пока вода не потечет через отверстие.

Вода начинает вытекать из стакана через отверстие в картонке при радиусе отверстия в нем, равном  $0,006\text{м}$ . Значения радиуса отверстия могут быть разные, так как если смазать края отверстия жиром, то вода потечет при большем отверстии.

Можно проделать опыт со стаканом, водой и листом бумаги.

Лист бумаги сминаем и помещаем на дно сухого стакана так, чтобы он удерживалось на дне стакана при его переворачивании. Опускаем перевернутый стакан в миску с водой, стараясь держать стакан как можно ровнее, до тех пока он не скроется под водой. Затем достают стакан, стряхивают с него воду и достают из него сухой лист бумаги. Этот эксперимент объясняется тем, что в перевернутом стакане находится воздух, а давление воздуха больше чем воды, поэтому вода не попадает в стакан. Но если стакан наклонить даже на небольшой угол, воздух выйдет из стакана пузырьками и вода заполнит стакан.



Этот опыт можно проводить не с картоном, а с марлей. Наливаем в стакан воду через марлю, закрепленную на стакане при помощи резинки, она с легкостью проходит в стакан. Но если стакан резко перевернуть, то не вся вода выльется из стакана, как будто стакан закрыли крышкой. Чем полнее был стакан, тем меньше воды выльется. Это частично объясняется поверхностным натяжением воды, а также атмосферным давлением воздуха за пределами стакана.

Большой интерес представляет опыт по извлечению стакана из тазика с водой.



Поместим стакан в тазик с водой, в воде перевернем стакан доньшком вверх, и будем в таком положении вынимать его из воды. Поднимать стакан будем, пока его края не сравняются с уровнем воды в тазике. Вода будет тянуться за стаканом и поднимется намного выше уровня воды. Видно, что что-то удерживает воду в стакане. Как только края стакана сравняются с уровнем воды раздается звук – «чмок» и стакан сразу

пустеет. Это все объясняется тем, что в стакан попал воздух.

Существует множество различных экспериментов, которые легки для выполнения в школе на уроках. Эти эксперименты можно проводить в 7 классе при изучении темы «Атмосферное давление».

### **Литература**

1. Уокер, Дж. Физический фейерверк: – 2-е изд. Пер. с англ. / Под ред. И.Ш. Слободецкого. – М.: Мир, 1988. – 298 с.

2. Перельман, Я.И. Занимательная физика. В двух книгах. Книга 1 – 21-е изд., исп. и доп. – М.: Наука, 1982. – 224 с.

**Н.В. Радучич (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

### **КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ЗНАНИЙ УЧАЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ**

Формы контроля знаний и умений учащихся – многочисленные, разнообразные виды деятельности учащихся при выполнении контрольных заданий. Форм контроля очень много, т. к. каждый учитель вправе придумать и провести собственные, кажущиеся ему наилучшими, контрольные задания. Система измерителей должна быть содержательна, должна полностью соответствовать требованиям стандарта, обеспечивать воспроизводимость полученных при проверке результатов и объективно не должна зависеть от личности проверяющего.

В школьной практике существует несколько традиционных форм контроля знаний и умений учащихся: физический диктант; тестовое задание; краткая самостоятельная работа; письменная контрольная работа; контрольная лабораторная работа; устный зачет по изученной теме.

1. Физический диктант – форма письменного контроля знаний и умений учащихся. Он представляет собой перечень вопросов, на которые учащиеся должны дать незамедлительные и краткие ответы. Времени на каждый ответ достаточно мало, поэтому сформулированные вопросы должны быть четкими и требовать однозначных, не требующих долгого размышления, ответов. Именно краткость ответов физического диктанта отличает его от остальных форм контроля. С помощью физических диктантов можно проверить ограниченную область знаний учащихся:

- буквенные обозначения физических величин, названия их единиц;
- определения физических явлений, формулировки физических законов, связь между физическими величинами, формулировки научных фактов;

- определения физических величин, их единиц, соотношения между единицами.

Именно эти знания могут быть проверены в быстрых и кратких ответах учащихся. Физический диктант не позволяет проверить умения, которыми овладели учащиеся при изучении той или иной темы. Таким образом, быстрота проведения физического диктанта является одновременно как его достоинством, так и недостатком, т. к. ограничивает область проверяемых знаний. Однако эта форма контроля знаний и умений учащихся снимает часть нагрузки с остальных форм, а также, может быть с успехом применена в сочетании с другими формами контроля.

2. Тестовые задания. Здесь учащимся предлагается несколько, обычно 2–3, варианта ответов на вопрос, из которых надо выбрать правильный. Эта форма контроля тоже имеет свои преимущества, неслучайно это одна из наиболее распространенных форм контроля во всей системе образования. Учащиеся не теряют времени на формулировку ответов и их запись, что позволяет охватить большее количество материала за то же время. Наряду со всеми знаниями, появляется возможность проверить умения учащихся, связанные с распознаванием физических явлений и ситуаций, соответствующих научным фактам.

3. Кратковременная самостоятельная работа. Здесь учащимся также задается некоторое количество вопросов, на которые предлагается дать свои обоснованные ответы. В качестве заданий могут выступать теоретические вопросы на проверку знаний, усвоенных учащимися; задачи, на проверку умения решать задачи по данной теме; конкретные ситуации, сформулированные или показанные с целью проверить умение учащихся распознавать физические явления; задания по воспроизведению конкретных ситуаций, соответствующих научным фактам и понятиям. В самостоятельной работе могут быть охвачены все виды деятельности кроме создания понятий, т. к. это требует большего количества времени. При этой форме контроля учащиеся обдумывают план своих действий, формулируют и записывают свои мысли и решения. Кратковременная самостоятельная работа требует гораздо больше времени, чем предыдущие формы контроля, и количество вопросов может быть не более 2–3, а иногда самостоятельная работа состоит и из одного задания.

Из просмотренных дидактических разработок контрольных работ по физике я хочу привести здесь несколько конкретных принципов их составления, которые наиболее интересны:

- задачи, составляющие контрольные работы, могут быть разными по сложности: это позволит учителю проверить, насколько полно учащиеся усвоили изучаемые знания, а если кто-то не справился с заданием



целиком, то обладает ли он необходимым минимумом знаний по этой теме или на каком уровне он усвоил материал темы;

- задачи также могут включать в себя вопросы повышенной сложности, необязательные для выполнения, но за их решение ученики получают дополнительную хорошую отметку, а учитель - возможность выявить знания и умения учеников, не входящие в обязательные требования программы;

- в состав контрольной работы входят не только расчетные задачи, но и качественные, требующие, например, графического описания процессов или анализа физических явлений в конкретной ситуации.

5. Контрольная лабораторная работа. Ею может стать лабораторная работа, подобная данным в учебнике к изучаемой теме или какой-то эксперимент, связанный с воспроизведением конкретных ситуаций, соответствующих научным фактам и физическим явлениям. Лабораторная работа – достаточно необычная форма контроля, она требует от учащихся не только наличия знаний, но еще и умений применять эти знания в новых ситуациях, сообразительности. Лабораторная работа активизирует познавательную деятельность учащихся, т.к. от работы с ручкой и тетрадью учащиеся переходят к работе с реальными предметами. Тогда и задания выполняются легче и охотнее. Особенно это заметно в младших классах. Так как лабораторная работа может проверить ограниченный круг деятельности, ее целесообразно комбинировать с такими формами контроля, как физический диктант или тест. Такая комбинация может достаточно полно охватить знания и умения учащихся при минимальных затратах времени, а также снять при этом трудность длинных письменных высказываний.

6. Устный зачет по теме. Это одна из основных форм контроля в старших классах. Его достоинство заключается в том, что он предполагает комплексную проверку всех знаний и умений учащихся. Ученик может решать задачи, потом делать лабораторную работу, а затем беседовать с учителем. Устная беседа с учителем, позволяющая проконтролировать сформированность физического мировоззрения, пробелы в знаниях, рассмотреть непонятные места в пройденной теме или разделе, отличает зачет от других форм контроля. Это наиболее индивидуализированная форма. Учитель решает, основываясь на результатах прошлых или промежуточных контрольных мероприятий, какие знания и умения целесообразно проверять у какого ученика: всем даются индивидуальные задания. Зачет требует большого количества времени.

Порядок проведения зачета может быть различен. В основном это объясняется стремлением учителей уложиться в отведенный для контроля урок или два. Поэтому зачет проводится в его традиционной форме, как беседа учителя и ученика.

Принципы подготовки и проведения зачета по теме:

1. на зачет отводится не более 2 уроков;
2. подготовка к зачету ведется заблаговременно, учитель уже в начале изучения темы сообщает дату проведения зачета и перечень теоретических вопросов, которые войдут в билеты;
3. теоретических вопросов должно быть не более 20;
4. принимая во внимание сложность такой формы контроля рекомендуется проведение зачетов только в старших, 10–11 классах.

**С.П. Роговенко (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ДИДАКТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ НЕСТАНДАРТНЫХ УРОКОВ ПО ФИЗИКЕ**

С середины 70-х гг. в отечественной школе обнаружилась опасная тенденция снижения интереса школьников к занятиям. Отчуждение учащихся от познавательного труда педагоги пытались остановить различными способами. На обострение проблемы массовая практика отреагировала так называемыми нестандартными уроками, имеющими главной целью возбуждение и удержание интереса учащихся к учебному труду. Нестандартный урок — это импровизированное учебное занятие, имеющее нетрадиционную (неустановленную) структуру. Мнения педагогов на нестандартные уроки расходятся: одни видят в них прогресс педагогической мысли, правильный шаг в направлении демократизации школы, а другие, наоборот, считают такие уроки опасным нарушением педагогических принципов, вынужденным отступлением педагогов под напором обленившихся учеников, не желающих и не умеющих серьезно трудиться.

Анализ педагогической литературы позволил выделить несколько десятков типов нестандартных уроков. Их названия дают некоторое представление о целях, задачах, методике проведения таких занятий. Перечислим наиболее распространенные типы нестандартных уроков.

Учителями разработано много методических приемов, новшеств, новаторских подходов к проведению различных форм занятий. По форме проведения можно выделить следующие группы нестандартных уроков:

1. Уроки в форме соревнования и игр: конкурс, турнир, эстафета (лингвистический бой), дуэль, КВН, деловая игра, ролевая игра, кроссворд, викторина и т. п.

2. Уроки, основанные на формах, жанрах и методах работы, известных в общественной практике: исследование, изобретательство, анализ первоисточников, комментарии, мозговая атака, интервью, репортаж, рецензия.

3. Уроки, основанные на нетрадиционной организации учебного материала: урок-«мудрости», урок-«откровение», урок-«блок», урок-«дублер начинает действовать».

4. Уроки, напоминающие публичные формы общения: пресс-конференция, аукцион, бенефис, митинг, регламентированная дискуссия, панорама, телепередача, телемост, рапорт, диалог, «живая газета», устный журнал.

5. Уроки, опирающиеся на фантазию: урок-сказка, урок-сюрприз, урок-подарок от Хоттабыча.

6. Уроки, основанные на имитации деятельности учреждений и организаций: суд, следствие, трибунал, цирк, патентное бюро, ученый Совет.

7. Перенесенные в рамках урока традиционные формы внеклассной работы: КВН, «следствие ведут знатоки», утренник, спектакль, концерт, инсценировка художественного произведения, диспут, «посиделки», «клуб знатоков».

8. Интегрированные уроки.

9. Трансформация традиционных способов организации урока: лекция-парадокс, парный опрос, экспресс-опрос, урок-зачет (защита оценки), урок-консультация, защита читательского формуляра, телеурок без телевидения.

10. Нестандартные уроки следует использовать как итоговые при обобщении и закреплении знаний, умений и навыков учащихся;

11. Слишком частое обращение к подобным формам организации учебного процесса нецелесообразно, так как это может привести к потере устойчивого интереса к учебному предмету и процессу учения;

12. Нетрадиционному уроку должна предшествовать тщательная подготовка и в первую очередь разработка системы конкретных целей обучения и воспитания;

13. При выборе форм нетрадиционных уроков преподавателю необходимо учитывать особенности своего характера и темперамента, уровень подготовленности и специфические особенности класса в целом и отдельных учащихся;

14. Интегрировать усилия учителей при подготовке совместных уроков, целесообразно не только в рамках предметов естественно-

математического цикла, но и выходя на предметы гуманитарного цикла;

15. При проведении нестандартных уроков руководствоваться принципом «с детьми и для детей», ставя одной из основных целей воспитание учащихся в атмосфере добра, творчества, радости.

**В.С. Самуленков (УО «БГПУ имени М.Танка», Минск)**

Науч. рук. **И.М. Елисеева** д.т.н., профессор

## **СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

В настоящее время в образовательном процессе важная роль отведена современным средствам обучения, использование которых способствует повышению эффективности обучения. Современные средства обучения включают технические устройства с дидактическим обеспечением, применяемым в образовательном процессе с целью его оптимизации для предъявления и обработки информации. Современные средства обучения объединяют два понятия: технические устройства (аппаратура) и дидактические средства обучения (носители информации).

На первой ступени получения высшего образования курс «Современные средства обучения» предназначен для расширения и углубления знаний студентов по применению электронных средств обучения физике. Основной целью курса является овладение технологиями создания дидактических материалов для обучения физике в учреждениях общего среднего образования и методикой применения технических устройств для их предъявления.

Программа данного курса предусматривает рассмотрение таких вопросов, как основные свойства учебной информации, особенности ее восприятия; методические особенности применения электронных средств и информационных технологий в образовательном процессе; основы эргономики современной электронной техники; комплектация кабинета физики учебным оборудованием; общее оборудование, классификация электронных средств обучения и их дидактические возможности; назначение, принцип действия, устройство приборов; правила безопасности и охраны труда при работе в кабинете физики. Полученные знания и умения должны помочь будущим преподавателям физики в применении новейших средств обучения в образовательном процессе и создать предпосылки для дальнейшего самообразования и расширить возможности обмена профессиональной информацией.

При проведении на нашем факультете лабораторных занятий по данному курсу учитывается, что главная цель лабораторных работ – это изучение принципа действия приборов, необходимых для обучения физике, отработка методики и техники их применения в системе занятий по конкретным разделам и темам курса физики в учреждениях общего среднего образования. В процессе выполнения лабораторных работ студенты учатся: выявлять особенности отдельных приборов; правильно использовать их в целях повышения эффективности образовательного процесса; определять место данного эксперимента в структуре занятий по теме и прогнозировать выводы, которые могут быть сделаны учащимися на его основе; оценивать методические достоинства и недостатки отдельных опытов. Так, в ходе выполнения лабораторных работ студенты физического факультета изучают: основные этапы и принципы создания электронного учебника и учебно-методического комплекса; принципы и формы организации и проведения занятий по физике с применением мультимедийных и графических планшетов; методику создания и подготовки мультимедийной информации для работы с планшетом; виды программ, принципы и методы дистанционного обучения; методику организации чат-занятий, web-занятий, телеконференций; устройство, принцип действия, подготовку к работе аппаратов для видеосъемки; технологию монтажа видеоклипов; приемы использования аппаратуры для предъявления визуальных средств обучения; устройство, принцип действия, управления основными компонентами интерактивного мультимедийного комплекса; структуру и содержание программ для создания учебных тестов; технологию создания тестирующих программ с помощью персонального компьютера; методику работы с интерактивной компьютерной доской.

Для развития творческого отношения студентов к выполнению экспериментальных работ в ряде заданий целесообразно не приводить подробных объяснений по технике и методике их выполнения, а в части заданий сформулировать вопросы, направленные на выяснение условий, которые обеспечивают наиболее эффективную постановку эксперимента, причем ответы на них студент может получить только после выполнения задания.

Выполнение лабораторных работ содействует формированию у студентов возможностей критически оценивать методическую ценность постановки одного и того же опыта на базе различных комплектов или отдельных приборов, с использованием разных методических приемов; использование эксперимента как средство наглядности и как проблемно-поисковый метод обучения физике; творчески осваивать новые методические идеи в этой области.

Как показала практика, эффективность занятий в значительной степени зависит от подготовки студента к ним. При подготовке к выполнению заданий студенты должны: повторить узловые вопросы темы по учебникам и учебным пособиям учреждений общего среднего и высшего образования; проанализировать требования к знаниям и умениям учащихся и систему учебного физического эксперимента по теме; изучить устройство и правила эксплуатации оборудования, которое будет использоваться в данной работе; ответить на вопросы для самоконтроля уровня подготовки к работе; оформить конспект работы.

В результате изучения курса студент *знает*:

основные свойства учебной информации, особенности ее восприятия и переработки человеком;

психолого-педагогические особенности применения технических средств и информационных технологий в учебном процессе;

основы эргономики использования современной компьютерной техники в управлении учебным заведением;

основы организации обеспечения и работы кабинета физики;

общее оборудование, технические средства обучения и их дидактические возможности;

назначение, принцип действия, строение, основные неисправности приборов и способы их устранения;

правила безопасности и охраны труда при работе в кабинете физики;

*умеет*:

анализировать теоретические и практические аспекты применения технических средств обучения в учебном процессе;

определять дидактические цели использования технических средств обучения в процессе обучения физике;

разрабатывать методику использования технических средств обучения адекватную иллюстративным, частично-поисковым и исследовательским методам обучения физике;

использовать оборудование кабинета физики, технические средства обучения мультимедиа и информационные технологии для оптимизации учебного процесса по физике в условиях кабинетной системы;

конструировать и собирать простейшие физические приборы;

Следует отметить, что проникновение современных информационных технологий в сферу образования позволяет качественно изменить содержание, методы и организационные формы обучения. Тем самым достигается реализация таких целей как: гуманизация, индивидуализация и интенсификация процесса обучения.

**Д.М. Слесаренко (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «АТОМНАЯ ФИЗИКА» В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

Физика дает нам понимание того, что нас окружает, позволяет понять процессы и законы, происходящие в природе. А в частности, подраздел «Атомная физика» даёт учащимся более глубокое понятие окружающего нас мира, ведь всё на свете состоит из атомов. Изучение подраздела «Атомная физика» является основополагающим к пониманию более сложных дисциплин, с которыми в будущем столкнутся учащиеся, при поступлении в высшие учебные заведения с физической направленностью. Атомная физика является одной из самых сложных в понимании учеников. И главной сложностью её преподавания является отсутствие наглядности. Методикой изучения атомной физики в средней школе занимались такие методисты как: Б.Б. Буховцев, С.В. Громов, И.К. Кикоин, В.В. Мултановский, М.Я. Мякишев, А.А. Пинский, А.В. Перышкин, Н.А. Родина, В.Г. Разумовский, Л.П. Свитков, А.А. Сиявина, Л.С. Хижнякова, Э.Е. Эвенчик и др. Результаты этих исследований нашли отражение в новых учебниках физики для средней школы. Сложность обучения связана с ограничением показа реальных экспериментов по атомной физике. Причиной этому является то, что большинство экспериментов могут производить вредное воздействие на организм человека. И не способностью школ полностью принять все средства предосторожности для исключения различных видов инцидентов.

При определении содержания и методов изучения данного раздела необходимо руководствоваться такими основными факторами, как научной значимостью отобранного для изучения материала и важностью его практических приложений.

В процессе изучения атомной физики рассматриваются такие понятия как строение атома, протон, нейтрон, электрон, состав ядра атома, радиоактивность, деление ядер и многие другие понятия в зависимости от профиля школы. Все эти вопросы имеют очень большое значение, так как на их основе создаётся у учеников расширенное мировоззрение об окружающем нас мире.

Демонстрационный эксперимент должен являться основной составляющей экспериментального курса физики, как правило, все основные физические понятия должны демонстрироваться на опыте. Однако поставить реальную демонстрацию по атомной физике довольно-таки

сложно по причине опасности проведения для здоровья человека. Существуют два выхода из такой ситуации:

1. Для обеспечения наглядности при изучении физики широко применяют “материальные” модели, в которых рассматриваются не сами изучаемые явления, а их аналоги.

Этот метод хорошо может применяться при изучении атомной физики. Примером такой демонстрации может служить аналогия строения атомного ядра и беспорядочного расположения детей (в равных количествах мальчиков и девочек) в центральном круге баскетбольной площадки.

Мальчики будут олицетворять протоны, а девочки нейтроны. Если же попросить детей собраться в кучки мальчики с мальчиками, а девочки с девочками, тогда в сутолоке они начнут толкаться и строй вытянется в овал, что является аналогией деления ядер.

Ещё одним примером такой модели может быть капельная модель ядра, где строение ядра рассматривается как капля жидкости.

Данные модели являются не плохой альтернативой для показа демонстраций. Однако главным минусом модельного эксперимента является то, что не ко всему можно сделать аналогию и механические модели искажают свойства микромира.

2. Для того, чтобы показать любой эксперимент по атомной физике во всей его полноте прибегают к компьютерному моделированию.

С точки зрения преподавателя очевидное, лежащее на поверхности достоинство компьютерного моделирования, заключается в возможности создавать впечатляющие и запоминающиеся зрительные образы. Такие наглядные образы способствуют пониманию изучаемого явления и запоминанию важных деталей в гораздо большей степени, нежели соответствующие математические уравнения. Моделирование позволяет придать наглядность абстрактным законам и концепциям, привлечь внимание учащихся к тонким деталям изучаемого явления, ускользающим при непосредственном наблюдении. Графическое отображение результатов моделирования на экране компьютера одновременно с анимацией изучаемого явления или процесса позволяет учащимся легко воспринимать большие объемы содержательной информации.

**Д.М. Старушенко (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ПРОВЕРКА И ОЦЕНКА ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ УЧАЩИХСЯ**

Проверка знаний и умений учащихся является обязательной важной частью педагогического процесса и выполняет в нем различные функции.



Показывая каждому ученику его достижения в учебной работе или, наоборот отмечая его отставания в усвоении учебного материала, учитель и в том, и в другом случае побуждает учащихся ответственно относиться к учению. Тем самым проверка знаний и умений содействует воспитанию у школьников такого важного качества, как трудолюбие, понимание необходимости систематически трудиться, добросовестно выполнять все виды учебных заданий. В этом заключается его большое *воспитывающее* значение. Являясь частью процесса обучения, проверка знаний и умений выполняет также обучающую функцию. В зависимости от того, как она поставлена, она может иметь большое значение для углубления, закрепления, систематизации и обобщения знаний учащихся.

Опора на старые знания, уже усвоенные учащимися, при изложении нового учебного материала способствует активизации мыслительной деятельности школьников. Если в процессе проверки знаний от учащихся требуют умения распознавать, что положено в основу того или иного вывода, что является следствием, обобщением фактов и т. д., то это в значительной мере содействуют *развитию логического мышления*. Этому также способствует проверка умений учащихся сопоставлять, сравнивать физические факты, явления, их обобщать, делать выводы, умозаключения.

В процессе преподавания физики проверка знаний особенно часто сочетается с упражнениями – решением текстовых, графических и экспериментальных задач, выполнением практических работ и т. д. Следовательно, она содействует формированию у учащихся соответствующих умений и навыков.

Проверка знаний и умений также необходима для организации работы учителя. Проверая успеваемость всего класса в целом, она определяет возможности дальнейшего продвижения учащихся в изучении курса физики. В этом случае она выполняет *диагностическую функцию*. Кроме того, отражая не только результаты учебного труда учащихся, но в ряде случаев и достижений или недочеты в работе самого учителя, проверка имеет огромное значение для совершенствования педагогического мастерства преподавателя. В педагогической литературе вопрос о значении и функциях проверки знаний учащихся в средней школе был разработан с большой полнотой.

**Е.В. Степанов (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **КЛАССНО-УРОЧНАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ И ЕЕ ФУНКЦИИ**

Урок является элементом классно-урочной системы обучения, поэтому, чтобы не подменять исследование целого исследованием части,

необходимо сначала дать общий анализ системы, а затем уже перейти к рассмотрению урока. В общем анализе целесообразно использовать сравнительно-генетический подход, т. е. рассмотреть классно-урочную систему в развитии и сравнении с другими системами организации обучения. Указанный подход дает возможность более четко определить не только специфику классно-урочной системы и ее основной формы организации процесса обучения – урока, но и некоторые пути совершенствования. Организованное обучение отличается от неорганизованного прежде всего тем, что осуществляется в определенной системе. В дидактике известны три основные системы обучения: индивидуальное обучение; классно-урочное; лекционно-семинарское.

Все остальные системы организации обучения являются производными от них, так как представляют лишь варианты сочетаний признаков, характерных для указанных трех систем. Исторически классно-урочная система обучения пришла на смену индивидуальному обучению, при котором учитель работал с каждым учеником отдельно.

Индивидуальное обучение появилось очень давно, когда человечество только начинало организовывать обучение подрастающего поколения. Возникновению индивидуального обучения предшествовали: случайное учение; целенаправленное учение – различные действия, осуществляемые людьми самостоятельно (без подражания другим) для получения определенных результатов. При повторении эти действия закреплялись в структуры, происходило научение; случайное подражание тем, кто учил; целенаправленное эпизодическое обучение – кто-то специально подавал пример, образец, а другой подражал.

Основной формой организации учебного процесса при индивидуальном обучении стало индивидуальное занятие. Характерно, что в этой форме сохранились некоторые черты неорганизованного обучения: время и содержание занятия могут изменяться в зависимости от потребности учащегося и по другим причинам.

Многие исследователи считали и продолжают считать индивидуальное обучение, как занятие идеальной схемой организации процесса обучения. Оно действительно имеет ряд положительных дидактических характеристик, уже своей природой обуславливая непосредственный контакт между учителем и учащимся при значительной активности последнего. В этом взаимодействии учащийся не может оставаться совершенно пассивным, поскольку процесс обучения тогда остановится вообще. Непосредственный контакт между учителем и учащимся позволяет учителю установить непрерывную обратную связь и на ее основе видеть достижения и трудности обучаемого. Последнее в свою очередь дает возможность оказывать ученику своевременную помощь,

предупреждать остановки в учении. Учащийся продвигается в учении наиболее подходящим для него путем и темпом.

В настоящее время в школе наблюдается тенденция повысить гибкость организации обучения в старших классах за счет сочетания классно-урочной системы с элементами лекционно-семинарской системы. Термин лекционно-семинарская указывает, что основными формами организации учебной работы при данной системе являются лекции и семинары; из них лекциям принадлежит ведущее место. Характерная черта лекционно-семинарской системы – организационное подразделение учебного процесса на отдельные звенья; использование для реализации каждого из них специализированных организационных форм (лекции, семинары, практические и лабораторные занятия, коллоквиумы) и различных учебных группировок (потоки, группы, подгруппы, отдельные учащиеся). В данной системе ярко выражена тенденция варьировать формы организации процесса обучения и группировки учащихся в зависимости от видов деятельности. Этим лекционно-семинарская система отличается от двух других основных систем (индивидуального обучения и классно-урочной).

Классно-урочная система имеет значительные дидактические, общепедагогические, психологические, социологические и экономические преимущества перед любой другой системой обучения в общеобразовательной школе. Четкость организации учебно-воспитательной работы, знание учителем учащихся и ими друг друга, стимулирующее влияние классного коллектива, относительная непрерывность педагогического руководства в учебном процессе, экономическая выгодность – все это достоинства классно-урочной системы обучения. В условиях школы она обеспечивает продуктивную познавательную деятельность учащихся в тесной связи с их воспитанием, развитием; устраняет внеличные отношения среди учащихся и способствуя созданию положительного эмоционального фона в обучении. Достоинства классно-урочной системы в значительной степени отражены в уроке, поэтому следует отвергнуть точку зрения, будто бы недостатки обучения и воспитания в школе так тесно связаны с уроком как с основной формой организации учебного процесса, что единственный путь преодоления этих недостатков – полный отказ от урока и переход к другим формам. От урока отказываться не следует – его надо совершенствовать. Однако общее совершенствование организации обучения связано не только с повышением качества уроков, но и с рациональным сочетанием урока с другими формами – лекциями, семинарами, лабораторными и практическими занятиями и т. д. Именно комплексное применение разнообразных организационных форм обеспечивает повышение качественных показателей процесса обучения.

**И.В. Терещенко (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ**

Большинство учителей и методистов относят к качественным задачам такие задачи, которые не содержат числовых значений в условии. Однако характер условия задачи не всегда соответствует характеру ее решения. Некоторые расчетные задачи имеют условие, в котором числовые величины заданы косвенно. Такие задачи решаются по формулам, т.е. являются количественными задачами, но без числовых данных. Вот простой пример: «Во сколько раз изменится подъемная сила воздушного шара, если наполняющий его гелий заменить водородом?». Наоборот, есть задачи с численными данными, решаемые качественными методами: «Парашютист весом 700 Н равномерно опускается. Чему равна сила сопротивления воздуха, действующая на парашютиста?». Этот пример иллюстрирует неточность еще одной формулировки: «Качественными называют задачи, при решении которых устанавливают только качественную зависимость между физическими величинами». Однако решение ряда задач, в которых требуется найти значение некоторой величины, можно осуществить при использовании только качественных методов. Вот еще один пример: «Чему равна равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль, равномерно движущийся по горизонтальной дороге?». Для ответа на вопрос не нужно делать каких-либо математических действий, достаточно провести простые рассуждения: автомобиль движется равномерно и прямолинейно, значит, действие на него всех тел скомпенсировано, т. е. равнодействующая всех сил равна нулю.

Одно из первых определений качественных задач дал М.Е. Тульчинский: «Задача, в которой ставится для разрешения одна из проблем, связанная с качественной стороной рассматриваемого физического явления, которая решается путем логических умозаключений, основывающихся на законах физики, построения чертежа или выполнения эксперимента, но без применения математических действий, называется качественной задачей». Б. Мирзоев, подробно проанализировав различные подходы к рассмотрению определения "качественных задач" через "внешние" характеристики задачи (форма условия, метод решения и характер цели), показывает, что наличие или отсутствие числовых данных, а также характер поставленной цели не предопределяет уровень исследования объекта. Б. Мирзоев уточняет, что «необходимым и достаточным условием для качественной задачи является требование

отсутствия расчетов в процессе решения, независимо от того, в числах или буквах эти расчеты производятся». В тоже время он отмечает, что и в процессе решения качественных задач иногда требуется делать расчеты, а в некоторых задачах и небольшие формульные выкладки. Поэтому мы будем называть качественной задачей такую задачу, решение которой осуществляется путем построения логической цепочки рассуждений и не требует обязательных математических выкладок и вычислений, а используемые вычисления, не образуют строгую и полную логическую систему формальных выводов. Все формульные преобразования используются только для качественного анализа, а расчеты осуществляются для количественной прикидки.

Однако можно указать на отсутствие четкой границы между качественными и количественными задачами. Некоторые задачи в зависимости от уровня восприятия и мышления учащихся могут решаться и качественными, и количественными методами. Вот такой пример: «В цилиндрическом сосуде, наполненном водой при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на поверхности плавает кусок льда. Как изменится уровень воды в сосуде, когда лед растает?». Приведем качественное решение. Лед, плавая, вытесняет воду весом равным своему весу. Поэтому вода, образовавшаяся при плавлении льда, имеет такую же массу, как и вода, вытесняемая льдом первоначально, а значит и занимает такой же объем. Соответственно, она "займет" место подводной части льда, и уровень воды не изменится. Но задачу можно решить и количественно. Некоторые исследователи различают качественные задачи и вопросы (задачи-вопросы). Так, М. Е. Тульчинский называл качественным вопросом задачу в одно действие. «Качественный вопрос предполагает ответ, основывающийся на применении одного какого-нибудь физического закона, свойства тела или определения физической величины. Но, это определение больше подходит к простым качественным задачам. С точки зрения Б. Мирзоева, главной отличительной особенностью качественных вопросов является то, что в них «не содержится никакой информации, необходимой для формулировки ответа». С этим трудно полностью согласиться, ведь в качественных вопросах также содержится характеристика заданной ситуации, пусть краткая, но достаточная для получения ответа. Однако, в отличие от качественных задач задачи-вопросы менее развернуты, требуют более конкретного и прямого ответа. Поэтому, качественные вопросы в отличие от задач подразумевают знание ответа на вопрос, а не его получение, т.е. имеют репродуктивный характер. Качественные задачи, связанные с конкретными предметами, легко воспринимаются учащимися и те их решают охотнее, чем количественные.

**О.С. Филиппенко (БГУ, Минск)**  
Науч. рук. **А.И. Слободянюк**, к.ф.-м.н., доцент

## **МЕТОДИКА ИЗЛОЖЕНИЯ ПОНЯТИЯ «ТЕМПЕРАТУРА» В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ**

Понятие «температура» можно назвать одним из фундаментальных в школьном курсе физики. Оно является одним из тех основных понятий, которые лежат в основе понятийного аппарата физики как науки. Цель данной статьи: проанализировать методику изложения понятия температуры в школьном курсе физики, а также рассмотреть существующие подходы.

Первое определение температуры, с которым учащиеся сталкиваются еще до изучения физики: «температура – мера нагретости тела». Данное определение не требует дополнительных доказательств, поскольку вытекает из повседневной жизни посредством ощущения тепла и холода. Однако уже на начальном этапе изучения физики (в шестом классе) данное определение конкретизируется: «для объективной оценки меры нагретости тела, т.е. температуры, служит измерительный прибор термометр» [1]. Поскольку для измерения температуры используют термометр, то возникает ряд вопросов с определением шкалы температур. Например, при построении шкалы Цельсия за основу принимается факт теплового расширения тел. Тогда непонятно откуда следует, что изменение объема тел  $\Delta V$  пропорционально изменению температуры  $\Delta t^\circ$ . Ведь формула для теплового расширения

$$\Delta V = V_0 (+ \alpha \Delta t^\circ) \quad (1)$$

в данном случае не может быть подтверждена экспериментально, поскольку нет четкого определения понятий «температура» и «температурная шкала». То есть, введение температурной шкалы не дает определения для понятия «температура».

Следующий этап – изучение учащимися принципа работы термометра. Возникает следующий вопрос: какую температуру измеряет термометр? Если обратиться к его устройству, получается свою собственную. Но термометр создан для измерения температуры окружающей среды, например воздуха или температуры собственного тела. На основании этих рассуждений получается, что собственная температура термометра равна температуре измеряемого тела. Объяснение дается на основе экспериментальных данных и на повседневном опыте. Любые два тела, приведенные в тепловой контакт, приходят к состоянию теплового равновесия. Таким образом, мы приходим к одному из важнейших

свойств температуры: температуры как характеристики теплового равновесия: два тела находятся в состоянии теплового равновесия, если их температуры равны.

Следующее рассмотрение температуры проводится уже в термодинамике: «температура является величиной, характеризующей направление теплообмена». [2]. С точки зрения молекулярно-кинетических представлений: «Температура – мера средней кинетической энергии молекул» [2]:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT . \quad (2)$$

Примем определение температуры как меры кинетической энергии в качестве базового и рассмотрим его более детально. Для учащихся необходимо разъяснить данное определение.

Доказательство этого утверждения осуществляется следующим образом. Рассматриваются уравнения:  $\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}$  и  $\frac{pV}{N} = kT$ . Поскольку левые части одинаковы, правые можно приравнять их к уравнению (2).

Это утверждение приводит к более точному определению температуры: «Средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре». [4] Стоит отметить, что среднюю кинетическую энергию молекул нельзя непосредственно измерить. Поэтому необходимо найти такие величины, которые поддаются измерению, и связаны с кинетической энергией. Из основного уравнения МКТ – это  $\frac{pV}{N}$ , с другой стороны:  $\frac{m\bar{v}^2}{2}$ . Таким образом, величиной, которую можно измерить является:

$$\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} . \quad (3)$$

После того, как были осуществлены все этапы рассмотрения, необходимо повторно представить весь вывод понятия «температура».

Предложим другой альтернативный способ, который можно предложить для доказательства базового определения температуры. Для этого можно упомянуть теорему «О равномерном распределении энергии по степеням свободы»: в состоянии равновесия на каждую степень свободы приходится в среднем одна и та же кинетическая энергия. Данная теорема позволяет приписать температуре ее микроскопический смысл – температура есть мера средней кинетической энергии движения хаотического теплового движения молекул.

При выводе основного уравнения МКТ идеального газа мы получили выражение для средней кинетической энергии поступательного движения молекул газа (2). Так как поступательное движение имеет три степени свободы, то на каждую степень свободы приходится энергия

$$\langle E_1 \rangle = \frac{1}{2} kT . \quad (4)$$

Согласно теореме такая же средняя кинетическая энергия приходится и на все степени свободы. Проведенные рассуждения показывают, что температуру можно измерять в единицах энергии. Этот способ доказательства является более сложным, поэтому в рамках школьного курса физики лучше ограничиться общепринятым способом вывода определения и зависимости температуры как меры кинетической энергии. Однако второй способ дает более полное представление о температуре.

Таким образом, в данной статье были рассмотрены основные подходы к изучению понятия «температура», возникающие при этом сложности, а также были предложены способы для их разрешения.

### Литература

1. Исаченкова, Л.А. Физика: учебное пособие для 6 кл. учреждений, обеспечивающих получение общ. сред. образования, с рус. яз. обучения с 12-летним сроком обучения / Л.А. Исаченкова, Ю.Д. Лещинский. – Мн.: Народная асвета, 2003. – 190 с.

2. Кикоин Кикоин, И. К. Физика: учебное пособие для 9 кл. / И.К. Кикоин, А.К. Кикоин. – М.: Просвещение, 1992. – 191 с.

3. Буховцев, Б.Б. Физика: учебник для 9 кл. / Б.Б. Буховцев, Ю.Л. Климонтович, Г.Я. Мякишев. – М.: Просвещение, 1982. – 267с.

4. Жолнеревич, И.И. Физика : учебное пособие для 10 кл. учреждений, обеспечивающих получение общего сред. образования, с рус. яз. обучения с 12-летним сроком обучения (базовый и повышенный уровень) / И. И. Жолнеревич, И. Н. Медведь. – 2-е изд. – Минск: Народная асвета, 2007. – 264 с.

**Д.А. Халецкая (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

### ШКОЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ФИЗИКЕ

В настоящее время не может быть споров и сомнений, что при изучении физики в школе обязательно широкое применение эксперимента. Ряд положений, воспринятых учащимся, вследствие отсутствия наблюдений и опыта, только обременяют память учащегося, но не дают понимания и не вырабатывают привычки самостоятельного и независимого суждения. Даже самый образный и красочный рассказ учителя об эксперименте не может заменить для учащегося непосредственного восприятия предметов



и явлений. Школьный физический эксперимент осуществляется на уроках физики в двух направлениях: учитель проводит опыты, демонстрируя их перед всем классом; учащиеся проделывают опыты сами под руководством учителя.

Долгое время в школьной практике применялся только один вид физического эксперимента – демонстрации самого учителя; самостоятельные работы учащихся появились позднее и сначала носили необязательный характер и не были связаны с проходимым курсом физики. Работы учащихся нужно сочетать с опытами учителя. Это надо делать, прежде всего, потому, что при постановке физических опытов в школе необходимо добиваться наибольшей их эффективности. А практика показывает, что в одних случаях наибольшая эффективность будет достигнута при демонстрации учителя, в других, наоборот, путем постановки лабораторных работ.

Вторая причина, по которой лучше предпочесть демонстрации учителя опытам учеников, – это сложность многих приборов и установок, трудность проведения опытов самими учащимися, а также опасность их для учеников. В руки учащимся не могут быть даны дорогие и хрупкие приборы, которые школа имеет в одном экземпляре.

Третья причина, которая заставляет заменить лабораторные работы демонстрацией, – это наличие определенного, часто краткого времени для прохождения тех или иных тем курса. Лабораторные работы требуют во многих случаях больше времени, чем демонстрации учителя.

Разнообразие приемов и методов оживляет преподавание, делает его более гибким, не утомляет учащихся. Важна смена демонстраций учителя опытами самих учащихся и наоборот. Что отнести к работам учащихся и что к опытам учителя зависит от ряда условий: оборудование физической лаборатории, наличие приборов и материалов, развитие интересов учащихся данного класса т. п.

**Е.В. Шамело (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАНИМАТЕЛЬНОСТИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Сформировать глубокие познавательные интересы к физике у всех учащихся невозможно и, наверное, не нужно. Важно, чтобы всем ученикам на каждом уроке физики было интересно. Тогда у многих из них первоначальная заинтересованность предметом перерастет в глубокий и

стойкий интерес к науке – физике. В этом плане особое место принадлежит такому эффективному педагогическому средству, как занимательность. Оно состоит в том, что учитель, используя свойства предметов и явлений, вызывает у учащихся чувство удивления, обостряет их внимание и, воздействуя на эмоции учеников, способствует созданию у них положительного настроения к учению и готовности к активной мыслительной деятельности независимо от их знаний, способностей и интересов. Следует различать две стороны занимательности: возможности содержания самого предмета и определенные методические приемы учителя. Требования, которые необходимо предъявлять к занимательному материалу, чтобы их использование на уроках дало прочный обучающий эффект, следующие:

1. Занимательный материал должен привлекать внимание учеников постановкой вопроса и направлять мысль на поиск ответа. Он должен требовать напряженной деятельности воображения в сочетании с умением использовать полученные знания.

2. Занимательный материал должен быть не развлекательной иллюстрацией к уроку, а вызывать познавательную активность учащихся, помогать им выяснять причинно-следственные связи между явлениями. В противном случае занимательность не приведет к развитию у школьников устойчивых познавательных интересов. Поэтому, привлекая на уроке занимательный материал, учителю следует ставить перед учениками вопросы: "Как?", "Почему?", "Отчего?".

3. Занимательный материал должен соответствовать возрастным особенностям учащихся, уровню их интеллектуального развития.

4. Желательно, чтобы дополнительный материал, выбираемый учителем для урока, соответствовал увлечениям учеников. Это, во-первых, позволяет учителю формировать интерес к физике через уже имеющийся интерес к другому предмету, во-вторых, помогает сделать увлекательными повторительно-обобщающие уроки, на которых ученикам приводят примеры использования физических законов в интересующей их областях.

5. Занимательный материал на уроке должен не требовать большой затраты времени, быть ярким, эмоциональным моментом урока. Как показывает опыт, целесообразнее привести на уроке один-два наиболее характерных примера, чем перечислить несколько эффективных, но малозначащих фактов.

Место занимательности на уроке может быть различным.

Обычно занимательность связана с элементами неожиданности, к ней привлекает новизна материала. Поэтому уместно использовать занимательность при создании проблемной ситуации. С этой целью можно

использовать различные приемы. В частности, проведение занимательных опытов, сообщение учащимся фактов, поражающих своей неожиданностью, странностью, несоответствием прежним представлениям.

Занимательность может быть использована при объяснении нового материала. Здесь ее применение неоднозначно. Учитель прибегает к ней как к своеобразной разрядке для учащихся при объяснении большого по объему или трудного материала.

Занимательность может служить эмоциональной основой для восприятия наиболее трудных вопросов изучаемого материала.

Интерес учащихся вызывается умелое использование учителем произведений художественной литературы. Во многих из них можно найти немало ярких, легко запоминающихся рассказов о физических явлениях. Особенно интересно выбрать такие отрывки, где имеются физические ошибки, неточности. Тогда перед учениками ставится задача: найти ошибку и правильно объяснить явление. Произведения художественной литературы полезно привлекать и рассказывая об ученых-физиках.

Очень нравятся школьникам экспериментальные задачи, сформулированные в занимательной форме.

Занимательные приемы могут быть использованы учителем при закреплении знаний и даже при опросе. С этой целью интересно организовать на уроке игры с учащимися.

Использование занимательности дает на уроке надежный эффект, если учитель правильно понимает занимательность как фактор, положительно влияющий на психические процессы, и ясно осознает цель использования занимательности в данный момент.

Естественно, что для получения знаний учащимися и развития их познавательных стремлений занимательность должна применяться с другими дидактическими средствами.

**Н.А. Шелюто (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Н.А. Алешкевич**, к.ф.-м.н., доцент

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПРОЕКТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ В ШКОЛЕ**

Основной целью школьного образования на современном этапе является улучшение подготовки подрастающего поколения к эффективной жизнедеятельности в новых социально-экономических условиях. Повышение качества образовательного процесса возможно за счет изменения подходов к его организации путем введения инновационных

образовательных технологий. Задача учителя физики сегодня состоит не в том, чтобы заставить заучить ученика основные термины, понятия, формулы и законы, а научить его творчески мыслить, понимать изучаемые физические явления и процессы и уметь применять полученные знания при решении задач и проведении физических экспериментов. Это позволит сформировать у школьников исследовательские компетенции и определенные черты личности такие, как умение брать ответственность на себя, принимать решение и действовать, выдвигать гипотезы, дискутировать, отстаивать свое мнение.

Среди педагогических средств и методов, обеспечивающих умение ориентироваться в информационном пространстве и самостоятельно конструировать свои знания, особое место занимает метод проектов.

В педагогической литературе [1, 2] метод проектов характеризуется как система учебно-познавательных приемов, которые позволяют решить ту или иную проблему в результате самостоятельных и коллективных действий учащихся и обязательной презентации результатов их работы. Этот метод предполагает использование учителем при проектировании и осуществлении образовательного процесса личностно-ориентированного подхода, который поддерживается дидактическими принципами.

Цель проектного обучения состоит в том, чтобы создать условия, при которых учащиеся могут самостоятельно и охотно приобретать недостающие знания из различных источников, учиться пользоваться приобретенными знаниями для решения познавательных и практических задач, приобретать коммуникативные умения, развивать исследовательские навыки и системное мышление.

Успешная реализация технологии проектного обучения возможна, при организации соответствующих образовательных условий. Учитель создает проблемную ситуацию, которая позволяет сформулировать актуальную и интересную учащимся тему для изучения и исследования, организует распределение тем по группам, ролей и функций в группе. Поддерживает и поощряет использование учащимися различных направлений поиска информации, различных методов исследования, консультирует учащихся на всех этапах работы. Организует подведение итогов промежуточных этапов работы, представляет ребятам возможность для самооценки выполненных ими проектов. Организует праздничную по форме и серьезную по содержанию презентацию всеми участниками проекта их образовательных продуктов. Через защиту проектов перед одноклассниками учащиеся демонстрируют свои знания, умения, способности, обретают опыт публичных выступлений. Группы подводят итоги сделанной работы, соотносят их с критериями оценки и делают самооценку, которую могут обсуждать и корректировать одноклассники.

По мнению авторов, широкие возможности реализации метода проектов открываются в рамках изучения физики в школе. Физика формирует представление о научной картине мира. В основе физики, как экспериментальной науки, лежат наблюдения и опыты, поэтому организация исследовательской и творческой деятельности учащихся при изучении физики будет способствовать повышению интереса к физической науке, позволит сделать образовательный процесс увлекательным, занимательным и эффективным.

Одним из вариантов реализации проектно-исследовательской образовательной деятельности является деятельность учащихся в рамках выполнения долговременных или краткосрочных творческих заданий требующих от обучающегося самостоятельной и глубокой проработки материала. В настоящее время нами разрабатывается проект по оптике на тему: “Странствия по шкале электромагнитных волн”, который будет включать в себя как теоретический материал по изучению свойств электромагнитного излучения различных частотных диапазонов, так и экспериментальные исследования по взаимодействию излучения с веществом.

Таким образом, проектно-исследовательская деятельность, являясь одной из прогрессивных форм обучения физике в современной школе, позволяет наиболее полно выявить и развивать как интеллектуальные, так и потенциальные творческие способности школьников.

### **Литература**

1. Запрудский, Н.И. Современные школьные технологии. – Мн.: Сэр-Вит. – 2006. – 144 с.
2. Крылова, Н. Проектная деятельность школьника как принцип организации и реорганизации образования // Народное образование. – 2005. – № 2, с. 113–121.

**Н.А. Шелюто (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**  
Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

### **НЕСТАНДАРТНЫЕ УРОКИ ПО ФИЗИКЕ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ**

В последние годы используются так называемые нестандартные уроки. Это обусловлено тем, что в настоящее время в школьном образовании наблюдается опасная тенденция снижения интереса школьников к учебным занятиям. Основные усилия теоретиков и практиков образовательной деятельности во всем мире направляются на

создание и внедрение таких технологий урока, которые позволяют эффективно и в краткие сроки решать задачи обучения данного состава учащихся. Гармоничное развитие личности учащихся предполагает необходимость грамотного сочетания образовательной деятельности, в рамках которой формируются базовые знания, умения и навыки, с творческой деятельностью, направленной на развитие индивидуальных способностей, их познавательной активности.

В формировании интереса к предмету нельзя полностью полагаться на содержание изучаемого материала. Если учащиеся не вовлечены в активную деятельность, то любой содержательный материал вызовет в них лишь поверхностный интерес к предмету, который не будет являться познавательным. Как показывает анализ литературных источников, одним из возможных средств обучения, позволяющим формировать у учащихся устойчивый интерес к предмету и познавательной деятельности вообще являются нестандартные уроки. Проведение таких уроков снимает напряжение, помогает формировать необходимые навыки и умения, оказывает эмоциональное воздействие на учеников, благодаря чему у них формируются более прочные, глубокие знания. По форме проведения это могут быть: уроки в форме соревнования и игр, конкурс, турнир; уроки, напоминающие публичные формы общения: пресс-конференция, аукцион, дискуссия и т. п. На таких занятиях учащиеся не просто рассказывают сообщения, а пытаются донести с помощью ярких и запоминающихся опытов, газет, презентаций и другого вместе с учителем основной материал урока. Учителя сегодня свободны в выборе структуры урока, лишь бы она обеспечивала высокую результативность обучения и воспитания. Что касается физики, то перед учителями стоит важная задача — пробудить интерес к предмету, не отпугнув учащихся его сложностью. Чтобы ученики хотели и могли получать необходимые знания, следует активизировать познавательную деятельность учащихся, в том числе и посредством проведения нестандартных уроков.

**Л.В. Широкий (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **В.Ф. Шолох**, к.ф.-м.н., доцент

## **МЕСТО ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В РАЗВИТИИ МЫСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

С точки зрения психологии, задача — это проблема, которая заключается в том, что предоставляются некоторое несоответствие между требованиями задачи и знаниями субъекта, причём для её решения субъект должен использовать творческую мыслительную деятельность.

В методике под физической задачей понимают проблему, которая решается с помощью логических умозаключений, необходимых математических действий, эксперимента кроме того, на основе законов и методов физики.

Каждая физическая задача включает в себя: информационную часть, условие и требование-вопрос. Информационная часть может в большинстве случаев является достаточно богатой, поэтому само содержание задачи позволяет знакомить учащихся с историей, с достижениями техники, сообщать сведения из других науках.

Необходимо отметить, что решение задач относится к практическим методам обучения и так как она является составной частью обучения физике, таким образом приходим к выводу, что решение задач выполняет те же функции, что и обучение физике: *образовательную, воспитательную, развивающую*, но, с тем условием, что опирается на активную мыслительную деятельность ученика.

Образовательная функция задачи заключается в сообщении учащимся определённых знаний, в обучении и закреплении учащимися практических умений и навыков, ознакомление их со специальными физическими и общенаучными методами и принципами научного познания. Решение задач, бесспорно, требует активной мыслительной деятельности. Поэтому на материале задач учитель может сообщить учащимся новые знания, и даже новый материал, который изучается теоретически, можно объяснить «на задаче».

Согласно одной из аксиом методики, знания считаются усвоенными только тогда, когда ученик может оперировать ими на практике. Решение задач — практическая деятельность. Из этого может следовать, что задача играет и роль критерия усвоения знаний. По тому, как учащийся умеет решать задачу мы можем судить: понимает ли ученик данный закон, умеет ли он увидеть в рассматриваемом явлении проявление необходимого закона. А научить этому можно, через решение задач. Практика показывает, что физический смысл различных определений, правил, законов становится действительно понятным учащимся лишь после того, как был неоднократно использован в конкретных частных примерах-задачах. Решение задач выполняет ещё одну важную образовательную функцию — формирование и обогащение понятия физической величины — одного из основных понятий физики. Физические задачи играют также большую роль в реализации принципа политехнизма в процессе обучения. Многие из них показывают связь физики с жизнью, техникой, производством.

Воспитательная функция задач заключается в формировании научного мировоззрения у учащихся. Они позволяют показать каково многообразие явлений и объектов природы и способность человека познавать их.

Развивающая функция задачи проявляется в том, что, при решении физической задачи, ученик включает все мыслительные процессы:

внимание, восприятие, память, воображение, мышление. При решении задач развивается логическое и творческое мышление. Однако необходимо помнить, что, если при изучении новой темы:

- учащемуся предлагают задачи только одного типа;
- решение каждой из них сводится к одной и той же операции;
- данные задачи не являются для учащегося непривычными;
- он уверен в безошибочности своих действий,

то учащийся при решении второй или третьей задачи теряет интерес, перестаёт обосновывать решение задачи, начинает решать задачи механически не задумываясь, только по аналогии с предшествующими задачами, стремится обойтись без рассуждений при этом может допустить ошибки. Это приводит к ослаблению развивающей стороны и потери интереса к решению задач данного типа. Поэтому необходимо учить школьников решению задач разными методами как стандартными, так и не часто используемыми в школьной практике. Полезно одну и ту же задачу необходимо решать разными способами, это приучает школьников видеть в любом физическом явлении разные его стороны, развивает творческое мышление, тем самым быть подготовленными к разным ситуациям и не потеряться в решении, если меняется условие.

Разнообразие и важность представленных функций, которые выполняют задачи, приводит к тому, что задача занимает в учебном процессе одно из важных мест.

Место задач в учебном процессе:

1. на уроке (создание проблемной ситуации, сообщение новых знаний; закрепление; повторение и обобщение; контроль знаний);
2. внеклассная работа (кружок, вечер, физический КВН);
3. внешкольные работы (олимпиады).

**В.И. Яковенко (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Т.П. Желонкина**, старший преподаватель

## **МОТИВАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ**

Активная самостоятельная работа учащихся возможна только при наличии серьезной и устойчивой мотивации. Самый сильный мотивирующий фактор – подготовка к дальнейшему выбору профессиональной деятельности. Рассмотрим внутренние факторы, способствующие активизации самостоятельной работы. Среди них можно выделить следующие:

1. Полезность выполняемой работы. Если ученик знает, что результаты его работы будут оценены объективно, то отношение к выполнению



задания существенно меняется в лучшую сторону и качество выполняемой работы возрастает. При этом важно психологически настроить ученика, показать ему, как необходима выполняемая работа.

Другим вариантом использования фактора полезности является активное внушение, что результаты работы помогут в будущем в получении профессии. Так, например, если учащийся получил задание по контрольной работе, он может выполнять самостоятельные задания по ряду дисциплин гуманитарного и социально-экономического, естественно-научного и общепрофессионального циклов дисциплин, которые затем помогут в другом учебном заведении.

2. Участие учеников в творческой деятельности. Это может быть участие в научно-исследовательской, опытно-конструкторской или методической работе, проводимой по тому или иному предмету.

3. Важным мотивационным фактором является интенсивная педагогика. Она предполагает введение в учебный процесс активных методов, прежде всего игрового тренинга, в основе которого лежат инновационные и организационно-деятельностные игры. В таких играх происходит переход от односторонних частных знаний к многосторонним знаниям об объекте, его моделирование с выделением ведущих противоречий, а не просто приобретение навыка принятия решения. Первым шагом в таком подходе являются деловые или ситуационные формы занятий, в том числе с использованием ЭВМ.

4. Участие в олимпиадах по учебным дисциплинам, конкурсах научно-исследовательских или прикладных работ и т. д.

5. Использование мотивирующих факторов контроля знаний (накопительные оценки, рейтинг, тесты, возможны экзаменационные процедуры). Эти факторы при определенных условиях могут вызвать стремление к состязательности, что само по себе является сильным мотивационным фактором самосовершенствования учащегося.

6. Поощрение учеников за успехи в учебе и творческой деятельности (поощрительные баллы) и санкции за плохую учебу. Например, за работу, сданную раньше срока, можно проставлять повышенную оценку, а в противном случае ее снижать.

7. Индивидуализация заданий, выполняемых как в аудитории, так и вне ее, постоянное их обновление.

8. Мотивационным фактором в интенсивной учебной работе и, в первую очередь, самостоятельной является личность преподавателя. Преподаватель может быть примером для ученика как профессионал, как творческая личность. Преподаватель может и должен помочь ученику раскрыть свой творческий потенциал, определить перспективы своего внутреннего роста.

9. Мотивация самостоятельной учебной деятельности может быть усилена при использовании такой формы организации учебного процесса, как цикловое обучение ("метод погружения"). Этот метод позволяет интенсифицировать изучение материала, так как сокращение интервала между занятиями по той или иной дисциплине требует постоянного внимания к содержанию курса и уменьшает степень забываемости. Разновидностью этого вида занятий является проведение многочасового практического занятия, охватывающего несколько тем курса и направленного на решение сквозных задач. Основная задача организации самостоятельной работы учеников (СРУ) заключается в создании психолого-дидактических условий развития интеллектуальной инициативы и мышления на занятиях любой формы. Основным принципом организации СРУ должен стать перевод всех учащихся на индивидуальную работу с переходом от формального выполнения определенных заданий при пассивной роли ученика к познавательной активности с формированием собственного мнения при решении поставленных проблемных вопросов и задач. Цель СРУ – научить ученика осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою квалификацию. Решающая роль в организации СРУ принадлежит преподавателю, который должен работать не с учеником "вообще", а с конкретной личностью, с ее сильными и слабыми сторонами, индивидуальными способностями и наклонностями. Задача преподавателя – увидеть и развить лучшие качества ученика как будущего специалиста высокой квалификации.

**Н.Н. Яковина (УО «БГПУ им. М. Танка», Минск)**

Науч. рук. **А.А. Шимбалеv**, старший преподаватель

### **АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ИНТЕГРАТИВНОГО СОДЕРЖАНИЯ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ УЧАЩИХСЯ**

Современное образование ориентировано на развитие творческих способностей учащихся. Одним из возможных путей решения этой проблемы является использование в методике обучения астрономии задач интегративного содержания.

Развитие творческого мышления учащихся учреждений общего среднего образования предполагает развитие таких его компонентов, как глубина мышления, беглость мышления, оригинальность мышления, самостоятельность мышления, гибкость мышления, широта мышления и

критичность мышления. Одним из самых эффективных средств развития творческого мышления является решение задач, побуждающих к формулированию проблем и их разрешению.

Целью данной работы является включение конкретных примеров интегративных задач, эффективных для развития творческого мышления учащихся в ходе проведения занятий по астрономии.

Процесс решения задач предполагает все ее этапы, а именно: мотивацию, выделение содержательных единиц задачи, поиск и выбор метода решения, построение модели физического явления, процесс решения (с математическими выкладками, если это необходимо), анализ результатов и процесса решения задачи, коррекцию этих результатов (рефлексию). На этапе анализа задачи и построения гипотез о возможных путях решения проявляются такие качества мышления как оригинальность и изобретательность. Именно это качество мышления отвечает за способность генерировать нестандартные решения, устанавливать связи и представлять картину в целостном виде. На этапе выбора из возможных путей решения того, который с наибольшей вероятностью ведет к цели, проявляются, прежде всего, такие свойства мышления как гибкость, беглость, самостоятельность. Эти характеристики творческого мышления позволяют субъекту деятельности выбрать оптимальное решение, перебирая разнообразные подходы и стратегии при решении проблем. На этапе расчленения задачи на последовательность шагов решения наиболее важными оказываются такие качества, как глубина, устойчивость, логичность, поскольку эти способности мышления позволяют вникать в сущность, вскрывать причины явлений, предвидеть последствия. При анализе решения в большей степени проявляются такие качества, как критичность и широта мышления, поскольку эти качества мышления отвечают за способность рефлексивно оценивать результаты, находить в них сильные и слабые стороны и умение изменить свой ход решения, найдя другой способ решения проблемы.

При исследовании содержания учебного материала сборников задач, было выявлено, что задачи, которые предполагают установление связей между понятиями, представления целостной картины явления составляют 3–4 %. В связи с этим возникает необходимость разработки задач интегративного типа и включения их в уроки астрономии.

В связи с возникновением необходимости включения задач интегративного типа при проведении занятий по астрономии разработан план, который позволяет при изучении каждой темы решать задачи, развивающие творческие способности учащихся.

Например, при изучении раздела «Основы практической астрономии» предлагается решить задачу:

1. В романе Жюль Верн «Воздушный корабль» говорится о том, что вблизи полуночи над кораблем «Альбатрос» находилось созвездие

Южного Креста, «четыре звезды которого ярко блистали в самом зените», а примерно через час корабль пролетел над Южным полюсом Земли. Зная, что у четырех ярких звезд Южного Креста склонение соответственно равно  $-62,6^\circ$ ,  $-59,2^\circ$ ,  $-58,2^\circ$  и  $-56,6^\circ$ , обнаружить неточность в повествовании, найти приближенное значение географической широты, на которой находился корабль и скорость его полета.

Решение: Высота светила в верхней кульминации  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ , где  $\varphi$  – географическая широта места,  $\delta$  – склонение светила. Поскольку в зените  $h=90^\circ$ , то  $\varphi=\delta$ , т. е. в зените может быть светило, склонение которого равно географической широте места. Поэтому четыре звезды с различным склонением не могли быть в самом зените.

Взяв среднее из значений склонения четырех ярких звезд Южного Креста, найдем:

$$\delta_{cp} = \frac{-62,6^\circ - 59,2^\circ - 58,2^\circ - 56,6^\circ}{4} = -59,2^\circ$$

Значит, вблизи полуночи корабль находился в районе с широтой  $\varphi \approx -59^\circ$ , а через час он оказался над Южным полюсом ( $\varphi = -90^\circ$ ), пролетев дугу в  $31^\circ$ . Поскольку длина земного меридиана близка к 40000 км, корабль пролетел  $s = \frac{40000 \cdot 31^\circ}{360^\circ} \approx 3440 \text{ км}$ , имея скорость

$$v = \frac{3440 \text{ км}}{3600 \text{ с}} = 960 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Это почти втрое выше скорости звука в атмосфере! Этот эпизод Жюль Верн продумал не достаточно внимательно.

Задача сочетает в себе занимательность и межпредметность. В процессе решения учащиеся вспоминают литературу и физику. Поиск неточностей в известных литературных произведениях вызывает интерес. Занимательность задачной проблемной ситуации, мотивирует ученика на познавательную деятельность, что способствует развитию творческих способностей. Задача может быть включена в урок для закрепления пройденного материала.

При изучении раздела «Солнце – дневная звезда» предлагается решить следующую задачу:

2. За сколько времени энергией полного солнечного излучения можно довести до кипения воду во всех земных морях и океанах? Начальную температуру воды принять равной нулю, общий объем воды во всех морях и океанах  $13 \cdot 10^8 \text{ км}^3$ .

Решение: Из астрономии известно, что за секунду на площадку  $1 \text{ км}^2$  поступает 1,37 ГВт энергии. Тогда зная объем воды и плотность, найдем количество теплоты требуемое для нагрева воды до температуры солнечной поверхности  $T=1,5 \cdot 10^7 \text{ К}$ .

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

Откуда получаем, что необходимо всего 1,5 секунды.

Задача сочетает в себе занимательность, межпредметность и информативность. Уже из нестандартного и увлекательного условия учащиеся получают для себя новую информацию о количестве воды во всех морях и океанах. В процессе решения они вспоминают географию и физику. Занимательность ситуации, мотивирует ученика на познавательную деятельность, что способствует развитию творческих способностей. Задача может быть предложена учащимся для закрепления знаний, либо для контроля знаний, но только в сильных классах.

Таким образом, задачи интегративного характера обеспечивают расширение информационного поля, формирование умений применять знания в новых условиях, формирование в сознании учащихся целостной естественнонаучной картины мира, развитие творческого мышления.

### Литература

1. Воронцов-Вельяминов, Б.А. Методика преподавания астрономии в средней школе: пособие для учителя / Б.А. Воронцов-Вельяминов, М.М. Дагаев, А.В. Засов. – М.: Просвещение, 1985. – 240 с.
2. Соколова, И.И. Занимательные вопросы и задачи по астрономии: пособие для учителей и учащихся / И.И. Соколова, С.А. Кубышкина. – СПб.: СПбГУПМ, 1997. – 296 с.
3. Галузо, И.В. Методика обучения астрономии / И.В. Галузо, В.А. Голубев, А.А. Шимбалев. – Витебск: Издательство УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2007. – 110 с.
4. Галузо, И.В. Планирование и методика проведения уроков астрономии в 11 классе: пособие для учителей / И.В. Галузо, В.А. Голубев, А.А. Шимбалев. – Минск: Университетское, 2003. – 228 с.
5. Галузо, И.В. Астрономия: учеб. для 11 кл. сред. шк. / В.А. Голубев, И.В. Галузо, А.А. Шимбалев. — Мн.: Университетское, 2003. – 224 с.
6. Орлов, В.Ф. 300 вопросов по астрономии: пособие для учителей и учащихся / В.Ф. Орлов. – М.: Просвещение, 1967. – 99 с.
7. Луцик, Я.М. Астрономия в задачах, вопросах и ответах: пособие для учителей и учащихся / Я.М. Луцик. – Красноярск.: ПИК Офсет, 1995. – 40 с.
8. Прянишников, В.И. Занимательная астрономия в школе: пособие для учителя / В.И. Прянишников. – М.: Просвещение, 1980. – 127 с.
9. Малахова, Г.И. Дидактический материал по астрономии: пособие для учителя / Г.И. Малахова, Е.К. Страут. – М.: Просвещение, 1985. – 96 с.
10. Сурдин, В.Г. Астрономические олимпиады: пособие для учителя / В.Г. Сурдин. – М.: МГУ, 1995. – 319 с.
11. Давыдов В.В. Проблемы развивающего обучения: пособие для учителя / В.В. Давыдов. – М.: Педагогика, 1986. – 348 с.

## Содержание

### Секция 1 «Новые материалы и технологии»

|   |    |
|---|----|
| <b>Авдашкова М.В.</b> Тушение пламени с помощью электричества.....  | 6  |
| <b>Адамчук Д.В.</b> Микротвердость быстрозатвердевших фольг сплавов Вi-Cu с содержанием Cu до 2 % ат.....   | 8  |
| <b>Анисимова А.Е., Крох Г.В.</b> Преобразование Бессель-Гауссовых световых пучков при акустооптическом взаимодействии в кристаллах парателлурита.....     | 11 |
| <b>Артёменко Т.В.</b> Золь-гель метод синтеза гидрофильных титаносиликатных покрытий.....   | 14 |
| <b>Белоусова Е.С., Махмуд М.Ш.</b> Исследование термического отжига шунгитовых красок.....  | 15 |
| <b>Богдан П.С.</b> Эффективность применения электроконтактной обработки поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности..... | 18 |
| <b>Богданчук К. А.</b> Анализ возможности применения атомно-силовой микроскопии для измерения магнострикционных свойств материалов .....                  | 21 |
| <b>Бойправ О.В., Столер Д.В., Немах М.Р.</b> Исследование микрорельефа поверхности композитных материалов на основе шлама очистки ваграночных газов.....  | 24 |
| <b>Гусейнова В.Я.</b> Особенности приготовления бинарной смеси красителей для лазеров с распределенной обратной связью.....                               | 27 |
| <b>Данченко А.М.</b> Фотометрический анализ статистических свойств поверхности.....   | 30 |
| <b>Дубина М.В., Макаревич А.В.</b> Исследование дифракционной эффективности смешанных голограмм, записанных в фоторефрактивных кристаллах.....            | 34 |
| <b>Дышлевич Ю.А.</b> Формирование водородосодержащих доноров в кремнии и их влияние на высоту потенциального барьера диодов Шоттки.....                   | 37 |
| <b>Зеленкевич А.И.</b> Эволюция дислокационных ансамблей в условиях электропластичности при двойниковании кристаллов висмута .....                        | 40 |
| <b>Карабельников А.В.</b> Исследование зависимости критического диаметра тепловой изоляции цилиндрических поверхностей от температуры.....                | 43 |
| <b>Ковалевич М.А.</b> Модифицирование полиэфирных волокон для защиты ценных бумаг.....  | 46 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Ковалев А.А.</b> Прямой цифровой синтез.....   | 47 |
| <b>Лабунь Е.И.</b> Методика определения характерных стадий и их продолжительности при однократном взаимодействии вращающейся лопасти с упругой моделью кожного покрова человека ..... | 50 |
| <b>Ловгач М. В.</b> Автоматическое распознавание изображений на основе кластерного анализа.....   | 53 |
| <b>Макаревич А.В. , Дубина М.В.</b> Устройство для оптимизации экспериментальных исследований дифракционной эффективности голограмм .....   | 56 |
| <b>Мальцев Д.В., Богдан П.С.</b> К вопросу об автоматизации лабораторных стендов .....  | 60 |
| <b>Матвеева А.Г., Крох Г.В.</b> Оптико-акустическая диагностика трещин на поверхности твердых тел.....  | 62 |
| <b>Миткевич Е.А.</b> Покрытия на основе ZnO для солнечных элементов   | 65 |
| <b>Монич С.Г.</b> Устройство для модификации поверхности металлического имплантата путем электроконтактной обработки.....   | 66 |
| <b>Окунец Е.А.</b> Визуализация в системе Mathematica решения уравнения Гамильтона-Якоби .....  | 69 |
| <b>Редько А.Н.</b> Исследование спектрально-люминесцентных характеристик органо-неорганического светочувствительного нанокompозита ...  | 73 |
| <b>Рехлицкая Д.В.</b> Радиопоглощающие материалы на основе криогелей поливинилового спирта.....   | 76 |
| <b>Храбров Д.Е.</b> Классификация правил работы клеточных автоматов в контексте генерирования M-последовательностей.....  | 78 |
| <b>Черчук В.А.</b> Фотокаталитические TiO <sub>2</sub> золь-гель покрытия .....   | 80 |
| <b>Шевцов А.А.</b> Электретное состояние полиэфирных волокон, подвергнутых крейзингу при ориентационной вытяжке.....  | 83 |
| <b>Явкин Н.И.</b> Спектроскопия комбинационного рассеяния света в твердых растворах GeSi .....  | 85 |

## **Секция 2 «Моделирование физических процессов»**

|   |    |
|---|----|
| <b>Богатенко А.Н.</b> Аномальная дисперсия электромагнитных волн в слоисто-неоднородных средах .....                      | 87 |
| <b>Бурмин В.Е., Богатенко А.Н.</b> Электромагнитные волны в слоисто-неоднородных периодических структурах.....            | 90 |
| <b>Веко О.В., Шелест А.И.</b> Векторная частица в потенциале магнитного монополя, нерелятивистское приближение I.....     | 94 |
| <b>Веко О.В., Казмерчук К.В.</b> Векторная частица в потенциале магнитного монополя, нерелятивистское приближение II..... | 97 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Гавриш В.Ю.</b> Вычисление константы распада псевдоскалярного мезона в лептонную пару.....   | 100 |
| <b>Глушкова Н.И.</b> Об энтропии критического состояния.....  | 103 |
| <b>Данильченко М.С.</b> Резонансные состояния и энергии нерелятивистских двухчастичных уравнений с ненулевым орбитальным моментом.                | 105 |
| <b>Державская Т.А.</b> Рождение векторных и скалярных частиц в протон-антипротонном взаимодействии.....   | 107 |
| <b>Желдак А.В.</b> Амплитудно-частотные характеристики вынужденных колебаний теплового поля высокотемпературного сверхпроводника.....             | 109 |
| <b>Иванов М.М., Андреев Ю.А.</b> Способ обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности.....                                   | 112 |
| <b>Колядко Ж.В.</b> Численное моделирование распространения четного тёмного пучка в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле..... | 115 |
| <b>Коноплев В.Ю.</b> Компьютерное моделирование деформаций системы «Плита - грунтовое основание».....   | 118 |
| <b>Лыщик М.В., Шелест А.И.</b> Внутренняя симметрия 12-компонентного безмассового дираковского поля .....   | 120 |
| <b>Макаревич А.В.</b> Моделирование жидкости методом гидродинамики сглаженных частиц.....   | 123 |
| <b>Новикова О.В.</b> Процесс Джоуля-Томсона для модифицированного уравнения Ван-дер-Ваальса.....  | 125 |
| <b>Остапенко А.И.</b> Сопоставление различных методов расчета наносистем в программе HyperChem.....   | 128 |
| <b>Покаташкин Г.С.</b> Вращение трехмерных фигур в среде Wolfram Mathematica.....   | 131 |
| <b>Салянюк Р.В.</b> Моделирование работы электромагнитного калориметра мягких фотонов.....  | 133 |
| <b>Самойленко Ю.В.</b> Моделирование радиационной защиты способом экранирования для материалов в пакете Geant4.....                               | 136 |
| <b>Самуха Ф.Г.</b> Программная реализация специальных функций для задач квантовой механики.....   | 138 |
| <b>Станчик А.В., Гоман П.Н.</b> Адаптация потока радиации от излучателя в форме усеченного конуса к сферическому источнику.....                   | 140 |
| <b>Судаков В.С.</b> Применение метода конечных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций мостов .....         | 143 |
| <b>Фаняев Ив.А.</b> Исследование решений уравнений халлена и поклингтона в приближении осевого тока и с точным ядром.....                         | 144 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Фаняев Иг.А.</b> Исследование явления огибания цилиндрических объектов электромагнитными волнами в СВЧ диапазоне.....                           | 147 |
| <b>Фиалка С.И.</b> Резонансное поведение коэффициентов прохождения и отражения в случае одномерного уравнения Дирака.....                          | 150 |
| <b>Фирагина Е.В.</b> Моделирование распределения плотности для планет земной группы.....   | 153 |
| <b>Цалко И.Н.</b> Расчет плоских балочных систем методом конечных элементов.....   | 156 |
| <b>Цупикова Е.А., Сапончик О.Н.</b> Параметрические колебания и уравнение синус-Гордона в поле внешнего периодического источника                   | 157 |
| <b>Шамына А.А.</b> Решение матричным способом задачи о прохождении электромагнитной волны через биизотропный слой в случае наклонного падения..... | 159 |
| <b>Шевцов А.Е.</b> Исследование напряженно-деформированного состояния контрактора и его модернизация.....  | 163 |
| <b>Юргульский В.В.</b> Компьютерное моделирование и анализ работы связанных контуров в лабораторном практикуме по радиоэлектронике .....           | 165 |
| <b>Якубов Н.И.</b> Метод приближения функций при синтезе шарнирного четырехзвенного механизма .....  | 169 |

#### **Секция 4 «Методика преподавания физики»**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Анфалова М.В.</b> Внеклассные мероприятия по физике в 10-ом классе .   | 171 |
| <b>Ализарчик Е.В.</b> Использование интерактивной доски в преподавании физики.....  | 172 |
| <b>Баслак С.М.</b> Язеп Драздовіч: жыццё і ўклад у навуку.....  | 174 |
| <b>Белоножко Д.Б.</b> Графическое представление законов постоянного электрического тока.....  | 177 |
| <b>Белый Е.А.</b> Интегрированные факультативные занятия физики и программирования в школе.....   | 179 |
| <b>Беляева А.Д.</b> Роль физических моделей в формировании физической картины мира и целостного миропонимания.....                            | 181 |
| <b>Борисова Ю.Б.</b> Учебный физический эксперимент и его задачи.....   | 183 |
| <b>Бурачевский А.В.</b> Стимулирующие исследовательские работы по физике в средней школе.....   | 184 |
| <b>Васильева Е.Н.</b> Учебник физики как средство организации познавательной деятельности учащихся.....                                       | 187 |
| <b>Васильева Я.В.</b> Влияние применения задач творческого характера по физике на развитие логического мышления учеников старших классов..... | 189 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Вистунова И.С.</b> Классификация физического эксперимента в средней школе.....   | 191 |
| <b>Волынец И.Е.</b> Оценка результатов измерений, полученных в ходе учебно-исследовательского эксперимента.....                               | 193 |
| <b>Галета А.В.</b> Методика использования рисунков на уроках физики...  | 196 |
| <b>Грецкий Б.П.</b> Методика демонстрационного эксперимента на уроках физики .....  | 197 |
| <b>Гудкова Ю.А.</b> Тестовые задания по дисциплине специализации «Оптические материалы и методы их исследования».....                         | 199 |
| <b>Гуськова Н.С.</b> Методика использования электронных средств обучения в образовательном процессе при изучении темы «Тепловые явления»..... | 201 |
| <b>Дешкович Р.В.</b> Разработка алгоритма решения типовых задач по физике.....  | 204 |
| <b>Ильницкая В.Н.</b> Комплекс лабораторных работ по лазерам на красителях.....   | 205 |
| <b>Казакова Д.С.</b> О необходимости введения элективного курса по основам метрологии в школе .....   | 207 |
| <b>Казакова Д.С.</b> Организация обучения в рамках внеклассной работы в школе.....  | 209 |
| <b>Карацуба А.А.</b> Использование интерактивной системы опроса и интерактивных планшетов на уроках физики.....                               | 211 |
| <b>Ковалева В.С.</b> Проектирование современного урока физики.....  | 215 |
| <b>Ковалева М.А.</b> Задачи как средство обучения и воспитания учащихся на уроках физики.....   | 217 |
| <b>Котлярова Ю.В.</b> Игра в педагогическом процессе.....   | 218 |
| <b>Половкова Н.С.</b> Использование презентаций как способ повышения эффективности лекций.....  | 220 |
| <b>Проц О.Н.</b> Перевернутый стакан.....   | 221 |
| <b>Радучич Н.В.</b> Контроль и оценка знаний учащихся в процессе обучения физике.....   | 223 |
| <b>Роговенко С.П.</b> Дидактические требования к проведению нестандартных уроков по физике.....   | 226 |
| <b>Самуленков В.С.</b> Современные средства обучения в образовательном процессе .....   | 228 |
| <b>Слесаренко Д.М.</b> Применение компьютерных технологий при изучении темы «Атомная физика» в средней школе.....                             | 231 |
| <b>Старушенко Д.М.</b> Проверка и оценка знаний и умений учащихся...  | 232 |
| <b>Степанов Е.В.</b> Классно-урочная система организации обучения и ее функции.....   | 233 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Терещенко И.В.</b> Методика использования качественных задач при изучении физики.....  | 236 |
| <b>Филиппенко О.С.</b> Методика изложения понятия «Температура» в школьном курсе физики .....                                     | 238 |
| <b>Халецкая Д.А.</b> Школьный эксперимент по физике.....  | 240 |
| <b>Шамело Е.В.</b> Использование элементов занимательности на уроках физики.....  | 241 |
| <b>Шелюто Н.А.</b> Возможности использования метода проектов при изучении физики в школе.....                                     | 243 |
| <b>Шелюто Н.А.</b> Нестандартные уроки по физике и их особенности проведения.....   | 245 |
| <b>Широкий Л.В.</b> Место физических задач в развитии мыслительной деятельности.....  | 246 |
| <b>Яковенко В.И.</b> Мотивация самостоятельной работы учащихся.....   | 248 |
| <b>Яковина Н.Н.</b> Астрономические задачи интегративного содержания как средство развития творческих способностей учащихся ..... | 250 |

Научное издание

# **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

**Материалы  
II Республиканской научной конференции  
студентов, магистрантов и аспирантов,  
посвященной памяти первого ректора  
Гомельского государственного университета,  
академика Владимира Алексеевича Белого**

(Гомель, 18 апреля 2013 года)

**В двух частях**

**Часть 1**

Подписано в печать 14.06.2013. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 15,1.  
Уч.-изд. л. 16,5. Тираж 20 экз. Заказ 418.

Издатель и полиграфическое исполнение :  
учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины».  
ЛИ № 02330/0549481 от 14.05.2009.  
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.