

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М. АКУЛЛЫ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ УНЦ РАН
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МОЛЕКУЛ И КРИСТАЛЛОВ УНЦ РАН
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ УНЦ РАН**

«ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ»

**Материалы
Международной школы-конференции
для студентов, аспирантов и молодых ученых**

Том 2. Физика

Научные статьи

14-18 октября 2012 г.

**У ф а
РИЦ БашГУ
2012**

УДК 51+53
ББК 22.1+22.3
Ф94

Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ
(проект №12-01-06819_моб_г) и за счет внебюджетных средств БашГУ

Редакционная коллегия:

доктор физико-математических наук, профессор **Р.Ф. Альмухаметов**
(ответственный редактор);
доктор физико-математических наук, профессор **Е.Г. Екомасов;**
аспирант **Л.А. Габдрахманова**

Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании:
материалы Международной школы-конференции для студентов,
аспирантов и молодых ученых. Т. 2. Физика. 14-18 октября 2012 г. /отв.
ред. Р.Ф. Альмухаметов. – Уфа: **Изд-во ИП Галиуллин Д.А.**, 2012. -277 с.
ISBN 978-5-905269-13-4

В сборнике помещены труды участников международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании».

Материалы воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

22.1+22.3

УДК 51,53
ББК

ISBN 978-5-905269-13-4

© БашГУ, 2011 г.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА МАЛЫХ МАСШТАБАХ¹

К.И. Михайленко

Институт механики Уфимского научного центра РАН
Центр микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

1 Введение

Одним из важных положений механики сплошной среды является соглашение о том, что размеры рассматриваемых систем достаточно велики, чтобы можно было пренебречь движениями отдельных молекул (континуальная модель). То есть рассматриваемые системы состоят из заведомо большого количества молекул.

Однако, если перейти к рассмотрению динамики сверхмалых количеств вещества, или поведения систем на сверхмалых масштабах (наноразмерная шкала), вышеуказанное соглашение утрачивает свою силу. Например, если мы рассматриваем пространственную область размером порядка 10 нм, то в ней будет содержаться около 30 тыс. молекул воды. Нет необходимости пояснять, что использование континуальной модели для описания такой пространственной области заведомо приведет к значительным ошибкам.

Именно в этом случае на помощь приходит такой метод численного моделирования, как молекулярная динамика. Некоторые аспекты метода применительно к моделированию динамики жидкости и газа рассматриваются ниже.

2 Базовые положения

В самом простом варианте молекулярная динамика описывает движение отдельных атомов какого-либо одноатомного вещества. Исторически первым веществом был аргон.

Описание динамики атомов производится на основе знания силы взаимодействия между каждой парой атомов, для чего записывается *потенциал взаимодействия*, который фактически является основой молекулярно-динамической модели. Взаимодействие одноатомных электрически нейтральных молекул хорошо описываются, если использовать предложенный в 1924 году потенциал Леннарда-Джонса [1]:

$$u(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right].$$

¹Работа поддерживается грантом Министерства образования и науки РФ 11.G34.31.0040).

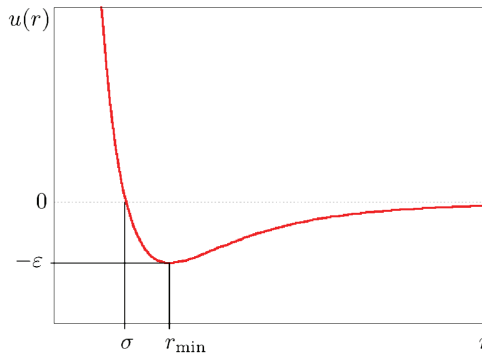


Рис. 1. Характерный вид потенциала Леннарда-Джонса

Здесь r — расстояние между центрами атомов; ε — глубина потенциальной ямы; σ — расстояние, на котором энергия взаимодействия оказывается равна нулю.

Величины ε и σ являются характерными константами, определяемыми типом пары атомов, участвующих во взаимодействии.

На рис. 1 представлена кривая, описывающая потенциал Леннарда-Джонса. Хорошо видно, что на расстояниях больше r_{min} атомы притягиваются, что определяется членом $(\sigma/r)^6$. Это притяжение обосновано теоретически и обусловлено силами Ван-дер-Ваальса. Для последующих вычислений важно, что притяжение быстро стремится к нулю с ростом расстояния r . На близких расстояниях атомы наоборот испытывают очень сильное отталкивание, которое описывается членом $(\sigma/r)^{12}$. В отличие от предыдущего, данный член не имеет чёткого теоретического обоснования, так как здесь должна наблюдаться экспоненциальная зависимость, но чрезвычайно удобен в вычислениях, так как $x^{12} = (x^6)^2$.

Таким образом, моделирование по методу молекулярной динамики определяется следующими простыми утверждениями.

- Атомы взаимодействуют каждый с каждым, взаимодействие описывается некоторым парным потенциалом $u(r)$
- На каждый атом действует сила со стороны потенциального поля всех остальных атомов $f_i = \sum_j \nabla u(r_{ij})$
- Динамика отдельного атома описывается уравнениями движения

$$\text{Ньютона } m \ddot{r}_i = f_i.$$

3 Модель воды TIP4P

Описанный в предыдущем разделе потенциал Леннарда-Джонса достаточен лишь при моделировании динамики веществ, состоящих из одноатомных молекул. Для более сложных веществ возникает необходимость записывать более сложные потенциалы.

Например, молекула воды является дипольной, что приводит к таким хорошо известным фактам, как водородные силы. Поэтому при моделировании молекул воды следует данное свойство учитывать. Как результат, в модели молекулы воды должны присутствовать электростатические силы.

Существует большое количество моделей воды [2], большинство из которых характеризуется введением кроме узлов, описывающих размещение и взаимовлияние атомов водорода и кислорода, дополнительных узлов, за счёт наличия которых получается более точно описывать наблюдаемые экспериментально явления.

В Центре микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем Башгосуниверситета за основу нами принята модель TIP4P (Transferable Intermolecular Potential 4-sites Planar rigid model) [3]. Данный выбор определяется тем, что при своей относительной простоте и удобстве для вычислений, модель неплохо описывает реальные процессы.

Модель TIP4P имеет дополнительный четвертый безмассовый узел (точка М), обладающая зарядом кислорода, расположенным вблизи кислорода на биссектрисе угла НОН, как это показано на рис. 2. Сам же атом кислорода характеризуется лишь массой.

При описанном подходе потенциал взаимодействия молекул воды будет складываться из следующих потенциалов:

- потенциал Леннарда-Джонса, определяющий взаимодействие между кислородами

$$\text{O} - \text{O}: \quad u = 4(r^{-12} - r^{-6});$$

- электростатические (кулоновские) потенциалы взаимодействия между точками М, между точкой М и водородом, между водородами

$$\text{M} - \text{M}: \quad u = 4b / r;$$

$$\text{M} - \text{H}: \quad u = -2b / r;$$

$$\text{H} - \text{H}: \quad u = b / r.$$

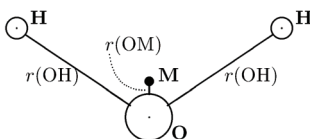


Рис. 2. Схема модели молекулы воды TIP4P

Такое распределение взаимодействий определяется тем, что основная масса молекулы воды сосредоточена в точке, принятой за центр атома кислорода, тогда как заряды располагаются в точке М (отрицательный) и в центрах атомов водорода (положительные, равные по модулю половине заряда точки М каждый).

4 Верификация модели

Описанная выше модель воды TIP4P даёт неплохое соответствие с экспериментальными данными для жидкой воды. В этом легко убедиться, если проанализировать радиальную функцию распределения, описывающую ближний порядок атомов (наличие структуры) в веществе. Данная функция определяет плотность атомов на расстоянии r от выбранного атома и вычисляется, как

$$g(r) = \frac{n(r)}{2\pi\rho r^2 dr}$$

где ρ — средняя плотность; $n(r)$ — количество атомов, попадающих в область dr . На рис. 3 на схеме слева изображено, как несколько атомов попадают в область dr и дают вклад в радиальную функцию распределения.

Следует отметить важный факт, что описываемая функция может быть получена экспериментально, например, на основе исследования дифракции рентгеновских лучей или нейтронов. На рис. 3 справа показано сравнение известных экспериментальных данных с проведёнными на основе модели TIP4P расчётами для радиальной функции распределения атомов кислорода относительно кислорода в жидкой воде при температуре $T=298$ К.

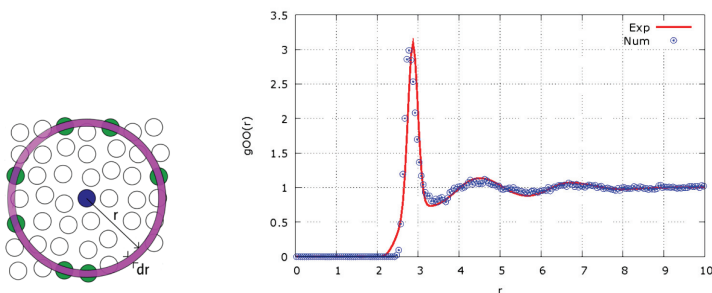


Рис. 3. Радиальная функция распределения: слева геометрический смысл функции; справа — сравнение радиальной функции распределения, полученной экспериментально (сплошная линия) и по результатам молекулярно-динамического моделирования (точки)

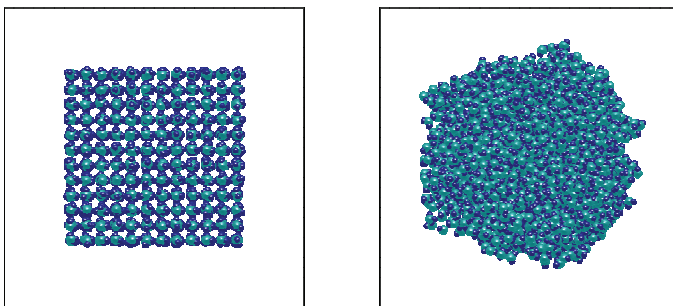


Рис. 4. Образование капли воды за счёт сил поверхностного натяжения

5 Некоторые результаты

Коротко посмотрим на некоторые результаты молекулярно-динамического моделирования небольших количеств воды. На рис. 4 показаны два кадра, демонстрирующие образование сферической капли в условиях невесомости [4]. Слева демонстрируется начальное состояние, когда молекулы воды расположены в узлах кубической решётки и случайным образом повёрнуты на разные узлы. После того как система отпущена, в течение нескольких пикосекунд образуется сфера, показанная справа, её диаметр ~ 5 нм. Некоторая наблюдаемая несферичность легко объяснима неизбежными флуктуациями скорости отдельных молекул, наблюдаемыми на таком уровне.

На рис. 5 показан конечный этап растекания капли воды на поверхности металла [5]. На примере такого расчёта может быть, например, вычислен угол смачивания.

В обоих представленных расчётах мы практически не наблюдаем отдельные молекулы воды, образующие пар. Это объяснимо большой характерной скоростью молекул воды и, соответственно, большой длиной свободного пробега в парообразном состоянии. Для того, чтобы можно было в рамках представленной модели также моделировать и водяной пар при нормальных условиях нужны гораздо меньшие шаги по времени. То есть резко возрастают требования к производительности вычислительной программы и компьютера.

6 Вопросы ускорения вычислений

Существует несколько подходов к увеличению производительности программ. С некоторой долей условности их можно разделить на две части: подходы, связанные с развитием вычислительной техники, и

подходы, связанные с развитием алгоритмов. Зачастую они жёстко связаны между собой.

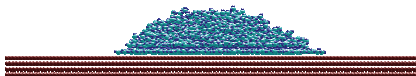


Рис. 5. Растекание капли воды по поверхности металла

В настоящее время развитие вычислительной техники ориентировано на рост количества вычислительных ядер. Лидером такого роста оказались графические процессоры (GPU), содержащие сотни и тысячи вычислительных ядер. Для легко векторизирующихся задач молекулярной динамики GPU оказались очень удобны.

Алгоритмический подход ориентирован на снижение вычислительной сложности. В этом плане следует отметить, что расчёты электростатического потенциала приводят к необходимости решения системы $3N$ уравнений, где N — количество молекул воды. Прямые методы решения систем уравнений описываются вычислительной сложностью $O(N^2)$, что говорит о том, что увеличение рассматриваемой системы в два раза приводит к увеличению времени вычислений не менее, чем в четыре раза. Конечно же, это накладывает ограничение на размеры вычислительной области. Однако, существует ряд алгоритмов, позволяющих снизить вычислительную сложность для некоторого класса систем уравнений. Так, для расчёта электростатического взаимодействия может быть использован алгоритм FMM (Fast Multipole Method) [6]. Использование FMM позволяет снизить вычислительную сложность решения системы уравнений до $O(N)$, что значительно расширяет размеры доступных для моделирования систем.

7 Заключение

Таким образом, современные вычислительные технологии, учитывающие прогресс как в вычислительной технике, так и в используемых алгоритмах позволяют перевести сложные задачи молекулярной динамики, описывающие области до микрометра размером, в которых содержатся миллионы молекул, с суперкомпьютеров на высокопроизводительные настольные системы.

Литература

- [1] Lennard-Jones, J. E. On the Determination of Molecular Fields // Proc. Roy. Soc., 1924, v. A 106, pp. 463–477.
- [2] Vega, C.; Abascal, J. L. F.; Conde, M. M. & Aragones, J. L. What ice can teach us about water interactions: a critical comparison of the performance of different water models Faraday Discuss., The Royal Society of Chemistry, 2009, 141, 251–276
- [3] Jorgensen, W. L.; Chandrasekhar, J.; Madura, J. D.; Impey, R. W.; Klein, M. L. Comparison of simple potential functions for simulating liquid water. // J. Chem. Phys 1983, v. 79, pp. 926–935.
- [4] Малышев В.Л., Михайленко К.И., Моисеева Е.Ф. Молекулярно-динамическое моделирование наномасштабного пузырька пара в воде // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2012): Труды международной научной конференции [Электронный ресурс] — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012.с. 585–591.
- [5] Моисеева Е.Ф., Малышев В.Л. Исследование растекания капли воды по поверхности металла методами молекулярной динамики // Труды Института механики им. П. П. Мавлютова Уфимского научного центра РАН. Вып. 9./ Материалы V Российской конференции с международным участием «Многофазные системы: теория и приложения», посвященной 20-летию со дня основания Института механики им. П.П. Мавлютова УНЦ, с. 90–94.
- [6] D.F. Maryin, C.I. Mikhaylenko, V.L. Malyshev, E.F. Moiseeva, N.A. Gumerov, and I.S. Akhatov, Fast multipole accelerated molecular dynamics simulations on heterogeneous CPU-GPU architectures, Proceedings of the International Conference on Numerical Methods in Multiphase Flows, Presentation 9.6, Penn State University, State College, PA, USA, June 12–14, 2012.

**ВОЗБУЖДЕНИЕ МАГНИТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЕМ
ГИПЕРЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ**

Харисов А.Т.¹, Шамсутдинов М.А.¹, Калякин Л.А.²

¹ Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

² ИМВЦ УНЦ РАН, г.Уфа, Россия

Как известно, упругой волной можно параметрически возбуждать линейные магнитные волны [1, 2]. В настоящей работе рассматривается параметрическое возбуждение малоамплитудной нелинейной магнитной неоднородности в виде бризера полем упругой волны в магнитных материалах. Нелинейная динамика намагниченности в безразмерных переменных описывается возмущенным уравнением синус-Гордона:

$$u_{tt} - u_{xx} + \sin u = -2h_0 \sin \frac{u}{2} - \beta u_t + b \frac{\partial e_x}{\partial x} \sin u, \quad (1)$$

где $h_0 = \mu t$ – медленно растущая со временем напряженность магнитного поля; β – параметр затухания; b – магнитоупругая постоянная; $e_x = e_0 \sin(kx - \omega t)$ – продольная звуковая волна.

Возьмем малоамплитудный медленно движущийся со скоростью V бризер невозмущенного уравнения синус-Гордона в качестве решения уравнения (1) (см. рис. 1):

$$u = 4 \arctan \left(\tan \gamma \frac{\cos \varphi}{\cosh z} \right), \quad \varphi = \theta - Vz / \tan(\gamma),$$

$$z = \sin \gamma (x - x_0) (1 - V^2)^{-1/2}. \quad (2)$$

В этом случае параметры γ , $\theta = t + \Psi/2$, x_0 , V являются функциями времени.

Следуя работе [3], можно получить такие уравнения изменения параметров:

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma}{dt} &= \gamma(-\beta + \frac{1}{2}h_1 \sin \Psi), \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{4}h_1 k \sin \Psi, \\ \frac{d\Psi}{dt} &= -\gamma^2 + h_0 - \frac{1}{2}h_1 \cos \Psi, \\ \frac{dx_0}{dt} &= V \left(1 - \frac{h_0}{2\gamma^2} \right) + \frac{1}{4\gamma^2} h_1 \left(V - \frac{1}{6}\pi k \right) \cos \Psi. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $h_1 = kbe_0$.

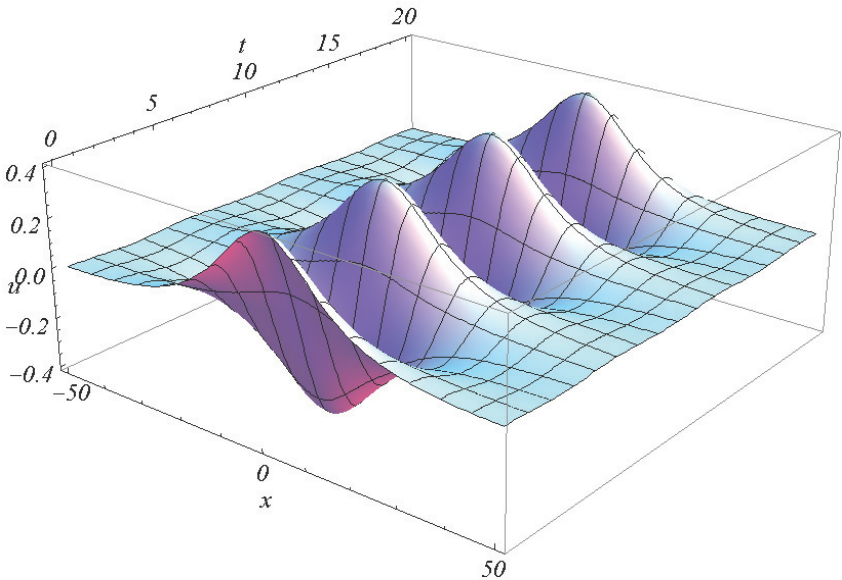


Рис. 1. Бризер

Частота гиперзвуковой волны равна удвоенной частоте ферромагнитного резонанса.

Согласно работам [4–6] возможно получить аналогичные результаты в случае стационарного бризера. В этом случае уравнения главного резонанса имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dR}{d\tau} &= R \left[-\frac{2\beta}{\varepsilon} + \frac{h_1}{\varepsilon} \sin \Psi \right], \\ \frac{d\Psi}{d\tau} &= -R + \frac{h_1}{2\varepsilon} \cos \Psi + \frac{\mu}{\varepsilon^2} \tau, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\tau = \varepsilon t$, $0 < \varepsilon \ll 1$, $\gamma^2 = \varepsilon R$. Как показывает анализ, при $h_1 > 2\beta$ существует решение системы уравнений (4) с растущей при $\tau \rightarrow \infty$ амплитудой R в определенной области начальных значений амплитуд R_0 и фаз Ψ_0 [4–6].

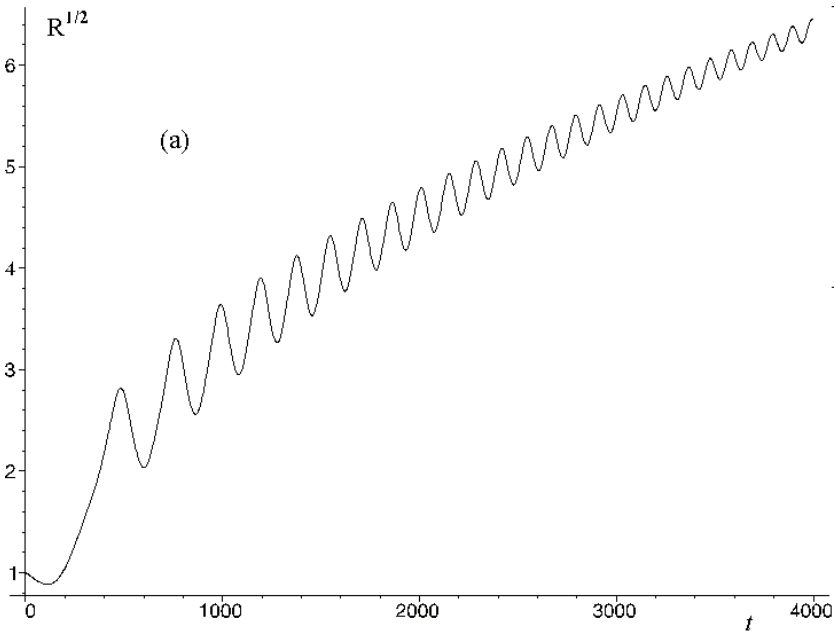


Рис. 2. Растущее решение уравнений [4–6] главного резонанса (4) при $\mu/h_1^2 = 1$, $\beta/h_1 = 0.1$, $\gamma_0 = 0.141$, $\theta_0 = \pi/2$, $h_1 = 0.01$

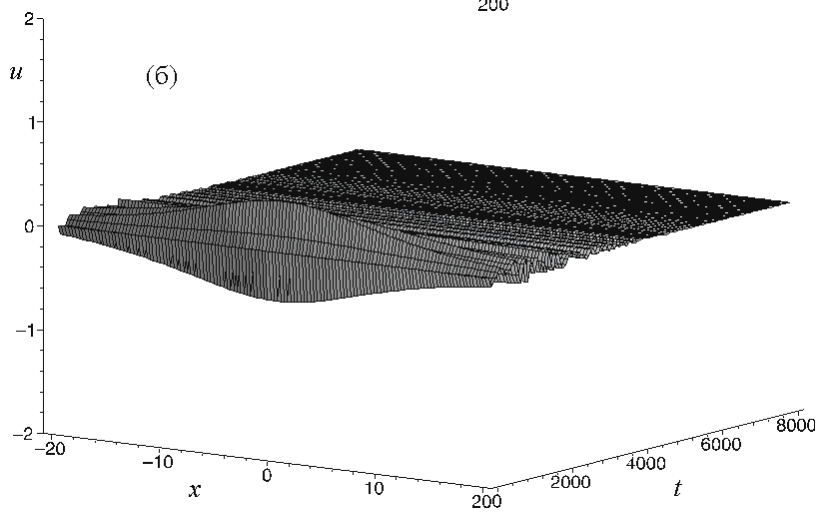
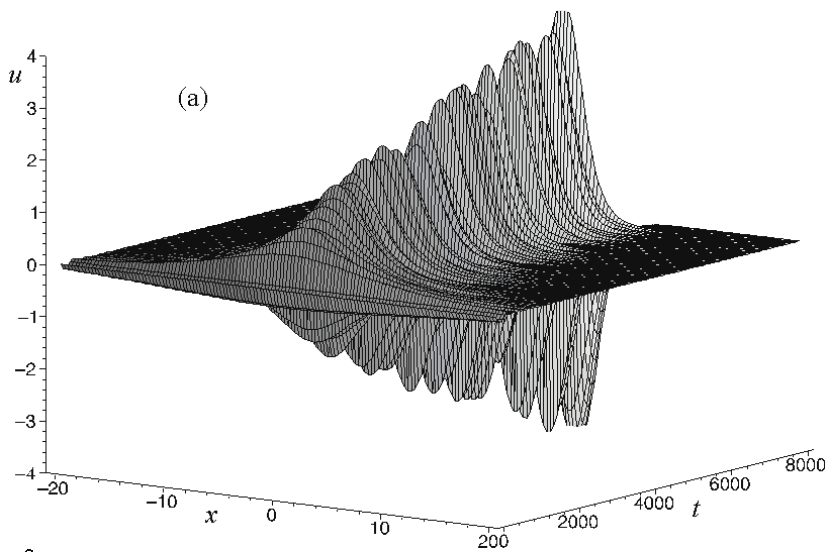


Рис. 3. Эволюция бризера [4–6] согласно уравнениям (4); (а) – растущий, (б) – затухающий бризер

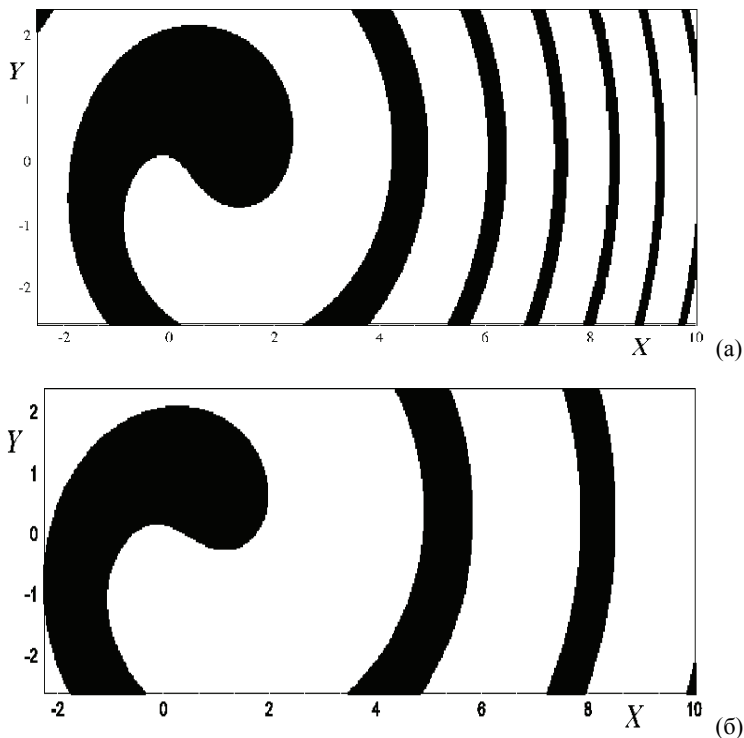


Рис. 4. Область захвата в авторезонанс [4–6] (темный цвет) при $\mu/h_1^2 = 1$, β/h_1 : (а)–0, (б)–0.1. $X = \gamma_0 \cos \theta_0$, $Y = \gamma_0 \sin \theta_0$

Амплитуда упругой волны должна удовлетворять условию $e_0 > e_{cr} = 2\beta/(kb)$. В размерных переменных пороговое значение амплитуды упругой волны накачки имеет вид

$$a_{cr} = \frac{\alpha SM}{2\gamma B},$$

где α – параметр затухания Гильберта; S – скорость гиперзвуковой волны; M – намагниченность насыщения; B – магнитоупругая постоянная; $\gamma = 1.76 \cdot 10^7$ – гиромагнитное отношение.

Поток звуковой энергии определим по формуле:

$$\Pi = \rho \omega^2 a_{cr}^2 S.$$

Используя материальные параметры железо-иттриевого граната $Y_3Fe_5O_{12}$

$M = 140 \text{ Gs}$, $S = 7 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$, $\omega_{FM} = 6 \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1}$, $B = 4 \cdot 10^6 \text{ erg/cm}^3$,
 $\alpha = 5 \cdot 10^{-5}$, получаем $\Pi \approx 5 \text{ W/cm}^2$. При этом длина гиперзвуковой
волны равна 350 нм.

Таким образом, параметрическое возбуждение магнитного бризера возможно упругой волной с частотой, равной удвоенной частоте ферромагнитного резонанса при медленном росте со временем резонансного поля

В заключение следует отметить, что в реальности эффективное возбуждение магнитного бризера достаточно большой амплитуды с помощью параметрической авторезонансной накачки становится наиболее вероятным либо вблизи существующих дефектов образца, на которых имеются готовые магнитные статические неоднородности, либо на магнитных неоднородностях, созданных импульсным пространственно локализованным магнитным полем.

Работа поддержана грантами РФФИ № 10-01-00186, 11-02-97003.

Литература

- [1] Гуревич А.Г., Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994, 464с.
- [2] Matthews H., Morgenthaler F.R. // Phys. Rev. Lett., 1964, vol. 13, № 21, p. 614.
- [3] Карпман В.И., Маслов Е.М., Соловьев В.В. // ЖЭТФ, 1983, т. 84, с. 289.
- [4] Калякин Л.А., Шамсутдинов М.А., Гарифуллин Р.Н., Салимов Р.К. // ФММ, 2007, т. 104, с. 107.
- [5] Калякин Л.А. Асимптотический анализ моделей авторезонанса // УМН. 2008. Т. 63, №5. С. 3-72.
- [6] Шамсутдинов М.А., Ломакина И.Ю., Назаров В.Н., Харисов А.Т., Шамсутдинов Д.М. Ферро- и антиферромагнитодинамика. Нелинейные колебания, волны и солитоны. М.: Наука, 2009. 456 с.

55 ЛЕТ КАФЕДРЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ БАШГУ
проф. каф. ТФ Екомасов Е.Г.
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Одним из возможных путей для улучшения качества подготовки специалистов в российских вузах, Министерство образования и науки РФ, в настоящее время, считает развитие взаимоотношений вузов с выпускниками и работодателями в новых условиях построения экономики развитых государств мира основанной на знаниях. Уже сейчас, по оценке специалистов, доля инновационных отраслей в российской экономике составляет 15%, и она должна быстро расти. Требования к специалистам меняются. Но и сами работодатели зачастую не могут сформулировать, кто им нужен. Предприятия и компании, нацеленные на современное развитие, как правило, ориентированы на вещи которых сегодня еще нет. Тем более нельзя учесть того, чего еще нет, при подготовке кадров. Все острее работодатели начинают понимать, что нуждаются не в ответственных грамотных исполнителях, а в талантах, обладающих инновационными навыками. То есть, в специалистах, умеющих ставить новые задачи и самостоятельно находить пути их решения. А это уже похоже на практикуемую уже много лет во многих ведущих российских вузах (в том числе и БашГУ) подготовку специалистов путем углубленной интеграции науки и образования.

Одним из таких положительных примеров подготовки востребованных специалистов путем интеграции науки и образования в университете является кафедра теоретической физики (ТФ) ФТИ, организованная в 1957 ровно 55 лет назад. Она, в настоящее время, является и единственной подобной кафедрой в РБ. Первым заведующим кафедрой был доцент Баженов М.А., выпускник Казахского государственного университета, научные интересы которого были связаны с теоретической астрофизикой и ядерной физикой. Большой вклад внес в становление подготовки специалистов по теоретической физике в университете доцент А.И. Резанов, выпускник УрГУ, проработавший на кафедре с 1961 по 1968 годы. Его научные интересы были связаны с физикой твердого тела. Как представитель известной уральской школы физиков-теоретиков он понимал, что для подготовки высококвалифицированных специалистов необходима организация фундаментальных научных исследований и активного привлечения к ним студентов.

В шестидесятые годы, заметный вклад в развитие подготовки физиков-теоретиков так же внесли: доцент И.Г. Дядькин - выпускник Ленинградского политеха, занимавшийся вопросами применения методов ядерной физики в геофизике, и старший преподаватель О.С. Ахтямов - выпускник УрГУ, занимавшийся исследованиями сверхпроводимости. К

чению курсов по теоретической физике привлекались доценты И.Е. Ожигов и В.С. Авзянов. Были оставлены для преподавательской работы уже свои выпускники С.Д. Мальгинова (ныне к.ф.-м.н, научный сотрудник ИФМК УНЦ РАН) и Р.М. Сабитов (ныне к.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ). В 1966 году в университете уже открывается аспирантура по подготовке специалистов по теоретической физике. А, начиная с 1967 года, выпускается группа физиков-теоретиков.

Определяющий вклад в современное состояние кафедры внес, руководивший ею с 1968 по 1990 год, проф. М.М. Фарзтдинов, выпускник Пермского госуниверситета, создавший уфимскую школу физиков-теоретиков, работающих в области физики магнитных и нелинейных явлений. Яркими представителями этой школы, прошедшими ее аспирантуру, являются профессоры М.А. Шамсутдинов, А.А. Халфина, Р.М. Вахитов. М.А. Шамсутдинов, лауреат республиканской премии по физике имени К.П. Краузе 2002 года, руководил кафедрой ТФ с 1994 года по 2010 год, а Р.М. Вахитов является ее нынешним руководителем. Отличительной чертой этой школы, всегда было тесное сотрудничество с лучшими научными центрами страны, поэтому студенты и выпускники регулярно



Заседание кафедры, 1978 год

Слева–направо: М.М. Фарзтдинов, М.Б. Сагдаткиреева, М.Х. Харрасов, С.А. Ниязгулов, Р.М. Сабитов, А.А. Халфина, Д.Г. Латыпов, С.Э. Рахимов, В.В. Горбань, Р.М. Вахитов, М.А.Шамсутдинов.

направлялись для продолжения обучения в ведущие университеты страны. Так, в аспирантуре МГУ обучались доценты кафедры С.А. Ниязгулов и Ф.К. Закирьянов, а еще и через докторантуру МГУ прошел профессор, член корреспондент АН РБ М.Х. Харрасов, ректор БашГУ с 2000 по 2010 годы.

Отметим, что еще один выпускник кафедры – доцент И.Р. Кызыргулов, ныне проректор БашГУ, имеет опыт работы в должности ректора СГПА.

За время своего существования кафедра внесла заметный вклад в развитие научного и образовательного потенциала Республики Башкортостан. Все эти годы преподаватели кафедры были инициаторами и организаторами проведения научных конференций для студентов, аспирантов и молодых ученых по физике и математике, всевозможных студенческих и школьных олимпиад. Результаты научной работы сотрудников кафедры представлены в трех монографиях издательства «Наука» и многочисленных статьях в высокорейтинговых научных журналах. Получили диплом специалиста и магистра уже более 480



Коллектив кафедры теоретической физики, март 1977 год

Слева–направо, сидят: С.А. Жукова, А.А. Халфина, М.М. Фарзтдинов, М.Б. Сагдаткиреева, стоят первый ряд: Р.А. Дорошенко, С.А. Ниязгулов, А.Е. Дудоров, Р.М. Вахитов, М.Х. Харрасов, стоят второй ряд: Д.Г. Латыпов, С.Э. Рахимов, Р. Давлеткужин человек, из которых свыше 100 стали кандидатами, а 43 – докторами наук. О качестве и уникальности образования, полученного выпускниками кафедры теоретическая физика, говорит еще и тот факт, что среди ее выпускников доктора наук не только физико-математических, но и технических, химических и философских наук. А кандидаты наук есть по физико-математическим, техническим, химическим, сельскохозяйственным, экономическим, историческим, психологическим, филологическим, философским наукам. Также весьма эффективной все эти годы была работа с аспирантами - подготовлено 29 кандидатов наук, из них докторами физико-математических наук стали уже 6 человек.

Традицией кафедры ТФ является свобода для студентов в выборе руководителя научной работы не только из преподавателей кафедры и факультета, а также предоставление возможности желающим заниматься



Коллектив кафедры теоретической физики, март 1984 года.
Слева–направо, сидят: Р.М. Сабитов, С.А. Жукова, М.М. Фарзтдинов,
А.А. Халфина, М.А. Шамсутдинов, стоят: Р.М. Вахитов, С.А. Ниязгулов,
Е.Г. Екомасов, М.Х. Харрасов, В.В. Плавский.

экспериментом или сочетать экспериментальную и теоретическую работу. Для этого их прикрепляют к соответствующим научным и производственным лабораториям, вносятся корректировки в план изучаемых спецкурсов, практикуется перевод студентов на индивидуальный план обучения. Такие выпускники получают уникальную подготовку, позволяющую им успешно работать в области экспериментальной физики, технических, химических и даже гуманитарных наук. Среди них всегда было много ученых, есть директора и зам. директора академических НИИ, заведующие кафедрами теоретической физики. В последние годы увеличился поток выпускников на работу в современные наукоемкие производства, например ТЭКа. И здесь они делают успешную карьеру. Например, В.А. Байков д.ф.-м.н., зам. генерального директора ООО «РН-УфаНИПИнефть», к.ф.-м.н. М.А. Шабалин – ведущий специалист российского филиала американского нефтяного гиганта ConocoPhillips, М.А.



Члены кафедры теоретической физики, декабрь 1997 года.

Слева–направо:

Сидят: Р.М. Сабитов, М.Х. Харрасов, М.А.Шамсутдинов, С.А.Ниязгулов.

Стоят: А.Т. Харисов, Е.Г. Екомасов, О.В. Храброва, В.В. Плавский.

Азаматов, начальник технологического отдела ТПДН «Заполярье», лауреат всероссийского конкурса «Инженер года» в номинации «нефтяная и газовая промышленность (исследования, технологии)» 2008 года. Не последнюю роль в этом играет и изюминка в тренде подготовки теоретиков - подготовка не простых исполнителей, а, в первую очередь, инноваторов - руководителей, которые могут добывать непрерывно новые знания, ставить новую задачу и находить пути для ее решения. Так же студенты и аспиранты кафедры наиболее часто среди физиков выигрывают именные стипендии республиканского и российского уровня, получают дипломы за лучшие доклады на молодежных научных конференциях. Подтверждением блестящей подготовки физиков-теоретиков в БашГУ является также подписанный в декабре 2008 года договор о сотрудничестве в области образования и научных исследований, по направлению спиновой электроники и наноманетизма, с Институтом общей физики им. А.М. Прохорова РАН г. Москва, имеющим у себя несколько базовых кафедр знаменитого Московского физтеха.

Залогом прекрасного будущего кафедры ТФ, являются ее сегодняшние молодые преподаватели, составляющие сегодня более половины ее состава и



Научный семинар кафедры теоретической физики 2008 год.

успевшие уже проявить свой потенциал. Так, доценты А.Т. Харисов и И.Ю. Ломакина – лауреаты молодежной премии Правительства РБ 2007 года. Большие планы сегодня у кафедры и на будущее. Это и открытие малого предприятия, написание новых монографий, научных трудов и заявок на российские и международные гранты, защита докторских и кандидатских диссертаций, создание новых современных спецкурсов для студентов, магистрантов и аспирантов. Больше внимание будет уделено международному сотрудничеству.

ПРЕПОДАВАНИЕ ФИЗИКИ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ В РАМКАХ ФГОС НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Алдошина Н.Д.

МБОУ СОШ № 74, г. Уфа, Россия

Новые образовательные стандарты предполагают, по моему мнению, воспитание человека с новым мышлением в рамках современного мира. Реализация ФГОС в системе образования, диктуемого развитием нашего общества, относится и к обучающимся, и педагогическому коллективу. Внедрение федеральных государственных стандартов нового поколения в школе предусматривает готовность педагогов к этому процессу. В связи с этим методика преподавания предметов в общеобразовательной школе и подход к обучению должны принять некоторую корректировку.

Новая Программа по физике для основной школы составлена на основе «Фундаментального ядра содержания общего образования»[2] и требований к результатам основного общего образования, представленных в «Федеральном государственном образовательном стандарте общего образования»[1] второго поколения, а так же программам по учебным предметам со своими целями и задачами.

Цели изучения физики в основной школе, которые предусматривают реализацию новых образовательных стандартов, заключаются в развитии интересов и способностей учащихся на основе передачи им знаний и опыта познавательной и творческой деятельности, понимании учащимися смысла основных научных понятий и законов физики, а так же взаимосвязи между ними. [1, с.17] Достижение этих целей, прежде всего, я вижу в решении следующих задач:

- знакомство учащихся с методами исследования объектов и явлений природы,
- визуальное знакомство с механическими, тепловыми, электромагнитными и другими явлениями,
- практическим применением и изучением физических величин, характеризующие эти явления.

Задача, которая стоит перед любым учителем заключается в том, чтобы сформировать у учащихся умения наблюдать природные явления и выполнять опыты, лабораторные работы и экспериментальные исследования с использованием измерительных приборов. Данное оборудование, различные приборы, имеющие шкалу измерения могут применяться и в практической жизни, а так же научить обучающихся таким понятиям, как гипотеза, вывод, который они делают в результате экспериментальной проверки какого – либо закона или явления.

Такие качества обучаемого как умение обрабатывать результат, используя математические методы, оценивать погрешность результата с

учетом используемых приборов и материалов пригодится выпускнику при обучении в ВУЗе и других учебных заведениях.

При изучении физики на ее начальном этапе каждый учитель утверждает: «Физика — экспериментальная наука, изучающая природные явления опытным путем». Поэтому преподавание данного предмета не должно проводиться без демонстрационных опытов, домашних и классных экспериментальных и лабораторных работ, тем более в среднем звене, когда закладывается фундамент для изучения предмета. Человек, особенно ребенок, получает в первую очередь информацию путем органов зрения. Поговорка «лучше один раз увидеть...» очень актуальна для уроков с преподаванием технических предметов, к которым относится и физика. Поэтому я в своей работе стараюсь как можно больше внимание акцентировать на применении и использовании на уроке, а так же при выполнении учащимися в домашних условиях, различных опытов, так как убеждена в том, что дети должны самостоятельно выполнять эксперименты, видеть происходящие процессы и уметь делать по ним заключение.

Физические законы лежат в основе химических, биологических, астрономических явлений. В связи с этим физику, как науку можно считать основой всех естественных наук. Устройство и принцип действия большинства применяемых в быту и технике приборов и механизмов вполне могут стать хорошей иллюстрацией к изучаемым вопросам на уроках физики. Поэтому я на уроках часто использую решение задач с техническим содержанием. На примере домашних, бытовых приборов, прошу детей узнавать технические характеристики и составлять задачи самим и формулировать вопросы.

В настоящее время роль физики непрерывно возрастает, так как физика является основой научно - технического прогресса. Использование знаний по физике необходимо каждому для решения практических задач в повседневной жизни. Не случайно Правительство РФ обращает внимание на то, что необходимо качественно готовить специалистов технических, инженерных специальностей, увеличивая количество бюджетных мест в ВУЗах. Поэтому на школьного учителя физики, а затем и на преподавателя ВУЗа возлагаются большие надежды в плане обучения и воспитания личности обучаемого.

На сегодняшний момент, к сожалению, не все школы снабжены современным оборудованием в полном объеме для выполнения демонстрационных опытов и лабораторных работ, так как приборы изнашиваются с течением времени и ломаются. Во многих средних учебных заведениях в рамках инновационных процессов применяют новые информационные технологии при изучении предмета физики, например, заменяя практическую лабораторную работу с приборами и инструментами виртуальной лабораторной работой, выполняемой при

помощи компьютера и другой мультимедийной техники (проектора, интерактивной доски). На мой взгляд, новые информационно - коммуникативные технологии не только не мешают, но и помогают в обучении учащихся с новым мышлением, которое диктуется развитием общества на современном этапе. Тем не менее, думаю, нельзя подменять практику использования различных приборов и материалов компьютерными играми по данному предмету в полном объеме, они должны выступать только как один из элементов в программе обучения. В связи с вышеизложенным, я считаю, что готовность учителя физики к внедрению Федеральных Государственных образовательных стандартов основного общего образования для формирования у обучаемого понимания изучаемого предмета предполагает оснащение учебного заведения в полной мере техническим и компьютерным оборудованием, а это возможно только при Государственной поддержке.

В школе, а затем в других учебных заведениях мы изучаем множество дисциплин. Но на практике оказывается, что многие из изученных предметов многим из нас потом совершенно не пригождаются в жизни, или знания, полученные при изучении этих дисциплин, крайне редко используются. На своих уроках я стараюсь дать ответ на вопрос: "Для чего необходимо изучение предмета физика в школьном курсе? Пригодятся ли знания, полученные в школе в дальнейшей жизни и в каких областях?" Поэтому останавливаюсь на практическом применении знаний и умений при изучении предмета.

На уроках физики в 7 классе основным методом работы с учащимися я выбираю метод наглядности. Человек 90% информации получает за счет органов зрения, поэтому на начальном этапе обучения физике учителю необходимо демонстрировать множество опытов и вовлекать учащихся для получения знаний в экспериментальную, исследовательскую работу. Выполняя лабораторные и практические работы, учащиеся лучше усваивают тему урока, так как открывают закономерности и зависимости между физическими величинами, лучше запоминают полученный результат по сравнению с прочитанными определениями в учебнике, используют полученные знания, методы исследования для решения задач. На своих уроках я стараюсь как можно больше времени особенно в 7 – 8 классе, когда закладываются «азы» физики, дать возможность учащимся самим выполнить эксперимент, познакомиться с измерительными приборами, развивать моторику и т.д. Кроме того, стараюсь применять для практических занятий предметы из повседневной жизни. Так, например, в 7 классе при изучении темы «Измерение объема тела формы прямоугольного параллелепипеда» я добавляю исследование не просто твердого тела, но еще и сыпучего продукта, например, соли или сахара. А, знаете ли вы, какую емкость нужно приготовить, чтобы пересыпать в нее 2 кг сахара? Поместится ли

содержимое сахара в 2-х литровую банку, или нужна 3-х литровая посуда? Из-за сыпучести тело меняет форму, но сохраняет свой объем. Учащиеся измеряют массу и объем сыпучего продукта для определения затем насыпной плотности вещества. Думаю, что такой метод в дальнейшем может пригодиться ребятам в жизни, когда на кухне, дома для хранения сыпучих продуктов данной массы необходимо готовить тару нужного объема. Проводя уроки физики, я стараюсь показать связь изучаемой темы с жизнью. Раньше, при изучении темы «Масса, взвешивание тел на рычажных весах» мною использовались различные металлические предметы, цилиндры из набора тел, гайки и другая мелочь, которой в лаборатории предостаточно. В последнее время я все больше убеждаюсь в том, что ребятам более интересно взвешивать на лабораторной работе то, что они привыкли видеть в магазине или на рынке, покупая товар, а именно овощи, фрукты, конфеты и т.д. Таким образом, дети учатся делать прикидку: сколько, например, яблок данного размера содержится в 1 кг или как много конфет в 300 г. Большой интерес вызывает обычно «перевешивание» товара на котором масса уже записана производителем, например, кондитерской фабрикой. Но самое главное, знакомясь с понятием «масса нетто», «масса брутто», «погрешность» учащиеся узнают, что иногда приходится платить за упаковку вместо платы за товар. И уж совсем дети поражаются, когда на упаковке написанная «масса нетто» товара превосходит определяемую детьми «массу брутто» на школьных весах, которые дают погрешность измерения всего 0, 1 г. Мне кажется, что такие уроки более запоминающиеся. Они вызывают позитивный настрой и интерес к изучаемому предмету, а так же готовят детей к различным жизненным ситуациям.

Все больше убеждаюсь в том, что наглядность и практические работы при изучении тем по физике нужны и интересны детям не только среднего, но и старшего звена.

Например, при изучении раздела "Оптика", в 11 классе по теме "Поляризация света", не просто использую опыт с турмалиновыми пластинками для демонстрации поглощения вредных ультрафиолетовых лучей, но и чтобы была практическая польза на будущее, учу выбирать очки с поляризационными линзами, чтобы уберечь сетчатку глаза от загара, т.е. воздействия излишнего ультрафиолета. Обучаемые учатся отличать подделку. Например, отличать простой пластик от линзы с поляризационной пленкой. На практической работе дети с удовольствием из целой кучи различной светозащитной оптики учатся находить очки с поляризационными линзами, а при изучении темы «Линзы» обязательно проводят отбор очков для дальновзоркости от очков для близорукости, причем различая коррекционные очки для миопии средней и сильной степени. Одним из методов преподавания на уроке физики я считаю

позитивный настрой преподавателя и учащихся. В своей работе я следую правилу, выраженному словами Анатоля Франса: «Учиться надо весело, только тогда знания поглощаются с аппетитом!»

Литература

1. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования/ М - во образования и науки РФ,- М.: Просвещение, 2011, - 48 с.

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ РАСХОДИМОСТИ ДЛЯ КРОВОТОВОЙ НОРЫ С ТОНКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Арсланова Ю.А., Хайбуллина А.Р., Измаилов Р.Н., Камал К.Н.
Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы,
г. Уфа, Россия

Общая метрика для цилиндрически симметричного пространство-времени в координатах $X^{\mu} \equiv (t, \rho, \varphi, z)$ задана в виде:

$$d\tau^2 = -A(\rho)dt^2 + B(\rho)d\rho^2 + C(\rho)d\varphi^2 + D(\rho)dz^2 \quad (1)$$

где A, B, C, D положительные функции от ρ . Построена кротовая нора с тонкой оболочкой используя метод Виссера "cut and paste"[1]: берутся две копии $M^{\pm} = \{x/\rho \geq a\}$, где $\rho \geq a$ и тогда, сопряженная в гиперплоскости горловины запишется в виде $\Sigma \equiv \Sigma^{\pm} = \{\rho^{\pm} - a = 0\}$.

Последнее представляет собой геодезически полное многообразие $M = M^{+} \cup M^{-}$. Если при суммировании Σ две копии открыты по обе стороны горловины, имеет место говорить о КН с тонкой оболочкой. Поверхность горловины времениподобна и описывается с координатами (τ, φ, z) . Движение вводится с допущением, что $a \rightarrow a(\tau)$, где τ собственное время в оболочке определяемое суммой Σ : $H(\rho, \tau) = \rho - a(\tau) = 0$.

Скачки во внешней кривизне $[K_{ij}^{\pm}]$, связанные с двумя сторонами оболочки, удовлетворяют уравнению Сен-Ланкзоса:

$$-[K_{ij}^{\pm}] + [K]g_{ij} - 8\pi S_{ij}, \quad (2)$$

где $S_{ij} = \text{diag}[s, p_{\varphi}, p_z]$ тензор напряжения оболочки кротовой норы. Уравнения поля оболочки[2]:

$$\sigma = -\frac{\sqrt{1+B(a)}a^2}{8\pi\sqrt{B(a)}} \left[\frac{c'(a)}{c(a)} + \frac{D'(a)}{D(a)} \right], \quad (3)$$

$$p_{\varphi} = -\frac{1}{8\pi\sqrt{B(a)+B'(a)a^2}} \{ 2B(a)\dot{a} + B(a) \left[\frac{D'(a)}{D(a)} + \frac{2B'(a)}{B(a)} \right] \dot{a}^2 + \frac{D'(a)}{D(a)} + \frac{B'(a)}{B(a)} \}, \quad (4)$$

$$p_z = -\frac{1}{8\pi\sqrt{B(a)+B'(a)a^2}} \{ 2B(a)\dot{a} + B(a) \left[\frac{c'(a)}{c(a)} + \frac{2B'(a)}{B(a)} \right] \dot{a}^2 + \frac{c'(a)}{c(a)} + \frac{B'(a)}{B(a)} \} \quad (5)$$

Статичный случай определяется при $\dot{a} = 0$ и $\ddot{a} = 0$, тогда получим

$$\sigma = -\frac{1}{8\pi\sqrt{B(a)}} \left[\frac{c'(a)}{c(a)} + \frac{D'(a)}{D(a)} \right] \quad (6)$$

$$p_{\varphi} = -\frac{1}{8\pi\sqrt{B(a)}} \left[\frac{D'(a)}{D(a)} + \frac{B'(a)}{B(a)} \right] \quad (7)$$

$$p_z = -\frac{1}{8\pi\sqrt{B(a)}} \left[\frac{c'(a)}{c(a)} + \frac{B'(a)}{B(a)} \right] \quad (8)$$

Из определения горловины, как поверхности с минимальной площадью $A = \sqrt{C(\rho)D(\rho)}$, получим условие расходимости $(CD)'(\alpha) > 0$ при $\sigma < 0$. Бронников и Лемос [3] рассматривают вместо вышесказанного только радиус функции $R(\rho) = \sqrt{C(\rho)}$ и использует условие радиальной расходимости $C'(\alpha) > 0$ при этом допуская $\sigma > 0$.

В данной работе используется метрика для цилиндрически симметричного пространства-время в виде[4]:

$$d\tau^2 = (1 + 2\Phi)(-dt^2 + dz^2) + d\rho + (1 - 4\Phi)\rho^2 d\varphi^2, \quad (11)$$

$$\Phi(\rho) = 2\pi\alpha^2 \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right) \quad (12)$$

где Φ потенциал Ньютона, $\delta = \lambda^{1/2}M^{-1}$ размер ядра дефекта, λ, M и α безразмерные константы. Метрика функции:

$$A(\rho) = 1 + 2\Phi, \quad (13)$$

$$B(\rho) = 1, \quad (14)$$

$$C(\rho) = (1 - 4\Phi)\rho^2, \quad (15)$$

$$A(\rho) = 1 + 2\Phi. \quad (16)$$

Компоненты напряжения для статичного случая:

$$\sigma(\alpha) = -\left(\frac{1}{4\pi\alpha}\right) \left[\frac{2\pi\alpha^2}{1+4\pi\alpha^2 \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right)} + \frac{4\pi\alpha^2(1+2\ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right)-1)}{8\pi\alpha^2 \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right)-1} \right] \quad (17)$$

$$p_\varphi(\alpha) = \frac{\alpha^2}{2\alpha(1+4\pi\alpha^2 \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right))} \quad (18)$$

$$p_z(\alpha) = \frac{1-4\pi\alpha^2(1+2\ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right))}{2\alpha(1+4\pi\alpha^2 \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right))} \quad (19)$$

Мы видим, что статичное уравнение и уравнение мембраны представляется в виде:

$$p_\varphi + p_z = -\sigma \quad (20)$$

И, если посчитаем, что некоторые статичные уравнения сохраняются при дальнейшем движении, находим из уравнений(3-5), что $\ddot{a} = 0$. Это означает, что ускорение не увеличивается в горловине. Некоторые заключения позволяют также из стабильного анализа работы [2], которые привели к уравнению

$$2B(\alpha)\ddot{a} + B'(\alpha)\dot{a}^2 = 0 \quad (21)$$

Где для представления уравнения (11), (21) просто снижается к $\ddot{a} = 0 \Rightarrow a(\tau) = A_0 + B_0\tau$, где A, B константы. Горловина, таким образом, увеличивается линейно в пределах от $r \rightarrow \infty$ делая кротовую нору неустойчивой.

Также, имеем

$$(CD)'(\alpha) = 2\alpha \left[1 - 2\pi\alpha^2 - 4\pi\alpha^2(1 + 8\pi\alpha^2) \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right) - 32\pi^2\alpha^4 \left\{ \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right) \right\}^2 \right], \quad (22)$$

$$C'(\alpha) = 2\alpha \left[1 - 4\pi\alpha^2 - 8\pi\alpha^2 \ln\left(\frac{\rho}{\delta}\right) \right] \quad (23)$$

Где уравнение (22) относится к площади расходимости функции, уравнение (23) относится к радиальной расходимости функции.

Результаты

В данной работе мы построили поверхности σ , $\sigma + p_2$ и $\sigma + p_3$ для произвольно установленного набора констант $\alpha = \frac{5}{2}$, $\delta = 8$. Нашли значения радиуса (в безразмерной единице), где выполняется условие расходимости $(CD)'(\rho) > 0$. На рисунке 1 видим, что $\sigma < 0$ (экзотическая материя) не при любом значении радиуса, а есть промежуток, где $\sigma > 0$ (рис. 1 и 2).

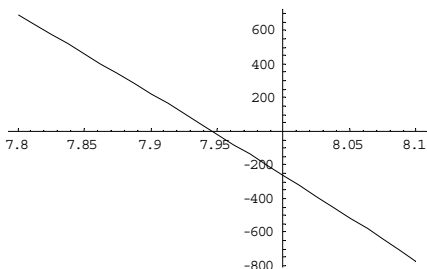


Рис. 1. $(CD)'(\rho)$ в зависимости от ρ . Неравенство $(CD)'(\rho) < 0$ справедливо на промежутке $\rho \in (7.94; 8.1)$ при $\sigma > 0$

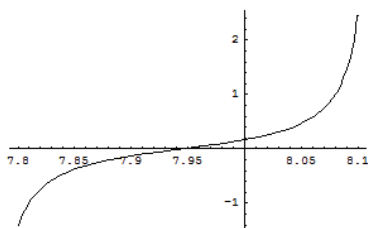


Рис. 2. $\sigma(\rho)$ в зависимости от ρ . Как и ожидалось $\sigma > 0$ в приведенном выше диапазоне

Если мы имеем $\sigma > 0$, то можем использовать условие Бронникова-Лемоса $C'(\alpha) > 0$. Рисунок 3 показывает, что $C'(\alpha) < 0$ для радиусов, охватывающих как $\sigma > 0$, так и $\sigma < 0$.

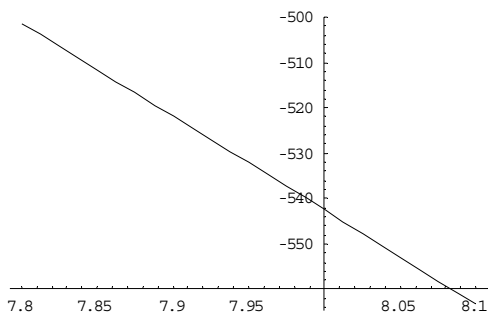


Рис. 3. $C'(\rho)$ в зависимости от ρ . Как видим, $C'(\rho) < 0$.

Таким образом, условие радиальной расходимости нарушается в этом примере. Конечно, это условие открывает возможность достигать $\sigma > 0$. Это легко можем построить в том диапазоне радиуса, где $C'(a) > 0$ и $(CD)'(a) < 0$ выполняются одновременно, но потом из этого неумолимо следует, что $D(a) < 0$ (рис.4,5,6).

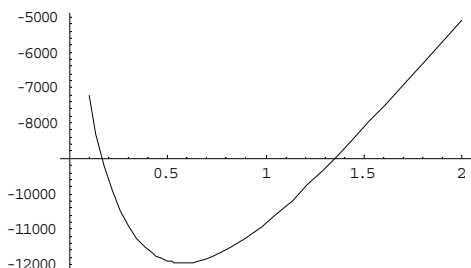


Рис. 6. Зависимость $(CD)'(\rho)$. Неравенство $(CD)'(\rho) < 0$ выполняется на промежутке $\rho \in [0.1; 2]$ при $\sigma > 0$

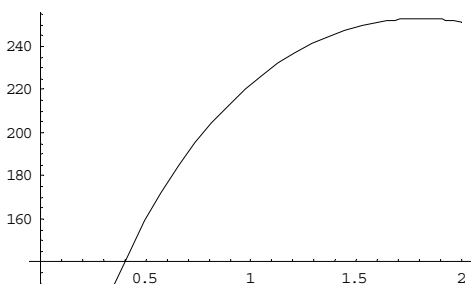


Рис. 7: Зависимость $C'(\rho)$, Как видим, $C'(\rho) > 0$

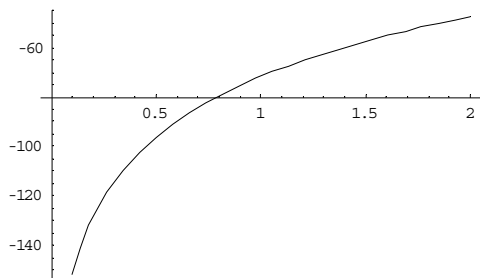


Рис. 8: Зависимость $D'(\rho)$. Как видим, нарушена сигнатура $D'(\rho) < 0$, хотя условия $(CD)'(\rho) < 0$ и $C'(\rho) > 0$ выполняются одновременно

Исключение, однако, не исключено. Для случая, в работе [2], показывается, что для некоторых значений констант в пространство - времени Эйнштейна и Максвелла с радиальным электрическим полем, одновременно могут выполняться оба условия $C'(a) > 0$ и $(CD)'(a) < 0$.

Литература

1. M.Visser, Lorentzian Wormholes-From Einstein to Hawking, AIP, New York (1995)
2. E.F. Eiroa and C. Simeone, Phys. Rev. D 81, 084022 (2010)
3. K.A.Bronnikov and J.P.S.Lemos, Phys. Rev. D 79, 104019 (2009)
4. I.Cho and A.Vilenkin, Phys. Rev. D 59, 021701(1998); ibid. D 59, 063510(1999).

ОСОБЕННОСТИ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТА ВИСМУТА

Ахтарьянов Г.Ф.¹, Гареева З.В.², Звездин А.К.³

¹Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акмуллы, г.Уфа, Россия

²ИФМК УНЦ РАН, г.Уфа, Россия

³ИОФ РАН, г.Москва, Россия

В последние годы активный научный интерес проявляется к мультиферроикам – материалам с широким диапазоном физических свойств. Для практического применения мультиферроиков определяющее значение имеет величина магнитоэлектрического эффекта, а также возможность реализации магнитоэлектрических характеристик при высоких температурах. Одним из немногих магнитоэлектрических материалов, удовлетворяющих данным условиям, является феррит висмута. Сегнетоэлектрическое и магнитное упорядочение устанавливаются в феррите висмута при температурах $T_C=8200$ С, $T_N=3700$ С. Рентгенографические исследования [1] показывают, что при температурах от -1960 С (77 К) вплоть до температуры Нееля в феррите висмута реализуется циклоидальная антиферромагнитная структура. Изменение температуры, магнитного, электрического поля, а также свойства ориентирующей подложки оказывают существенное воздействие на характер распределения спинов в циклоиде, условия ее существования и устойчивости [2 - 4].

В данной работе проведено теоретическое исследование спиральной магнитной структуры в пленках феррита висмута, рассмотрен вопрос о возникновении поверхностной магнитной анизотропии в пленках с разной кристаллографической ориентацией, исследованы условия перехода из состояния с пространственной модуляцией спинов в однородное магнитное состояние.

Для исследования равновесного распределения спиновой плотности в пленках BiFeO_3 запишем плотность свободной энергии с учетом магнитных, магнитоэлектрических и магнитоупругих взаимодействий

$$f = A \left[(\nabla\theta)^2 + \sin^2\theta (\nabla\varphi)^2 \right] - K_{||} \left[\sin^2\theta + f_{\text{meis.}} - D_z P_z \left(\cos\varphi \frac{\partial\theta}{\partial x} + \sin\varphi \frac{\partial\theta}{\partial y} - \sin\theta \cos\theta \left(\sin\varphi \frac{\partial\varphi}{\partial x} - \cos\varphi \frac{\partial\varphi}{\partial y} \right) \right) \right] \quad (1)$$

здесь θ , φ - полярный и азимутальный углы вектора антиферромагнетизма $\mathbf{l} = (\sin\theta \cos\varphi, \sin\theta \sin\varphi, \cos\theta)$ (угол и отсчитывается от положительного направления главной оси кристалла

$\mathbf{OZ} \parallel C_3 \parallel \langle 111 \rangle$), $K_1 = K_1^0 - \chi_{\perp} \frac{H_z^2}{2}$ - эффективная константа магнитной анизотропии, χ_{\perp} - перпендикулярная составляющая магнитной восприимчивости системы, K_1^0 - константа магнитной анизотропии, H - магнитное поле, приложенное вдоль направления $\langle 111 \rangle$, A - константа неоднородного обменного взаимодействия, D_2 - константа неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия, P $(0, 0, P_z)$ - вектор спонтанной поляризации, направленный вдоль главной оси кристалла, $f_{m.elas.}$ - плотность энергии магнитоупругих взаимодействий.

Учет магнитоупругой энергии приводит к появлению дополнительной поверхностной магнитной анизотропии, связанной с ориентирующей подложкой. В (111) - пленках вклад магнитоупругой составляющей в плотность свободной энергии имеет вид

$$f_{m.elas.}^{111} = -K_{subs} \cos^2 \theta, \quad (2)$$

$$K_{subs} = \frac{B_2 u_0}{2}$$

где

В (110) - пленках вклад магнитоупругой составляющей представляется как

$$f_{m.elas.}^{110} = -K_{subs}^1 \left(\frac{1}{3} \sin^2 \theta \cos^2 \varphi + \frac{2\sqrt{2}}{3} \sin \theta \cos \theta \cos \varphi + \frac{2}{3} \cos^2 \theta \right) + K_{subs}^2 \sin^2 \theta \sin^2 \varphi \quad (3)$$

$$K_{subs}^1 = \left(\frac{B_1}{2} + \frac{B_2}{4} \right) u_0, \quad K_{subs}^2 = \left(\frac{B_2}{4} - \frac{B_1}{2} \right) u_0,$$

где B_1, B_2 - коэффициенты магнитоупругости, u_0 - параметр несоответствия

$$u_0 = \frac{a_{subs} - a_{film}}{a_{film}},$$

здесь a_{film} - параметр решетки пленки, a_{subs} - параметр решетки подложки.

Распределение вектора антиферромагнетизма, период модулированной структуры, критическое поле перехода в основное состояние определяются на основе анализа уравнений Эйлера - Лагранжа. Расчеты показывают, что в пленках (110) при заданном направлении вектора поляризации выделяется одно направление распространения циклоиды [112], при этом возможны два вида решений,

соответствующие антиферромагнитным спиральям с различным направлением разворота спинов. Энергетически устойчивой является спираль ($\varphi=0$), для реализации спирали другой киральности ($\varphi=\pi$) требуется введение дополнительных условий. График зависимости угла θ от координаты ξ для пленок (110) показан на рис.1

$$\xi = \sqrt{\frac{K_{eff}}{A}} x = \sqrt{\frac{K_1 - \frac{1}{3} K_{subs}^1}{A}} x$$

при следующих значениях параметров

$$D_2 = \frac{4\pi A}{\lambda P_0}$$

$A=2 \cdot 10^{-7}$, $P_0=6 \cdot 10^{-5}$ C/cm², $\lambda=62 \cdot 10^{-7}$ cm,

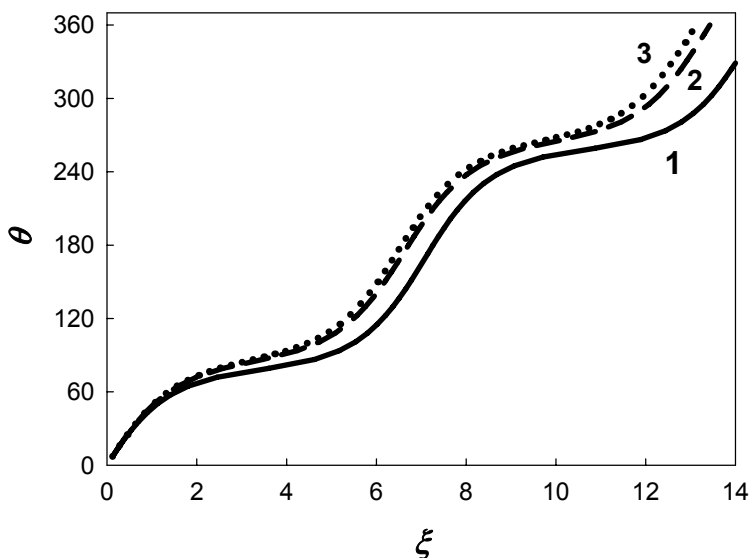


Рис. 1. Графики зависимости θ и φ в (110) – пленке BiFeO₃, $K_{eff} = K_1 = 5 \cdot 10^5$ erg/cm³, кривая 1 - $K_{subs} = 2 \cdot 10^5$ erg/cm³, кривая 2 - $K_{subs} = 9 \cdot 10^4$ erg/cm³, кривая 3- $K_{subs} = 7 \cdot 10^4$ erg/cm³

В случае пленок (111) закон распределения спиновой плотности сохраняется таким же, как и в объемных образцах с точностью до перенормировки константы магнитной анизотропии

$$K_{eff} = K_1^0 - \chi_{\perp} \frac{H_z^2}{2} - \frac{B_2 u_0}{2}$$

Перенормирование константы магнитной анизотропии приводит к смещению критического поля перехода в однородную магнитную фазу, изменению периода пространственно –

модулированной структуры. Фазовая диаграмма пленок (111) в координатах (u_0 , H) представлена на рис.2.

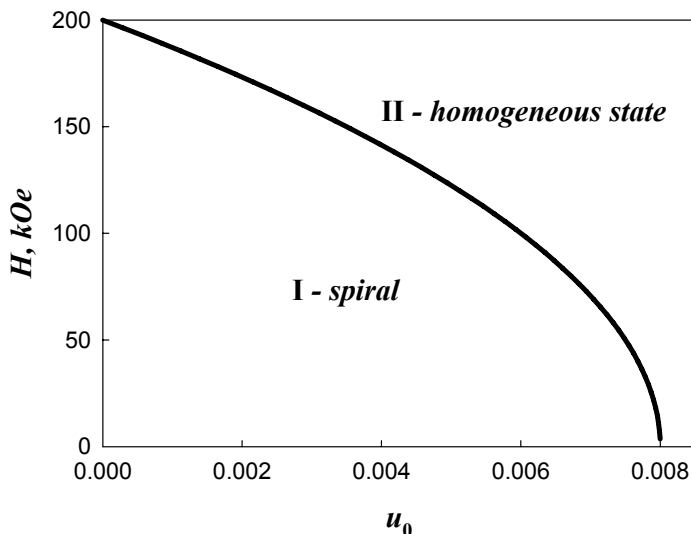


Рис. 2. Фазовая диаграмма (111) – пленки BiFeO_3 , I – область существования спиновой циклоиды, II – область существования однородной магнитной фазы, $B_2=108 \text{ erg/cm}^3$, $K_{10}=8.2 \cdot 10^5 \text{ erg/cm}^3$, $\chi=10^{-5}$ ($K_{\text{crit}}=5 \cdot 10^5 \text{ erg/cm}^3$)

Наличие дополнительной анизотропии в эпитаксиальных пленках влияет на свойства пространственно – модулированных структур. Расчеты показывают, что в пленках BiFeO_3 реализуются спирали с выделенным направлением вектора распространения, изменяется период, характер распределения спиновой плотности в модулированной структуре. Поверхностная анизотропия вызывает невзаимность циклоиды, подложка выделяет направление, по которому развивается спираль. Наличие поверхностной магнитной анизотропии приводит к смещению поля перехода в однородное магнитное состояние. В эпитаксиальных пленках подавление циклоиды может быть достигнуто за счет магнитоупругой энергии, в тех случаях, когда вклад магнитоупругой энергии оказывается недостаточным, для разрушения циклоиды используют внешние магнитные поля, причем критическое поле уничтожения циклоиды понижается за счет дополнительного вклада упругих напряжений.

Литература

1. А.В. Залесский и др. Письма в ЖЭТФ 71, 682 (2000).

2. G. Catalan and J. F. Scott, *Adv. Mater.* 21, 2463 (2009).
3. M. Cazayous et al. *Phys. Rev. Lett.* 101, 037601 (2008)
4. W. Ratcliff II et al. *Adv. Funct. Mater.* 21, 1567–1574 (2011).

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕР-КОЛЛОИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Бабаев М.С., Лагунова Е.В.

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт органической химии Уфимского научного центра РАН,
г.Уфа, Россия**

Введение

Последние десятилетия полимерные мицеллы привлекают к себе повышенное внимание как потенциальные наноконтейнеры для адресной доставки лекарственных средств (ЛС) [1-3]. Полимер-коллоидные комплексы (ПКК) на основе комплементарно заряженных полиэлектролитов и ионогенных ПАВ являются одним из видов полимерных мицелл [4]. Известно, что сами частицы ПКК, включающие в свой состав додецилсульфат натрия и другой полиэлектролит - катионный сополимер винилпирролидона, при энтеральном введении в организм животных проявляют собственную биологическую активность. Это малотоксичные вещества, которые не обладают канцерогенным, эмбриотоксическим, мутагенными и тератогенными свойствами, не кумулируются в организме животных и нацело выводятся из организма через 72 часа [5]

В Институте органической химии УНЦ РАН ведутся работы по получению ПКК на основе комплементарно заряженных синтетических полиэлектролитов и ионогенных ПАВ, содержащих фармакофоры [6,7]. Для испытаний таких лекарственных форм на животных, необходимо чтобы комплексы находились в изотоническом растворе. В связи с этим возникла задача разработки методики получения наноразмерных частиц ПКК в изотоническом растворе.

В работе в качестве полиэлектролита (ПЭ) использовали нетоксичный водорастворимый катионный сополимер N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорида с диоксидом серы – полисульфонилпирролидиний хлорид (ПСПХ), синтез которого детально изучен [8,9].

Экспериментальная часть

Для определения предельных составов комплексов $Z_{\text{пред}}$ разбавленные растворы ПЭ титровали раствором ДДС известной концентрации, добавляя его по каплям при интенсивном перемешивании с интервалом прикапывания 5 минут. После добавления каждой порции ДДС измеряли оптическую плотность раствора D на УФ-спектрофотометре “Shimadzu UVVISNIR 3100” в кварцевых кюветах толщиной 1 см при длине волны 500 нм, при которой все отдельные компоненты оптически прозрачны.

Обработку результатов титрования проводили по тому же методу, как в статье [10].

Водные дисперсии ПКК получали путем добавления к водному раствору ПСПХ раствор ДДС при перемешивании с интенсивностью 500 об/мин и температуре 25°C. Состав реакционной смеси, который выражали через молярное соотношение z :

$$z = \frac{[\text{ПАВ}] \cdot V_{\text{ПАВ}}}{[\text{ПЭ}] \cdot V_{\text{ПЭ}}},$$

где [ПЭ] – молярная концентрация повторяющегося звена полиэлектролита, [ПАВ] – молярная концентрация ДДС, $V_{\text{ПАВ}}$ и $V_{\text{ПЭ}}$ – объемы соответствующих компонентов, равный 0.3. Количество ДДС в полученных растворах было меньше значения критической концентрации мицеллообразования в воде (0.008 М).

Определение размеров ПКК проводили на лазерном анализаторе размеров частиц Shimadzu SALD-7101 (Япония) при длине волны 375 нм и температуре 25°C. Для характеристики среднего размера частиц использовали медианный размер.

Обсуждение результатов

Поскольку наночастицы ППК должны быть приготовлены в изотоническом растворе (0.9 % хлорида натрия) для возможности исследования их противовоспалительной активности на модели острого каррагенинового воспаления мышей при внутрибрюшинном введении, возникла задача исследования влияния ионной силы раствора на размеры образуемых частиц полимер-коллоидных комплексов и их коллоидную устойчивость. Известно, что процесс связывания ионов ПАВ-полиэлектролит зависит от ионной силы раствора [11] и было установлено, что кооперативный характер связывания ПАВ-полиэлектролит усиливается с увеличением ионной силы раствора [11-13]. Кроме того, соответствующие ионы хлорида натрия являются противоионами ПСПХ и ДДС. В связи с этим, задача исследования влияния ионной силы раствора разделилась на два пункта: а) как влияет ионная сила раствора на процесс формирования комплексов и в последующем на размеры их частиц и агрегативную устойчивость; б) влияние изменения ионной силы раствора на размеры предварительно сформированных частиц ПКК в среде без добавления хлорида натрия.

Турбидиметрическое титрование раствора ПЭ раствором ПАВ позволяет определить предельное содержание ионов ПАВ в частицах комплексов, при котором система сохраняет свою дисперсную устойчивость. Значение предельного состава комплекса $z_{\text{пред}}$ определяется эффективным зарядом макромолекулы. В реальных растворах значительная часть противоионов ПЭ сконденсирована на макромолекуле,

остальные ионизованные звенья определяют эффективный заряд, а, следовательно, и лиофилизирующую способность. Как видно из рис. 1 предельный состав дисперсно-устойчивых комплексов закономерно уменьшается при увеличении концентрации хлорида натрия.

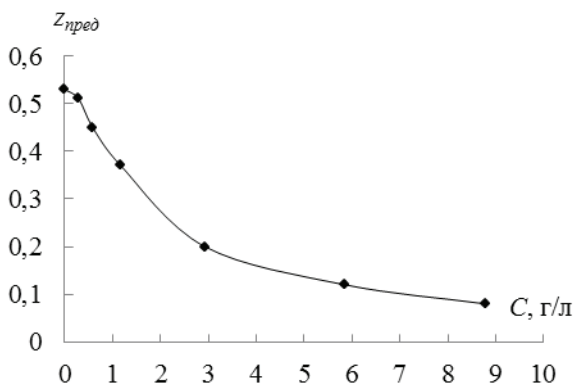


Рис. 1. Зависимость предельного состава комплексов $z_{пред}$ от концентрации хлорида натрия

Присутствие соли в момент формирования ПКК заметно влияет на изменение размеров частиц поликомплексов. Так, например, если система, полученная при мольном соотношении компонентов $z < z_{пред}$ равном 0,3 без добавок хлорида натрия остается практически стабильной как в отношении изменения размеров частиц, так и их фракций (рис. 2 кривые 1 и 2; средний размер частиц 45 нм), присутствие хлорида натрия в сравнительно небольшом количестве (0,3 г/л) при получении ПКК приводит к заметному увеличению размеров до 92 нм при времени выдержки 10 суток и 235 нм при выдержке 30 суток (рис. кривые 3 и 4).

Исследование влияния ионной силы раствора на размеры ПКК показало, что добавление до $9 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ хлорида натрия в раствор, содержащий частицы ПКК, предварительно сформированные в деионизированной воде, не сказывается на изменении как размеров частиц ПКК, так и долей соответствующих фракций в течение первых суток эксперимента (рисунок 2 кривая 1 и рисунок 3 кривая 1). В последующем наблюдается помутнение системы, свидетельствующее о процессах агрегации и при длительной выдержке 10 и 30 суток средние значения размеров частиц смещаются в сторону больших величин и происходит уширение кривых дифференциально-числового распределения диаметров частиц (рис. 3). Увеличение размеров частиц ПКК при длительной выдержке, вероятно, связано с тем, что в присутствии добавок хлорида натрия происходит уменьшение эффективного заряда макромолекул ПЭ, а значит и заряда

частиц ПКК, в результате этого процесса происходит ослабление сил кулоновского отталкивания частиц ПКК и, как следствие, их агрегация.

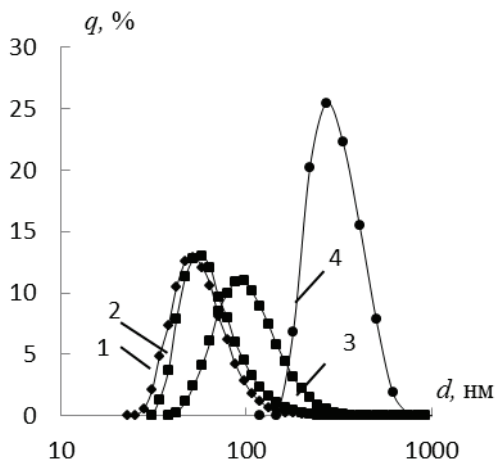


Рис. 2. Кривые дифференциально-числового распределения по диаметрам частиц ПКК, полученных на основе ПСПХ – додецилсульфата натрия без (1,2) и с добавлением $0.3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \text{ NaCl}$ (3,4), при различном времени выдержки: 1,3 – 10 суток, 2,4 – 30 суток. Мольное соотношение компонентов z равно 0.3. Для наглядности ось абсцисс представлена в логарифмическом масштабе

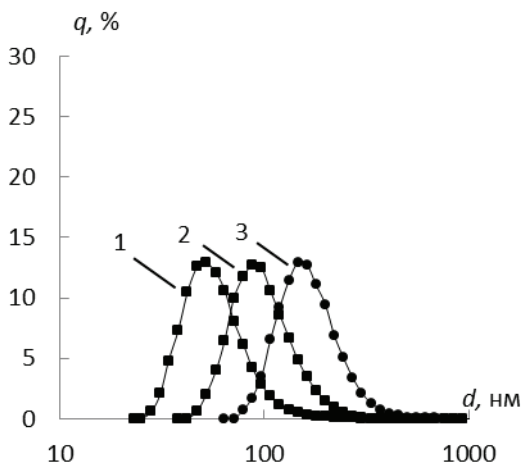


Рис. 3. Кривые дифференциально-числового распределения диаметров частиц ПКК, полученных на основе ПСПХ – додецилсульфата натрия после добавления NaCl при различном времени выдержки: 1 – в день разбавления; 2 – 10 суток; 3 – 30 суток. Мольное соотношение компонентов z равно 0.3. $[\text{NaCl}] = 0.3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Для наглядности ось абсцисс представлена в логарифмическом масштабе

Таким образом, на основе результатов исследования влияния ионной силы раствора на размеры ПКК и их коллоидную устойчивость методика получения дисперсно-устойчивых наночастиц ПКК в изотоническом растворе для изучения их противовоспалительной активности на модели острого каррагенинового воспаления у мышей при внутрибрюшинном введении будет состоять в следующем: прибавлением водного раствора ПАВ к раствору полиэлектролита до мольного соотношения компонентов $z < z_{\text{пред}}$, полученная система будет оставаться стабильной в отношении изменения размеров не менее 30 дней, далее добавлением хлорида натрия до концентрации, соответствующей изотоническому раствору, уже непосредственно перед экспериментом на животных.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (мероприятие 1.1), номер заявки 2012-1.1-12-000-1015-027

Литература

1. Nishiyama N., Kataoka K. Current state, achievements, and future prospects of polymeric micelles as nanocarriers for drug and gene delivery // *Pharmacology & Therapeutics*. 2006. V. 112 (3). P. 630–648.
2. Nakanishi T., Fukushima S., Okamoto. K., Suzuki M., Matsumura Y., Yokoyama M., Okano T., Sakurai Y., Kataoka K. Development of the polymer micelle carrier system for doxorubicin // *Journal of Controlled Release*. 2001. 74. P. 295–302.
3. Rijcken C. J. F., Soga O., Hennink W. E., van Nostrum C. F. Triggered de-stabilisation of polymeric micelles and vesicles by changing polymers polarity: An attractive tool for drug delivery // *Journal of Controlled Release*. 2007. 120. P. 131–148.
4. Касаикин В.А., Ефремов В.А., Захарова Ю.А., Зезин А.Б., Кабанов В.А. Образование внутримолекулярной мицеллярной фазы как необходимое условие связывания амфифильных ионов противоположно заряженными полиэлектролитами // *Доклады Академии Наук*. 1997. Т. 354. С. 498–501.
5. Новаков И. А., Шулевич Ю.В., Ковалева О.Ю., Навроцкий А.В., Навроцкий В.А. Комплексы полиэлектролитов с электростатически комплементарными поверхностно-активными веществами // *Известия ВолгГТУ*. Сер. Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов. 2005. Вып. 1. №10. С. 5–16.
6. Бабаев М.С., Воробьева А. И., Мингалеев В.З., С.В. Колесов. Наноразмерные частицы поликомплексов на основе сополимера N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорида с диоксидом серы, модифицированного различными лекарственными молекулами/

Современные проблемы и инновационные перспективы развития химии высокомолекулярных соединений: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР Сагита Рауфовича Рафикова. Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. с. 82-83.

7. Бабаев М. С., Осинцев Д. Ю., Воробьева А.И., Колесов С.В. Наноразмерные полимер-коллоидные комплексы на основе (со)полимеров диаллилдеметиламмоний хлорида / Синтез, исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений: сборник материалов Всероссийской молодежной конференции. 11 – 14 сентября 2012 г. г. Уфа. Уфа: РИЦ БашГУ 2012. с. 3-10.

8. Воробьева А.И., Васильева Е.В., Гайсина Х.А., Пузин Ю.И., Леплянин Г.В. Сополимеризация N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний хлорида с двуокисью серы // Высокомолекулярные соединения А. 1996. Т. 38. № 10. С. 1663–1667.

9. Олигомерные сульфонилпирролидиний хлориды в качестве катализатора реакции двуокиси серы с сероводородом и способ получения олигомерных производных аминсульфонов / Леплянин Г.В., Толстикова Г.А., Воробьева А.И., Шурупов Е.В., Абдрашитов Ю.М., Бикбаева Г.Г., Сатаева Ф.А., Козлов В.Г. СССР. А.с. 1530631. Б.И. 1989. № 47. МКИ4 C08 G 75/22, C 01 B 17/02. С. 122.

10. Шулевич Ю. В., ТхуйХыНгуен, Червятина М. Е., Навроцкий А. В., НоваковИ. А. Применение комплексов полиэлектролит – ПАВ для очистки жиродержащих сточных вод// Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 2. №8. С. 177–182.

11. Goddard E.D., Ananthapadmanabhan K.P. Interaction of Surfactants with Polymer and protein. NewYork: CRCPress, 1993. 427 p.

12. Луценко В.В., Зезин А.Б., Калужная Р.И. Термодинамика кооперативного взаимодействия полиэлектролитов в водных растворах //Высокомолекулярные соединения А.1974.Т. 16. №11.С. 2411–2417.

13. Ruso J.M., Sarmiento F. The interaction between trimethylammonium bromides with poly(L-aspartate): a thermodynamics study // Colloid and Polymer Science.2000. V. 278. P. 800–804.

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ НА ПРОСТОМ
ОБОРУДОВАНИИ****Баймуратова Г.У. Изергин Э.Т.****Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа**

Выполнение лабораторного эксперимента является неотъемлемой частью процесса познавательной деятельности ученика в ходе овладения основами физической науки.. Это один из наиболее эффективных методов обучения физики. Лабораторные работы повышают интерес учащихся к физике, положительно влияют на развитие творческих способностей личности. При проведении лабораторных работ исследовательского характера (связанных с изучением какого - либо явления), у учащихся формируется представление об основных принципах научного познания. При правильной организации лабораторного эксперимента у учащихся постепенно формируется самостоятельность.. При самостоятельных лабораторных работах умственная деятельность учащихся сопровождается ещё и деятельностью органов движения (моторность). Объединяются мысль, слово (запись) и действие. Только путём выполнения самостоятельных лабораторных работ школьники получают полное представление о количественной стороне явлений. Только наблюдая и воспроизводя эти явления, преодолевая трудности, переходя от неточных и неполных знаний к более полным и точным, усваивают основные понятия и законы физики, создают самостоятельные и устойчивые суждения об окружающих явлениях.

К сожалению, выпускники школы часто не владеют приёмами лабораторных работ и встречаются большие затруднения на занятиях в вузе или в процессе работы по специальности. Нет самостоятельности мысли и самостоятельности действия. Обследование школ показывает, что обеспеченность лабораторным оборудованием в среднем значительно ниже нормы. Многие из приборов находится в изношенном состоянии. Для проведения лабораторных и практических работ, требуется большое количество однотипных приборов. В данной ситуации многие из учителей отказываются от проведения лабораторного эксперимента. Но изучение физики без эксперимента немисливо, так как научный цикл познания должен опираться на эксперимент. Приобрести измерительные приборы не всегда возможно из-за их высокой стоимости. Наиболее приемлемый вариант решения этой проблемы - использование простого оборудования, которое, несмотря на свою простоту и дешевизну, может заменить в ряде случаев заводские приборы. Большое значение имеет то обстоятельство, что работа с простым оборудованием положительно

влияет на развитие творческих способностей учащихся, так как одним из важных условий развития творческих способностей, является формирование экспериментальных умений и навыков.

Государственный стандарт второго поколения предусматривает значительное увеличение числа лабораторных работ, часть из которых можно выполнить, используя достаточно простое оборудование. В качестве примера приведём работу, которая проводится на простых, доступных и удобных в обращении приборах

Опытная проверка закона Бойля-Мариотта

Оборудование: шприц одноразовый без иглы (на 10 мл), динамометр, гири 1 кг, нитка, миллиметровая линейка.

Ход работы

1. Привяжем нитку с петлёй на конце к штоку шприца. Измерим силу трения поршня о стенки цилиндра. Для этого, держа в одной руке шприц с прицепленным к нити динамометром, постепенно увеличивая нагрузку, добьемся такого действия силы на шток, при котором поршень в цилиндре перемещается равномерно. Тогда динамометр покажет силу упругости пружины, равную силе трения.

2. Отделим шток с поршнем от цилиндра шприца и измерим миллиметровой линейкой внутренний диаметр цилиндра. Рассчитаем площадь поперечного сечения цилиндра.

3. Установив поршень примерно посередине цилиндра (например, 5 мл), закроем плотно пальцем выходную трубку шприца. Потом, зацепив петлёй нити крючок гири массой 1 кг, осторожно опустим гирю. Поршень переместится вниз, т. е. объём воздуха в цилиндре увеличится. Заметим новый объём и результат занесем в таблицу. Объём воздуха в обоих случаях можно измерять в миллилитрах.

4. Рассчитаем новое давление воздуха в цилиндре p_2 по формуле:

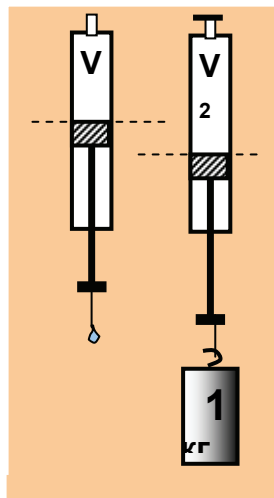
$$p_2 = p_0 - \frac{mg - F_{mp}}{S}; p_2 = p_0 - \frac{4(mg - F_{mp})}{\pi d^2}.$$

5. Найдём произведение давления и объёма в первом состоянии, произведение давления и объёма во втором состоянии и занесем оба результата в таблицу.

6. Сравним произведение p_1V_1 с произведением p_2V_2 .

7. Проделаем все измерения и расчёты при начальных объёмах цилиндра шприца 4 и 6 мл.

8. Рассчитаем погрешность измерения в первом случае



$$\Delta p = \pm 133 \text{ Па}; \quad \Delta V = \pm 0,5 \text{ мл};$$

$$\frac{\Delta pV}{pV} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V};$$

$$\frac{\Delta(pV)}{pV} = \frac{133}{100000} + \frac{0,5}{5} = 0,101. \quad \Delta(pV) = 0,1 \cdot 10^5 \text{ усл.ед}$$

С учётом погрешностей: $p_1 V_1 = (5 \pm 0,1) \cdot 10^5 \text{ усл.ед.}$

Полученные нами результаты занесем в таблицу:

p_0 , Па	V_1 , мл	V_2 , мл	p_2 , Па	$p_1 V_1$, усл.ед.	$p_2 V_2$, усл.ед.
10^5	5			$5 \cdot 10^5 \text{ усл.ед.}$	
10^5	4				
10^5	6				

По результатам наших измерений:

$$V_2 = 8 \text{ мл}$$

$$P_2 = 0,55 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$P_2 V_2 = 4,4 \cdot 10^5 \text{ усл.ед.}$$

Вывод: в пределах погрешностей измерений произведение давления данной массы газа на объём при неизменной температуре есть величина постоянная.

Мы предлагаем ещё ряд лабораторных работ для средней школы на простом оборудовании: опытная проверка закона сохранения механической энергии, изучение явлений интерференции и дифракции света и др.

СИНТЕЗИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ПЛАНАРНОГО ОПТИЧЕСКОГО ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ 1x12 КАНАЛОВ

Балашов А.С., Лопатюк А.В.

БашГУ, г. Уфа, Россия

Схема оптического планарного ребристого разветвителя, смоделированного в ходе работы, содержит 6 пар выходных полюсов. Каждая пара образуется двумя симметричными относительно продольной оси каналами.

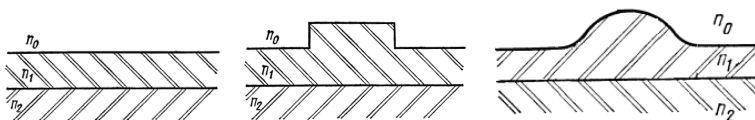


Рис. 1. Профили: а) интегрального пленочного волновода; б) гребневого волновода в идеальном случае; в) гребневого волновода, получаемого на практике

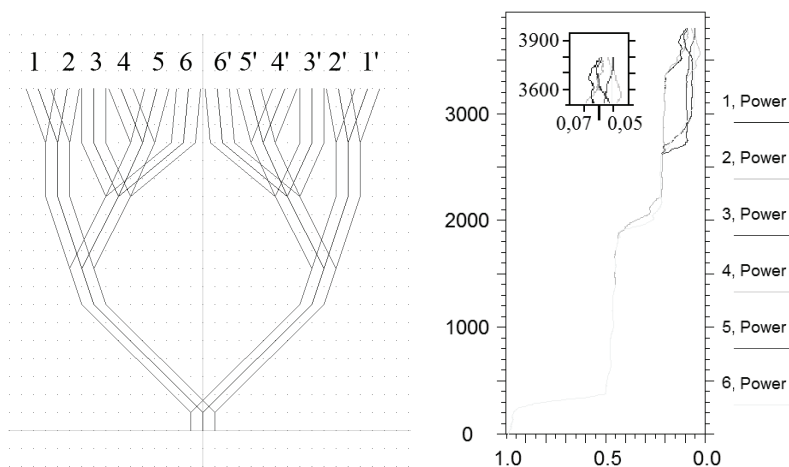


Рис. 2. а) схема полученного разветвителя 1x12; б) диаграмма распределения выходной мощности по парам каналов разветвителя

Модель является идеальной, то есть упрощенной относительно своего строения. Это означает, что в исследуемой модели гребневого волновода (рис. 1,б) присутствует резкий скачок толщины слоя на границе между гребнем и пленкой, в отличие от более плавных переходов, имеющих место в реальных волноводах (рис. 1,в). На рис. 1

n_0 соответствует показателю преломления внешней среды, n_1 -среды волновода, n_2 -подложки.

Рис. 2,а иллюстрирует схему полученного устройства. Цифрами обозначены торцы выходных каналов. На рис. 2,б представлено количество мощности, полученное в каждом канале относительно общей мощности, поступившей на вход разветвителя. Как видно из рисунка, излучение распределяется равномерно между каждым из выходов. Таким образом, уровень мощности изменяется от 0,05 в каналах 3 и 3' до 0,06 в каналах 1 и 1'. Это говорит о возможности использования полученного устройства в системах оптического мультиплексирования с разделением по длине волны, помимо стандартного применения в качестве разветвителя.

На рис. 3 и далее цифрами обозначены номера выходных каналов делителя. Хорошо видны переключения (осцилляции) между каналами 1 и 2 в точках 1,18 мкм, 1,22мкм, 1,27мкм, 1,35мкм. Энергетически выгодным является значение 1,32мкм, когда в выходных каналах сосредотачивается максимально возможная суммарная мощность при наиболее равномерном ее распределении. В этом случае ее значение составляет от 6% в каналах 5 и 6 до 10% в канале 2.

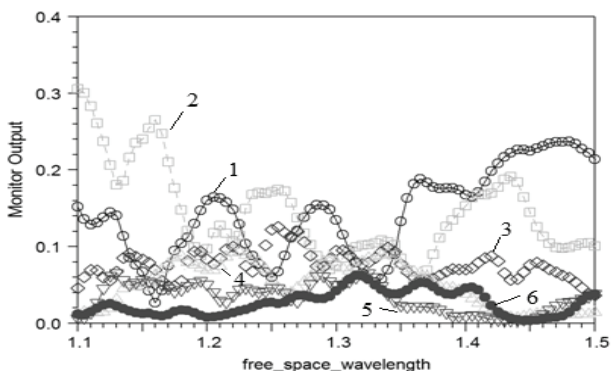


Рис. 3. Зависимость уровня мощности в каналах от длины волны излучения

На рис. 4 показано распределение мощности в окрестностях используемых на практике длин волн излучения 1310 и 1550 нм. Из рис. 4,а видно, что при значении 1,31 мкм мощность на выходе устройства составляет от 5% в канале 5 до 10% в каналах 1 и 2. При 1,55 мкм (рис 4,б) зависимость менее выражена. Мощность в каналах 3,4,5,6 составляет менее 3%, что не представляет интереса для практического применения. В этом случае модель может использоваться как разветвитель 1x2 и 1x4, когда работать будут каналы 1 и 2 при мощности 14 и 19% соответственно.

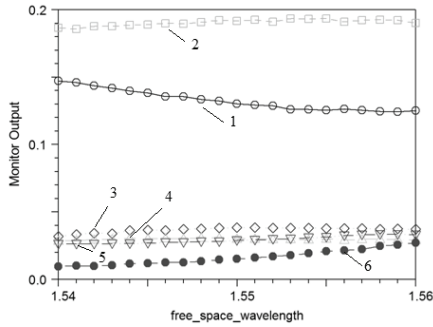
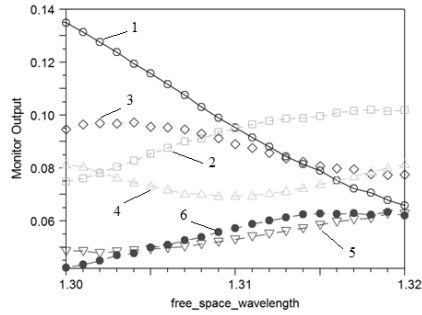


Рис. 4. Зависимость мощности излучения от длины волны в окрестностях 1310нм (а) и 1550нм (б)

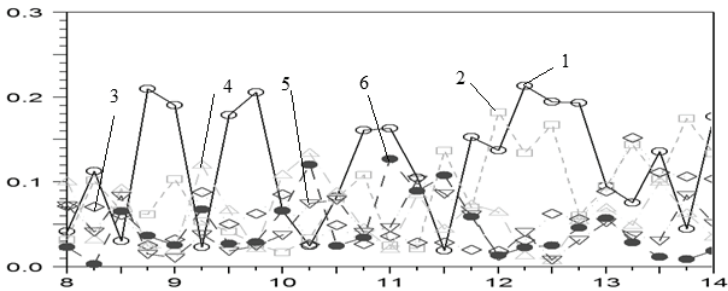
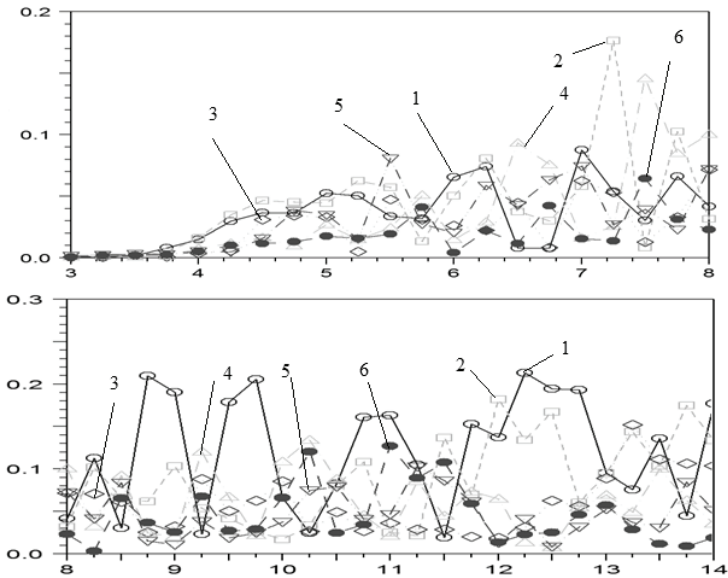


Рис. 5. Зависимость выходной мощности от ширины структуры

Из рис. 5 видно, что при ширине менее 4 мкм излучение в каналах практически отсутствует. Далее зависимость приобретает возрастающий характер, т.е. сумма мощностей в каждом из каналов увеличивается с ростом ширины. На графике видны осцилляции мощности при значениях 7,8; 8,5; 9,25; 11,5; 13,75 мкм. Особенно отчетливо можно их наблюдать при значении 7,5 мкм, когда мощность переключается между каналами соответственно 2 и 4, 1 и 6, 3 и 5. На ширине 7,25 мкм основная доля мощности сосредотачивается в канале 2, на ширине 6,75 мкм, 9,75, 12,25 мкм в канале 1. В этих случаях возможно использования прибора в роли разветвителя 1x2. При этом ширина 13 мкм является оптимальной с точки зрения использования разветвителя для демультиплексирующего оборудования, когда мощность составляет от 6% в каналах 5 и 6 до 11% в канале 2; около 7,5% в каналах 1,3,4.

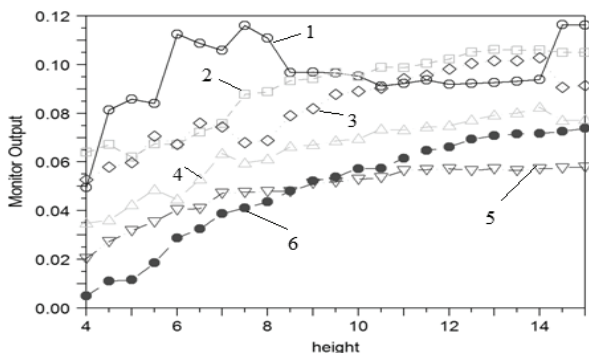


Рис. 6. Зависимость выходной мощности от высоты световедущей пленки

График на рис. 6 имеет в основном возрастающий характер. При высоте около 8 мкм мощность переключается из канала 1 в каналы 2 и 3, при 14 мкм происходит обратное действие. Наиболее энергетически выгодной является высота 8,5 мкм, при этом мощность в волноводе колеблется от 5% в каналах 5 и 6 до 9,5% в каналах 1 и 2. Мощность в каналах 3 и 4 составляет соответственно 6 и 7%.

При значении показателя преломления 2,2 (рис. 7) параметр мощности принимает наилучшее значение для каждого из каналов. Т.о. он составляет от 6% в каналах 1, 4 и 5 до 14% в канале 3; в каналах 2 и 6 составляет около 10%. На диаграмме хорошо видны пики при значениях 1,3; 2; 2,4. В этих случаях потенциально возможно использование устройства в качестве разветвителя 1x2, когда мощность

в двух каналах (в паре каналов 1 при значениях 1,3 и 2 и в паре каналов 6 при значении 2,4) будет составлять от 24 до 25%.

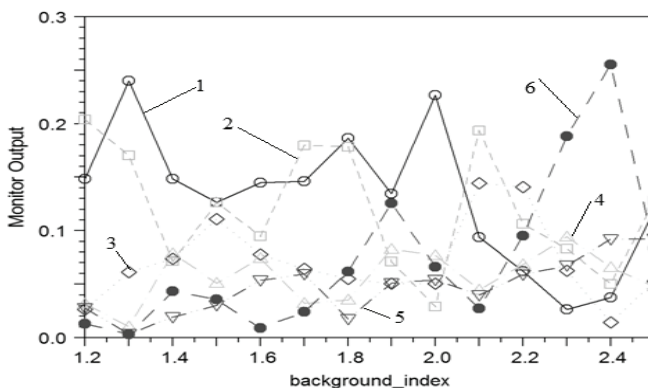


Рис. 7. Зависимость выходной мощности от показателя преломления подложки

Таким образом, можно обобщить сказанное выше и определить основные потенциальные направления использования смоделированного устройства. Во-первых, это применение в качестве разветвителя 1x12 с мощностью излучения в каждом из каналов от 0,05 до 0,06 от входной. Учитывая равномерность распределения мощности, можно выделить следующий случай применения: использование в демультиплексирующем оборудовании, например, с разделением по длинам волн. Кроме этого, возможно применение в качестве делителя мощности 1x2 и 1x4, когда мощность в каналах будет достигать 25%.

Литература

1. Планарные и волоконные оптические волноводы/ Х. –Г. Унгер. – М.: Мир, 1980. – 654 с.
2. Интегральная оптика/ Т. Тамир. – М.: Мир, 1978. – 344 с.
3. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации/ Семенов А. С, Смирнов В. Л. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ МЕДЬ-ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИД-МЕДЬ

Баянова Ю.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Уникальность электронных свойств полимерных материалов хорошо подтверждается на примере влияния давления на электропроводность относительно тонких пленок полимеров [1]. Пленка полидифениленфталита (ПДФ) при изменении условий на поверхности раздела с подложкой формирует наноразмерные проводящие каналы, так что проводимость изменяется от диэлектрической до металлической [2]. Было установлено, что в предпороговой области увеличение давления при фиксированной разности потенциалов на полимерном образце приводит к изменению характера инжекции носителей заряда в пленку. Обнаружено, что в полимере происходит значительное увеличение концентрации электронов и их подвижности [3].

Кроме того, ранее на слоистых гетероструктурах типа ферромагнетик-полидифениленфталит (ПДФ)-медь было обнаружено явление огромного магнитосопротивления [4]. Пленка из широкозонного полимера (ПДФ) может резко изменять сопротивление в магнитном поле, если металлическая подложка обладает ферромагнитными свойствами.

Целью настоящей работы является исследование влияния магнитного поля на структуру неферромагнитный металл-полимер-неферромагнитный металл, а также возможности получения эффекта огромного магнитосопротивления на структурах без ферромагнитной подложки. Настоящее исследование необходимо для того, чтобы понимать, что именно вносит в свойства гетероструктур в магнитном поле сама полимерная пленка.

Пленки ПДФ наносились методом центрифугирования на массивные неферромагнитные подложки (медь, латунь). Толщина пленок $\sim 0,8$ мкм. Вторым электродом служила медная пленка. Направление тока перпендикулярно слоям структуры, направление магнитного поля параллельно слоям структуры. Исследовались вольтамперные характеристики структуры в диапазоне 0-20 В, балластное сопротивление 200 кОм, полезный сигнал снимался с дополнительного сопротивления 2 кОма включенного в последовательную цепь. Измерения проводились при температуре окружающей среды $30 \pm 2^{\circ}$ С, атмосферном давлении.

На рис. 1-4 показаны зависимости величины тока, протекающего через структуру от напряжения. Напряжение подавалось с шагом 0,05 В. Производилось усреднение сигнала прямого и обратного хода. На рис. 1 показана зависимость тока (в наноамперах), протекающего через

структуру Cu – полимер – Cu, от величины электрического напряжения. Исходное сопротивление структуры составляло $R \sim 10^8$ Ом. стрелками показано направление изменения магнитного поля.

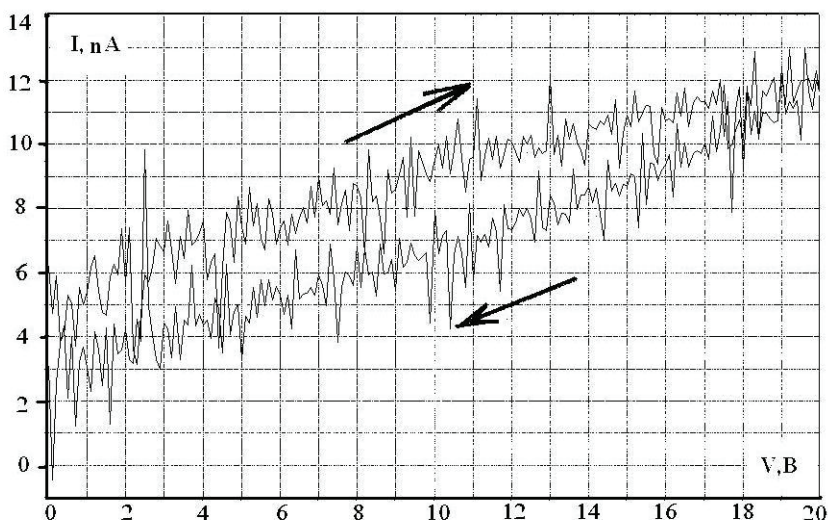


Рис. 1. ВАХ структуры Cu/ ПДФ/ Cu в диэлектрическом состоянии. Величина внешнего магнитного поля 0,1 Тл

При помощи изменения внешнего механического давления удалось получить полимерную пленку в низкопроводящем (диэлектрическом), в высокопроводящем (квазиметаллическом) и в промежуточном (полупроводниковом) состояниях. Для всех трех типов проводимости пленки были сняты вольтамперные характеристики как в магнитном, так и без магнитного поля. На рис. 1 представлена вольтамперная характеристика структуры в диэлектрическом состоянии, стрелками показано направление изменения напряжения, подаваемого на гетероструктуру. Разница между прямым и обратным ходом обусловлена динамическими (гальваномагнитными) эффектами.

На рисунке 2 представлена вольтамперная характеристика системы в магнитном поле в квазиметаллическом состоянии, разница между прямым и обратным ходом не видна из-за больших значений тока. Видно, что ВАХ является линейной, влияние магнитного поля практически отсутствует.

На рисунке 3 представлена вольтамперная характеристика полимерной пленки в промежуточном (полупроводниковом) состоянии. Видно что форма ВАХ типична для полупроводникового типа

проводимости (сверхлинейная). Такое состояние пленки является неустойчивым.

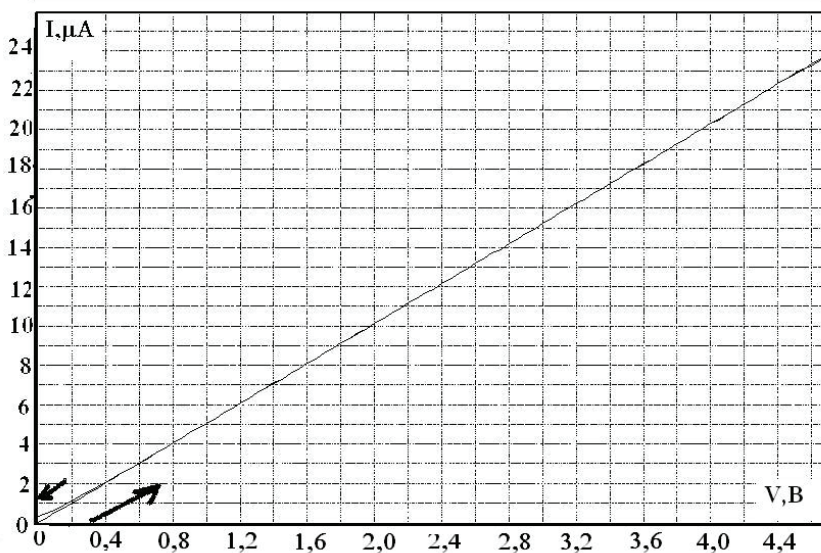


Рис. 2. ВАХ структуры Cu/ ПДФ/ Cu в квазиметаллическом состоянии. Величина внешнего магнитного поля 0,35 Тл

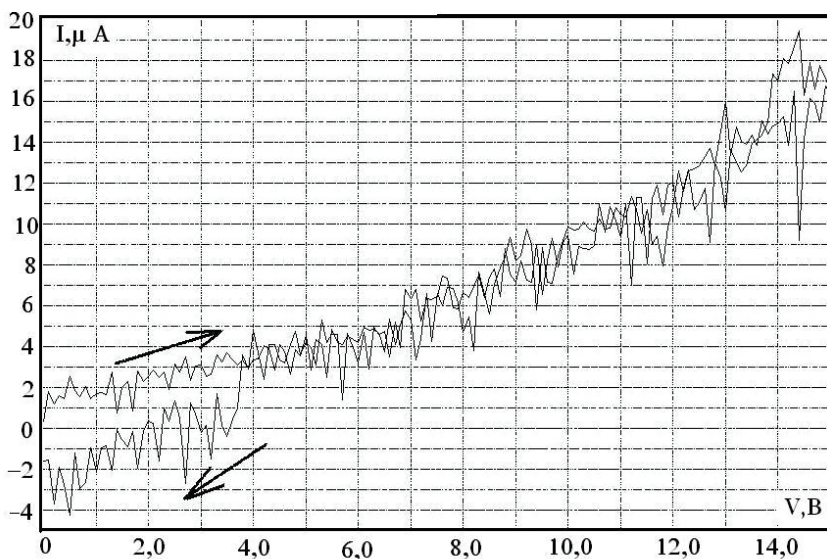


Рис.3. ВАХ структуры Cu/ ПДФ/ Cu в промежуточном состоянии

На рисунке 4 показан переход из промежуточного (полупроводникового) состояния полимерной пленки в высокопроводящее под влиянием динамики изменения магнитного поля. Подобное сбрасывание проводимости в равновесное состояние является следствием динамического изменения магнитного потока через контур и не имеет ничего общего с огромным магнитосопротивлением.

Рассмотрены случаи без механической нагрузки на структуру и с постоянной механической нагрузкой. Получены вольтамперные характеристики трех типов: линейная (высокопроводящее состояние структуры), сложные кривые для диэлектрического состояния структуры и для полупроводникового предпорогового состояния. Для всех типов характеристик влияние статического магнитного поля до 0,35 Тл визуально не обнаружено. Гальваномангнитные явления имеют величину порядка 4 % ($0,12 \cdot 10^{-5}$ В) от величины сигналов в диэлектрическом состоянии ($3,3 \cdot 10^{-5}$ В) и не влияют на вид характеристик.

Обнаружено влияние изменения магнитного поля на состояние пленки. Когда магнитное поле резко изменяется, пленка полидифениленфталата сбрасывается из метастабильного предпереходного состояния в стабильное (высокопроводящее или низкопроводящее). Обнаруженный эффект отнесен к появлению ЭДС индукции при изменении магнитного потока через исследуемую цепь.

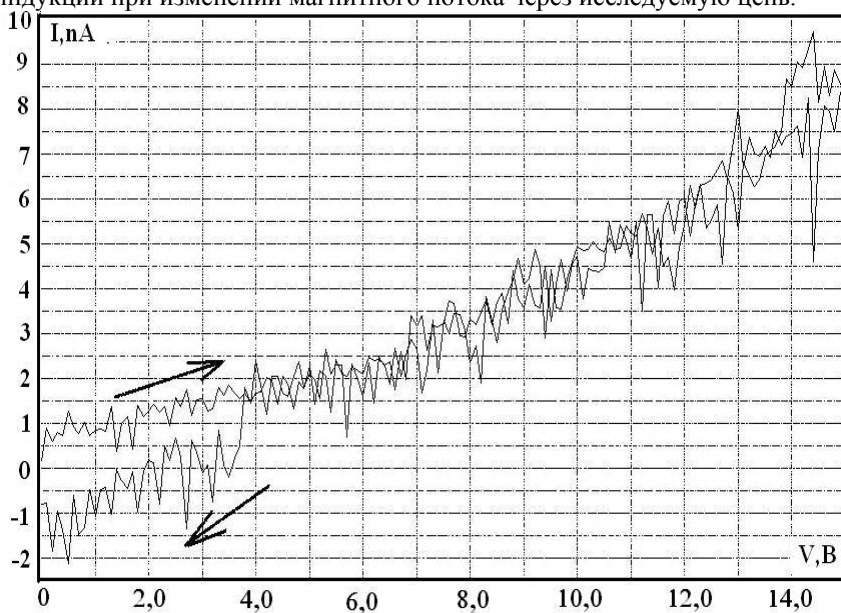


Рис. 4. Переход полимерной пленки из промежуточного состояния в высокопроводящее

Выводы

1. Получены и исследованы ВАХ структуры медь-полидифениленфталид-медь в состоянии низкой проводимости и в состоянии высокой проводимости и в промежуточном состоянии. Состояние проводимости образца регулировалось внешней механической нагрузкой.

2. Показано, что эффект огромного магнитосопротивления не проявляется в отсутствие ферромагнитной подложки.

3. Обнаружено влияние динамики изменения магнитного поля на состояние пленки.

4. Когда магнитное поле резко изменяется, пленка полидифениленфталита сбрасывается из метастабильного предпереходного состояния в стабильное (высокопроводящее или низкопроводящее).

5. Обнаруженный эффект отнесен к появлению ЭДС индукции при изменении магнитного потока через исследуемую цепь.

Литература

[1] А.Н. Лачинов, В.М. Корнилов, Т.Г. Загуренко, А.Ю. Жеребов. К вопросу о высокой проводимости несопряженных полимеров. –ЖЭТФ.- Т.129. - вып.4. 2006. - стр.728-734.

[2] А.Н. Лачинов, Н.В. Воробьева. Электроника тонких слоев широкозонных полимеров. - УФН. –Т.176. - №. 12. – 2006. – стр.1249-1266.

[3] А.А. Бунаков, А.Н.Лачинов, Р.Б. Салихов. Исследование вольт-амперных характеристик тонких пленок полидифениленфталита. – ЖТФ. – Т. 73. – вып.5. 2003. – стр.104-108.

[4] А.Н. Лачинов, Н.В. Воробьева, А.А. Лачинов. Особенности гигантского магнитосопротивления в системе ферромагнетик-полимер. – Письма в ЖЭТФ. – Т. 84. – №. 11. - 2006. - стр.720-722.

ОЦЕНКА УЧЕБНИКОВ ФИЗИКИ МЕТОДОМ ДОПОЛНЕНИЯ

Борисова А.В., Изергин Э.Т.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа

В настоящее время Министерство образования и науки рекомендует к практическому использованию около 10 учебников различных авторов. В связи с этим актуальной становится методика сравнения альтернативных учебников по различным параметрам. Интенсивно разрабатывается методика оценки и сравнения различных учебников.

Методика дополнения состоит в следующем. В текстах пропускается каждое седьмое слово. Этот неполный текст предлагается испытуемым, которые заполняют пропуски. По проценту правильно заполненных пропусков исследователь судит о трудности текстов. Методика дополнения – сравнительно новый метод исследования, но она зарекомендовала себя с хорошей стороны, так как позволяет просто и быстро определять трудность текста.

Остановимся подробнее на методике. В ответах испытуемых правильными считались не только те случаи заполнения, которые точно совпадали с пропущенным словом, но и все другие слова, введение которых соответствовало контексту. Например, в предложении «Мужчина и женщина собирали грибы» было пропущено слово «женщина», но и слова «девушка», «мальчик» и т. п. По результатам применения методики дополнения вычисляется процент правильно заполненных пропусков для каждого отрывка текста. Этот процент вычитается из ста. Получаем процент незаполненных или неправильно заполненных пропусков, показывающий трудность текста. Чем больше процент незаполненных и неправильно заполненных пропусков, тем труднее текст. Это объективный показатель трудности текста.

Нами было проведено исследование в 7 классе. С помощью методики дополнения пропусков на трудность проверялись параграфы на тему «Закон Паскаля» из учебников Перышкина А.В. и Изергина Э.Т.

Текст с пропусками по учебнику А. В. Перышкина.

В отличие от твердых тел отдельные _____ и мелкие частицы жидкости и газа _____ свободно перемещаться относительно друг друга по _____ направлениям. Достаточно, например, слегка подуть на _____ воды в стакане, чтобы вызвать движение _____. На реке или озере при малейшем _____ появляется рябь.

Подвижностью частиц газа и _____ объясняется, что давление, производимое на них, _____ не только в направлении действия силы, а в _____ точку жидкости и газа.

На рисунке _____ сосуд, в котором содержится газ (или _____). Частицы газа равномерно распределены по всему _____. Сосуд закрыт поршнем, который может перемещаться и вниз.

Прилагая некоторую силу, заставим _____ немного войти в сосуд и сжать _____, находившийся непосредственно под ним. Тогда частицы _____ в этом месте более плотно, чем _____. Благодаря подвижности частицы газа будут перемещаться по всем _____. Вследствие этого их расположение опять станет _____, но более плотным, чем раньше. Поэтому _____ газа всюду возрастет. Значит, добавочное давление _____

_____ всем частицам газа или жидкости. Так, если _____ на газ около самого поршня на 1 Па, то во всех точках _____ газа давление станет больше прежнего на _____ же. На 1 Па увеличится давление на стенки _____, и на дно, и на поршень.

Трудность данного текста составляет 30,8 %.

Наибольшее ошибок сделали в предложении: «В отличие от твердых тел отдельные слои и мелкие частицы жидкости и газа могут свободно перемещаться относительно друг друга по всем направлениям». Вместо слова «слои» вставляли слово «молекулы». Также трудность составило предложение: «Достаточно, например, слегка подуть на поверхность воды в стакане, чтобы вызвать движение воды». Слово «воды» заменяли словом «молекулы».

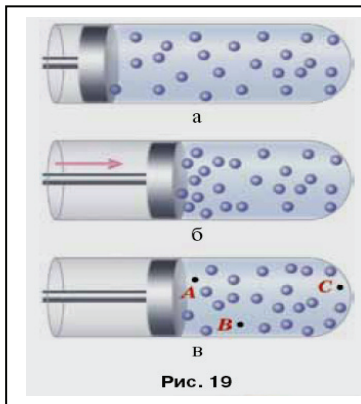


Рис. 19

Текст с пропусками по учебнику Э.Т. Изергина.

Молекулы в газах движутся беспорядочно. На _____ 19, а условно точками изображены молекулы _____ в трубке с поршнем. Изначально среднее _____ между молекулами по всей длине трубки _____ одинаково. Если же поршень резко продвинуть _____, то в первый момент времени

непосредственно _____ поршнем молекулы окажутся сближенными (рис. 19, б). Но _____ беспорядочному движению, очень скоро они опять _____ под поршнем равномерно по всему объёму трубки. _____ этом давление газа увеличится на _____ и ту же величину как в _____ А, так и в точках В или _____ (рис. 19, в). В этом заключается закон физики, _____ французским учёным Блезом Паскалем и носящий _____ имя.

Давление, производимое на жидкость или газ, _____ без изменения в каждую точку жидкости _____ газа.

Закон Паскаля объясняется свободной подвижностью _____ жидкостей и газов. Продемонстрировать этот закон _____ с помощью прибора, который называется шаром _____.



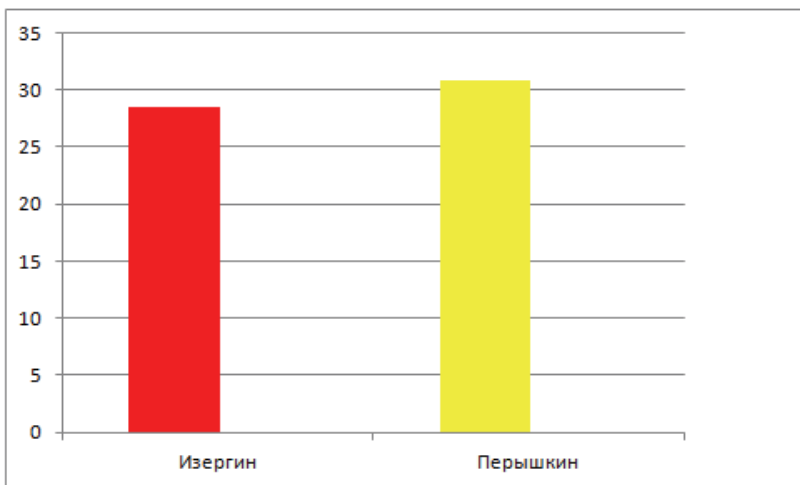
Цилиндр с поршнем снабжён шаром, у _____ по всей поверхности имеются отверстия. Если _____ и шар наполнить водой, а затем _____ надавить на поршень, то вода будет _____ одинаковыми струйками через все отверстия во _____ направлениях. Подобный результат получается и в _____ случае, когда прибор наполнен не _____, а дымом. Гидростатическое давление рассчитывается по _____ $p = \rho gh$.

Трудность данного текста составляет 28,5%.

Самым трудным оказалось предложение: «Изначально среднее расстояние между молекулами по всей длине трубки приблизительно одинаково».

Вместо слова «приблизительно» вписывали слова «расположено», «является», «действует» и т. д.

	Число пропусков	Среднее число ошибок	Трудность
Изергин	27	7,7	28,5
Перышкин	24	7,4	30,8



По итогам исследование параграф из учебника Изергина Э.Т. не на много легче Перышкина А.В. Разница составила 2,3 %.

**ПРОЦЕСС НАМАГНИЧИВАНИЯ И СПИНОВАЯ ЩЕЛЬ В
ДВУМЕРНОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ФЕРРИМАГНЕТИКЕ
VIPNNBNO**

**Бострем И.Г., Овчинников А.С., Сеницын В.Е.
ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина»**

Низкоразмерные гейзенберговские квантовые спиновые системы с фрустрацией являются объектом интенсивных исследований современной физике. В органических радикалах, состоящих только из легких элементов, плотность электронов изотропна и они могут считаться идеальными гейзенберговскими спинами.

Органическое соединение VIPNNBNO было синтезировано в 2003 году [1]. Его магнитная структура представляет собой двумерную решетку, а взаимодействие может быть описано в рамках изотропной модели Гейзенберга. Отличительной чертой соединения VIPNNBNO является наличие т.н. «фрустрирующего» взаимодействия, в данном случае — взаимодействия с соседями, следующими за ближайшими (nnn). Молекула VIPNNBNO (см. Fig. 2 в [1]) содержит три спина $S=1/2$, два из которых связаны сильным (согласно [1], около 860 К) ферромагнитным взаимодействием и, таким образом, формируют один спин $S=1$. Взаимодействие между ним и оставшимся спином $S=1/2$ — антиферромагнитное, по величине — порядка 26 К.

Кривая намагничивания для соединения VIPNNBNO (см. Fig. 2 в [1]) демонстрирует ряд особенностей. Во-первых, это плато основного состояния («спиновая щель»), наблюдаемое по характерному пику на экспериментально измеренной кривой магнитной восприимчивости. Во-вторых, два «дробных плато» намагниченности — горизонтальных участка, наблюдаемых на уровне $1/3$ и $2/3$ намагниченности насыщения (для полей 7-22 Т и 25 Т). Причины наличия спиновой щели в квантовой магнитной системе с полуцелым спином остаются невыясненными, равно как и причины появления второго плато на уровне $2/3$ намагниченности насыщения. В работе [1] высказано предположение, что его существование обусловлено фрустрирующим взаимодействием в соединении VIPNNBNO.

Изолированная цепочка

Рассмотрим вначале, как ведет себя изолированная одномерная цепочка спина $(1,1/2)$ во внешнем магнитном поле. Как будет показано ниже, плато- $1/3$ и плато- $2/3$, наблюдаемые на эксперименте, воспроизводятся даже в этом относительно простом случае. Изучение поведения изолированной ферромагнитной цепочки во внешнем

магнитном поле также позволяет получить оценки для антиферромгантиного обмена J_{af} и втурицепочечного J_I .

Пусть энергетический спектр изолированной цепочки как функция спина $E(S)$ известен. Он может быть, к примеру, найден с использованием метода точной диагонализации. Тогда критические поля, вычисляемые как односторонние производные энергии связи по намагниченности [4], могут быть приближенно вычислены как разницы энергий, соответствующих определенным значениям намагниченности. К примеру, для границ плато-1/3 получим (под E_{min} понимается минимальная энергия для заданного спина S): $B_1 = E_{min}(N/2+1) - E_{min}(N/2)$ (левая граница $B_0=0$), для плато-2/3: $B_2 = E_{min}(N-1) - E_{min}(N)$, $B_3 = E_{min}(N) - E_{min}(N+1)$, для поля насыщения $B_{sat} = E_{min}(3N/2) - E_{min}(3N/2-1)$ (значение магнетона Бора принимается равным 1).

Идея заключается в том, чтобы сопоставить каждому из критических полей переход между двумя конкретными упорядочениями спинов в цепочке. Например, для поля насыщения таковым является переход между конфигурацией, где все спины, кроме одного $S=1/2$, ориентированы по полю, и полностью поляризованной цепочкой. Тогда разницу энергий в формулах выше можно связать с разностью энергий взаимодействия одного конкретного спина в состояниях $S_z=+1/2$ и $S_z=-1/2$ с его ближайшими соседями. Эта разность, разумеется, оказывается функцией J_{af} и J_I . Используя экспериментальные значения критических полей и приведенные выше формулы, можно получить систему уравнений для нахождения J_{af} и J_I . Решив ее, найдем: $J_{af}=21 K$, $J_I=3.5 K$.

Разумеется, поскольку исходное соединение $BIPNNBNO$ демонстрирует двумерное упорядочение, вопрос о справедливости применения экспериментальных значений критических полей для вычисления J_{af} и J_I остается открытым. Оправданием здесь является самосогласованность полученных результатов: подстановка вычисленных значений J_{af} и J_I в двумерную модель (см. следующий раздел) дает корректные результаты для критических полей, что подтверждает корректность выдвинутой гипотезы. Кроме того, для J_{af} существует независимая оценка [1], которая также хорошо согласуется с результатом вычислений.

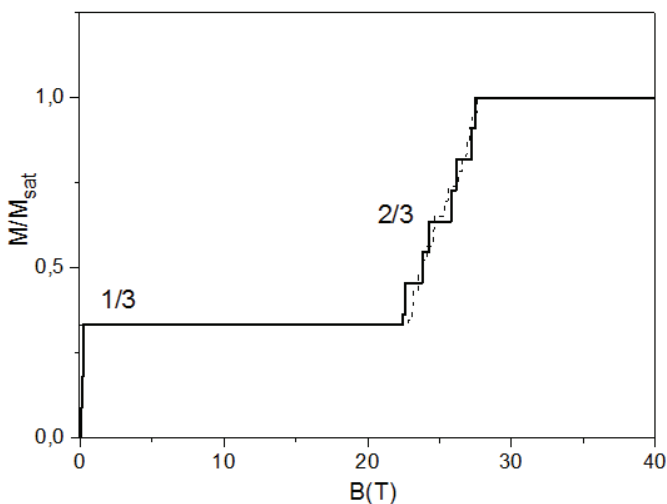
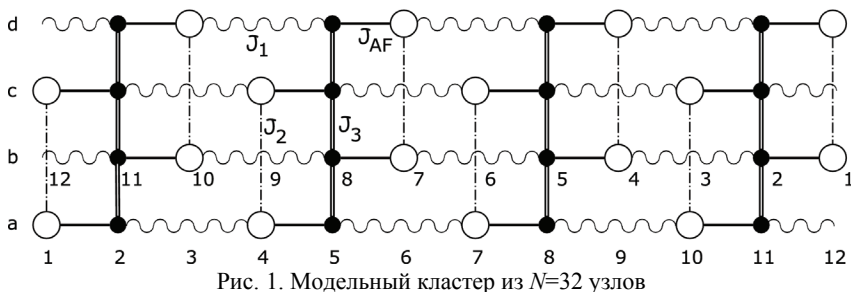


Рис. 2. Кривая намагничивания для конечного кластера из $N=32$ узлов.
 $J_{af}=-21$ К, $J_1=3.5$ К, $J_3=0.5$ J1, $J_2=0.0$ (фрустрация отсутствует).
 Пунктиром отмечен ход кривой намагничивания одномерной цепочки.

Двумерный случай

Плато-2/3 проявляется на кривой намагниченности невзаимодействующих цепочек и, таким образом, не может быть обусловлено фрустрацией. С целью выяснения роли межцепочечного взаимодействия в формировании плато-1/3 и спиновой щели, построим двумерную модель системы VIPNNBNO. Выберем уединенный кластер

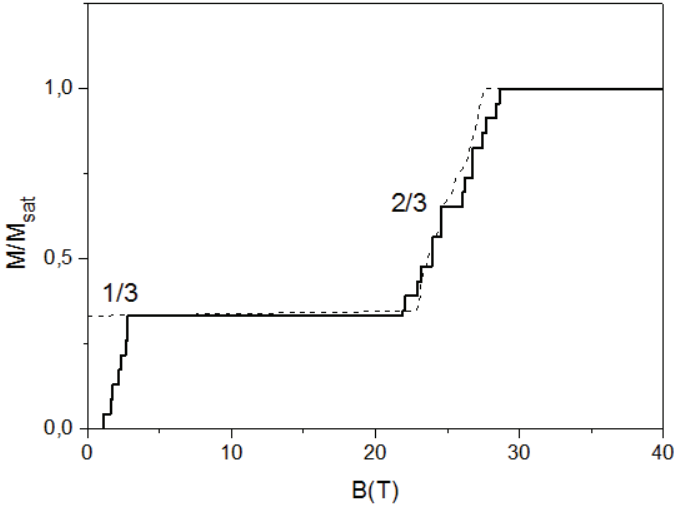


Рис. 3. Кривая намагничивания для конечного кластера из $N=32$ узлов.
 $J_{af}=-21$ К, $J_1=3.5$ К, $J_3=0.5 J_1$, $J_2=0.075 J_1$ (сильная фрустрация).
 Пунктиром отмечен ход кривой намагничивания одномерной цепочки

из 16 молекул, содержащий $N=32$ спина, представленный на рис. 1. Параметры J_{af} и J_1 положим равными найденным выше для одномерной цепочки, J_3 выберем равным $0.5 J_1$, а J_2 будем варьировать в пределах $0 \dots J_3$.

Для решения поставленной задачи используем разработанный нами метод точной диагонализации с учетом спиновой $SU(2)$ -симметрии для двумерной изотропной модели Гейзенберга, подробно изложенный в [2,3]. Его идея состоит в постепенном укрупнении исследуемого кластера до необходимых размеров, при этом матрица гамильтониана на каждом этапе строится на базе функций полного спина S . Такой подход позволяет не только классифицировать по S состояния квантовой системы, но и сформулировать эффективный алгоритм отбора на каждом этапе тех промежуточных состояний, которые дадут максимальный вклад в целевое состояние системы. Таким образом, проблема экспоненциального роста размерности гильбертова пространства по мере увеличения размеров системы смягчается, и предлагаемый метод точной диагонализации приобретает черты ренорм-группового.

Роль межцепочечного J_3 и фрустрирующего J_2 взаимодействий хорошо видна на рис. 2 и рис. 3, отвечающих нефрустрированной системе и случаю сильной фрустрации, соответственно. Поведение двумерной системы в сильных магнитных полях практически не

отличается от поведения изолированной цепочки, однако, плато над синглетным основным состоянием появляется только в случае ненулевой фрустрации. Оказывается, что ширина спиновой щели зависит от J_3 практически линейным образом. Некоторые соображения насчет того, как формируется синглетное основное состояние, приведены в следующем разделе.

Спиновая трубка

Метод бозонизации очень эффективен для квазиодномерных соединений, например, цепочек, лестниц и трубок. Чтобы применить его к интересующей нас системе, моменты, находящиеся в узлах двумерной решетки BiPnNbNO , необходимо заменить спинами $S=1/2$, а саму решетку — «свернуть» в трубку с четырьмя ферромагнитными «перекладинами» (см. рис. 4). Такая система оказывается бесконечной и неперодической в направлении оси b и периодической (с периодом в 4 узла) вдоль оси a . Отметим, что спиновые лестницы с ферро- и ферримагнитными перекладинами изучены гораздо слабее, чем таковые с антиферромагнитными, так что данная задача представляет интерес не только с прикладной, но и с фундаментальной точки зрения. Отметим, что для описания ферромагнитных цепочек методом бозонизации приходится вводить внутрицепочечную малую обменную анизотропию Δ .

Аппарат метода бозонизации довольно громоздок, поэтому мы ограничимся общим описанием и основными результатами. Детали производимых вычислений можно найти в [6].

Для отображения исходной системы на решетку спина $S=1/2$ можно применить метод квантовой ренорм-группы (QRG) в реальном пространстве. При этом решетка разбивается на димеры $(1,1/2)$ и находятся состояния, отвечающие минимальной энергии для каждого изолированного блока (димера). С целью учета межблочного взаимодействия строится эффективный гамильтониан H_{eff} , рассматривающий каждый из блоков как спин. Для вычисления H_{eff} применяется метод проекционного оператора. Поскольку низкоэнергетические состояния димера соответствуют спину $1/2$, в результате выполнения исходная система отображается на решетку $S=1/2$. Модельные параметры при этом ренормализуются обычным образом.

Суть метода бозонизации состоит в сопоставлении указанным эффективным спином-1/2 некоторым непрерывным бозонным полям. Используя преобразование Йордана-Вигнера, спиновый гамильтониан трубки с антиферромагнитными перекладинами можно привести к гамильтониану бесспиновых фермионов, который затем можно

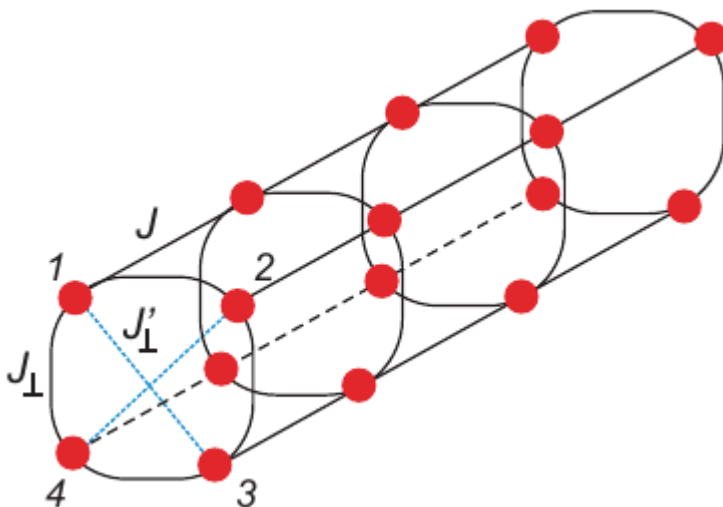


Рис. 4. Спиновая трубка с четырьмя «перекладинами»

отобразить на модифицированную модель Латтинжера. Применив к этой модели ренорм-групповые преобразования, можно восстановить поведение спиновой щели и фазовую диаграмму для поперечного (перпендикулярно плоскости перекладин) и продольного (параллельно ей) взаимодействия перекладин.

Фазовая диаграмма для поперечной компоненты взаимодействия приведена на рис. 5. Как можно видеть, возможны два типа поведения: щелевой и бесщелевой. На границе между этими двумя режимами возможно упорядочение по типу спиновой жидкости и синглетная фаза. В последнем случае спины образуют динамические пары по малым диагоналям решетки. В случае продольной компоненты взаимодействия неупорядоченная синглетная фаза соседствует с ферромагнитным с преимущественным ферромагнитным упорядочением в плоскости перекладин. Таким образом, можно утверждать, что и в случае спиновой трубки наблюдается появление халдановской щели над основным

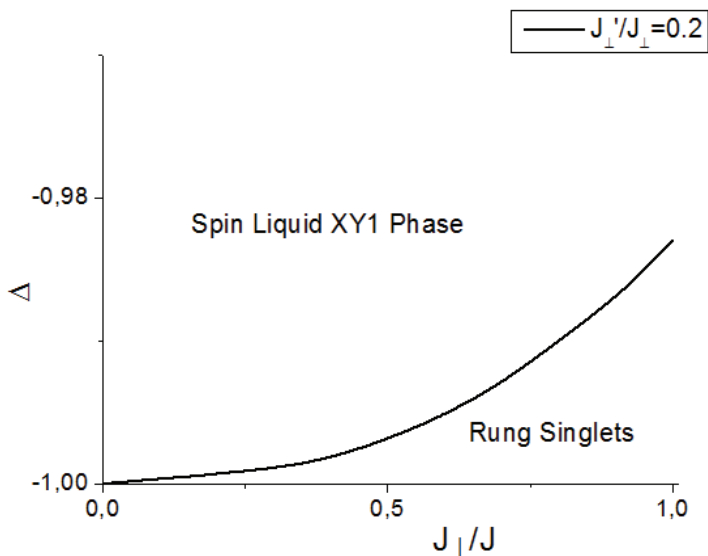


Рис. 5. Фазовая диаграмма основного состояния для трубки с четырьмя перекладинами и поперечным спариванием. Δ - параметр обменной анизотропии, $\Delta = -1$ соответствует полностью изотропному случаю

состоянием. Хотя данная модель не вполне соответствует исходной системе VIPNNBNO, мы полагаем, что сделанные на ее основе выводы в какой-то мере отражают реальную ситуацию, а именно, соперничество между щелевой и бесщелевой фазами, определяемое соотношением между параметрами задачи.

Выводы

Расчет спектра и кривой намагничивания системы VIPNNBNO позволяет дать ответы на некоторые вопросы об особенностях поведения указанного соединения. Так, узкое плато на уровне $2/3$ намагниченности

насыщения не связано с фрустрирующим взаимодействием в системе, поскольку оно наблюдается уже на кривой намагничивания пары цепочек. Появление щели в спектре ферримагнитного кластера с полувещными спинами узлов, вероятнее всего, свидетельствует о существенной перестройке основного состояния спиновой системы при включении фрустрирующего взаимодействия. Щелевой спектр, в частности, характерен для системы с основным состоянием типа «спиновая жидкость» [5], возможность существования которого подтверждается прямым расчетом для спиновой трубки.

Литература

1. Goto T., Mushnikov N. V., Hosokoshi Y., Katoh K., Inoue K. // *Physica B*. 2003. 329-333. P. 1160-1161
2. Sinitsyn V. E., Bostrem I. G., Ovchinnikov A. S. // *J. Phys. A: Math. Theor.* 2007. Vol. 40. P. 645-668.
3. Бострем И. Г., Овчинников А. С., Синицын В. Е. // *ТМФ*. 2006. Т. 49, № 2. Стр. 262-280.
4. Sakai T., Takahashi M. // *Phys. Rev. B*. 1991. Vol. 43. P. 13383-13393.
5. Anderson P. // *Mat. Res. Bull.* 1973. Vol. 8. P. 153-160.
6. A. S. Ovchinnikov, V. E. Sinitsyn, I. G. Bostrem, Y. Hosokoshi and K. Inoue *J Phys Condens Matter* 24(30):306003 (2012)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВЛЕНИЯ ПАРАФИНА В СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Валиев Р.И., Фатыхов Л.М., Фатыхов М.А.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Введение

При воздействии электромагнитного излучения на конденсированные среды осуществляется необратимое преобразование энергии электромагнитных волн в тепло. При этом происходит нагрев и изменяется агрегатное состояние среды или отдельных ее компонент, например, плавление парафина и разрушение газогидратов [1, 2].

Переход вещества из твердого состояния в жидкое при плавлении и обратный переход при кристаллизации относятся к фазовым переходам первого рода. При таких переходах скачкообразно изменяются плотность, внутренняя энергия и энтропия тела. В процессе фазового перехода из твердого состояния в жидкое (плавление) поглощается некоторая энергия, называемая теплотой плавления. При кристаллизации точно такое же количество энергии выделяется в виде тепла, которое вещество отдает окружающей среде при постоянной температуре кристаллизации $T_с$. Это количество теплоты равно:

$$Q = \lambda m, \quad (1)$$

m – масса вещества, кг; λ – удельная теплота плавления, Дж/кг.

Таким образом, фазовый переход типа плавление (кристаллизация) характеризуется двумя параметрами: температурой и удельной теплотой плавления (кристаллизации). Целью настоящей работы является установление физических предпосылок и исследование влияния сверхвысокочастотного электромагнитного поля на данные параметры.

Теоретические основы метода

Известно, что фазовый переход жидкость – кристалл связан со значительным упорядочением расположения атомов, которые в кристалле образуют регулярную решетку. Степень беспорядка системы может быть описана величиной энтропии S . Согласно формуле Больцмана:

$$S = k \ln \Omega, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, Дж/К; Ω – термодинамическая вероятность;

Беспорядок в системе связан с тепловым хаотическим движением молекул, поэтому сообщение системе некоторого количества тепла $d'Q$

должно сопровождаться увеличением энтропии dS . Здесь для определения количества тепла использован знак d' для того, чтобы подчеркнуть, что $d'Q$ не является приращением какой-либо функции. Увеличение беспорядка в системе, обусловленное сообщением тепла $d'Q$, будет тем меньше, чем больше был начальный беспорядок в системе, характеризующейся температурой T .

Итак, изменение энтропии системы, которой сообщено бесконечно малое количество тепла $d'Q$, будет определяться соотношением:

$$dS = \frac{d'Q}{T}. \quad (3)$$

Если процесс перехода системы из одного состояния в другое является обратимым, то изменение энтропии определяется выражением:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{d'Q}{T}. \quad (4)$$

Для вычисления интеграла в (4) воспользуемся тем, что при кристаллизации температура T не меняется, $T = T_c = const$. Это позволит вынести ее за знак интеграла, тогда получаем:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{d'Q}{T} = \frac{1}{T_c} \int_1^2 d'Q = \frac{Q}{T_c}, \quad (5)$$

где $Q = \lambda m$ – количество тепла, отданное окружающей среде в процессе кристаллизации. Таким образом,

$$\Delta S = \frac{\lambda m}{T_c}. \quad (6)$$

Отсюда следует, что

$$\lambda = \frac{T_c}{m} \Delta S \quad (7)$$

Из данной формулы видно, что удельная теплота плавления данной массы вещества зависит от изменения энтропии при переходе из одного состояния в другое и температуры плавления.

Термодинамическими исследованиями [3] установлено, что в сверхвысокочастотном электромагнитном поле вида

$$\dot{\vec{E}} = \dot{\vec{E}}_0 \exp(i\omega t)$$

энтальпия изменяется в соответствии с выражением

$$S = S_m + \frac{1}{4\rho} \frac{\partial}{\partial T} \left[\varepsilon_0 \left(\varepsilon - \omega \frac{\partial \varepsilon}{\partial \omega} \right) \left(\dot{\vec{E}} \cdot \dot{\vec{E}}^* \right) \right]. \quad (8)$$

В этих формулах ω - циклическая частота, рад/с; \vec{E} - комплексная напряженность электрического поля, В/м; \vec{E}_0 - амплитуда напряженности электрического поля, В/м; i - мнимая единица; t - время, ρ - плотность вещества, кг/м³с; знак * означает комплексно-сопряженность параметра.

В силу формулы (8) следует ожидать, что изменение удельной теплоты плавления должно зависеть от плотности, частотно-температурной зависимостей диэлектрических проницаемостей жидкости и кристалла, амплитуды напряженности электрического поля и температуры плавления (кристаллизации).

Методика экспериментальных исследований

Для экспериментального определения температуры и теплоты плавления парафина использовался известный метод, заключающийся в получении диаграмм отвердевания, то есть кривой зависимости температуры отвердевающего вещества от времени при неизменных внешних условиях. На таких кривых имеется горизонтальный участок, отражающий приостановку охлаждения. Температура, соответствующая этому участку, и есть температура отвердевания $T_{\text{с}}$. Для чистых веществ она является и температурой плавления.

Во время кристаллизации (горизонтальный участок графика) температура кристалла (парафина) и температура окружающей среды не меняются, следовательно, тепловая мощность (поток тепла), отводимая от образца, также остается постоянной. Таким образом, на горизонтальном участке количество тепла, отведенное от образца, есть:

$$Q = \lambda m = N \Delta \tau, \quad (9)$$

$\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1$ - время фазового перехода, с; τ_1 и τ_2 - время начала и конца фазового перехода, с;

С другой стороны, на спадающем участке кривой тепловая мощность равна скорости изменения внутренней энергии системы (пренебрегая теплоемкостью сосуда, в котором охлаждается образец),

$$N = mc \frac{dT}{d\tau}, \quad (10)$$

c - удельная теплоемкость парафина, Дж/(кг·К).

Исключив тепловой поток из формул (9) и (10), найдем удельную теплоту плавления:

$$\lambda = \Delta \tau \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_{T \leq T_{\text{с}}}. \quad ($$

Формула (11) и является расчетной в настоящем исследовании. Для определения λ необходимо измерить температуру плавления (кристаллизации) вещества T_{ξ} , время кристаллизации $\Delta\tau$, а также определить по графику производную $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_{T \leq T_{\xi}}$.

Результаты экспериментальных исследований

Проводились исследования двух образцов парафина одного того же сорта и одинаковой массы. Один из образцов был нагрет посредством теплопроводности, а другой – в СВЧ печи (мощность 800 Вт), приблизительно до 70-75 °С. Затем расплавленный парафин был вылит в тонкостенный алюминиевый стаканчик, в который был опущен термометр, закреплённый в лапке штатива. Измерялась начальная температура парафина. Исследовалась зависимость температуры парафина от времени охлаждения. Показания температуры снимались с интервалом 1 мин.

По результатам опыта были построены графики зависимости температуры парафина от времени охлаждения (рис.1). Из этих графиков была определена температура плавления (кристаллизации) парафина.

Как видно из данного рисунка, электромагнитное поле не влияет на температуру кристаллизации парафина. Для исследованного парафина она составляет 55 °С. Согласно формуле (11), удельная теплота плавления парафина, нагретого посредством теплопроводности, составляет 3450 Дж/кг, а для второго образца – 2460 Дж/кг. Следовательно, в СВЧ поле удельная теплота плавления уменьшается (в настоящем эксперименте на 29%).

Заключение

Полученный результат свидетельствует о том, что на плавление парафина методом СВЧ воздействия требуется значительно меньшее количество энергии, чем при других методах воздействия.

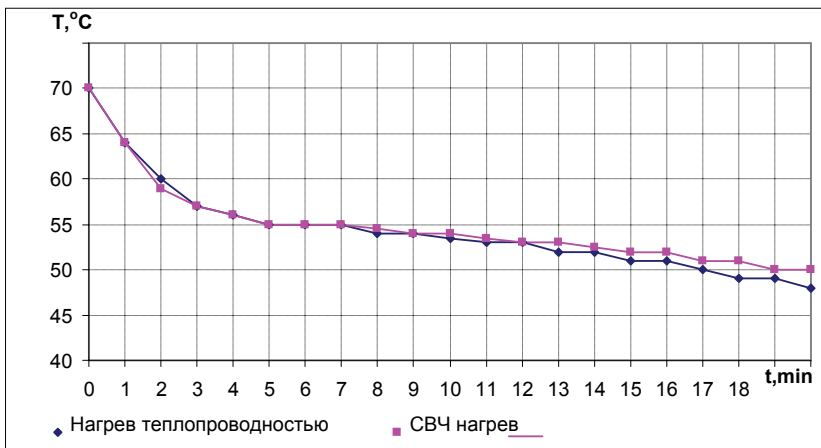


Рис. 1. Зависимости температуры парафина от времени охлаждения

Литература

1. Фатыхов М.А. Особенности нагрева и плавления парафина в коаксиальной трубе высокочастотным электромагнитным излучением // Теплофизика высоких температур. 2002. Т. 40. № 5. С. 802 – 809.
2. Фатыхов М.А, Багаутдинов Н.Я. Экспериментальные исследования разложения гидрата неполярного газа в трубе при сверхвысокочастотном электромагнитном воздействии //Инженерно-физический журнал. 2005. Т. 78. № 3. С. 108 – 114.
3. Саяхов Ф.Л., Галимбеков А.Д. Основные термодинамические соотношения для поляризующихся и намагничивающихся жидких сред в высокочастотном электромагнитном поле //Физико-химическая гидродинамика: Межвуз. Науч. – Уфа: Башк. гос. ун-т, 1994. С.86 – 92.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ФИЗИЧЕСКОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ
УСТАНОВЛЕНИЮ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ**

Валитова А.Ф. Изергин Э.Т.

**Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа**

Овладение учащимися логическим и диалектическим мышлением включает в себя умение обобщать, классифицировать, систематизировать учебный материал. Непосредственная зависимость развития мышления учащихся от обучения позволяет управлять этим развитием, строить обучение таким образом, чтобы оно способствовало формированию определенного типа мыслительных действий. Кроме того, большое значение для понимания физики имеет умение определять причинно-следственные связи между физическими явлениями. Эффективным средством развития таких умений является рассмотрение с учащимися парадоксов. Анализ парадоксов возбуждает у школьников интерес к предмету, придает остроту обсуждению рассматриваемых вопросов и содействует лучшему пониманию физической сущности явлений.

Большие возможности для обучения школьников установлению причинно-следственных связей между физическими явлениями предоставляет физический эксперимент. Физический эксперимент, как метод обучения, обладает большими учебными возможностями в развитии познавательной деятельности школьников.

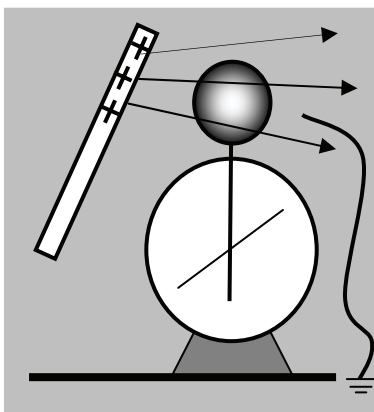
Будучи средством познавательной информации, физический эксперимент одновременно является и главным средством наглядности при изучении физики, он позволяет наиболее успешно и эффективно формировать у школьников конкретные образы, адекватно отражающие в их сознании реально существующие физические явления, процессы и законы, их объединяющие. Демонстрационный эксперимент является одной из составляющих учебного физического эксперимента и представляет собой воспроизведение физических явлений на демонстрационном столе с помощью специальных приборов. Он относится к иллюстративным эмпирическим методам обучения. Демонстрационный эксперимент играет в физике роль источника знаний и критерия их истинности, и дает возможности для организации учебно-познавательной деятельности учащихся. Он, являясь средством наглядности, способствует организации восприятия учащимися учебного материала, его пониманию и запоминанию; позволяет осуществить политехническое обучение учащихся; способствует повышению интереса к изучению физике и созданию мотивации учения. Но при проведении учителем демонстрационного эксперимента учащиеся только

пассивно наблюдают за опытом, проводимым учителем, сами при этом ничего не делают собственными руками, поэтому необходим ещё и лабораторный эксперимент.

Значение лабораторных занятий по физике заключается в том, что у учащихся формируются представления о роли и месте эксперимента в познании. При выполнении опытов у учащихся формируются экспериментальные умения, которые включают в себя как интеллектуальные умения, так и практические. К первой группе относятся умения: определять цель эксперимента, выдвигать гипотезы, подбирать приборы, планировать эксперимент, вычислять погрешности, анализировать результаты, оформлять отчет о проделанной работе. Ко второй группе относятся умения: собирать экспериментальную установку, наблюдать, измерять, экспериментировать.

В качестве примера рассмотрим демонстрационный опыт “электризация через влияние”. Для этого нам понадобится : стеклянная палочка , лист бумаги и электромметр, на котором установлен металлический шар.

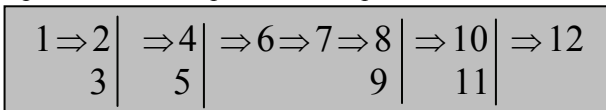
Берем стеклянную палочку и электризуем её трением о бумагу. Вокруг стеклянной палочки возникает электрическое поле. Подносим палочку к установленному на электромметре металлическому шару, не касаясь шара палочкой. Шар оказывается в электрическом поле. Мы знаем, что в электрическом поле на любую заряженную частицу действует сила. Значит, на каждый свободный электрон в шаре действует сила. Часть свободных электронов перемещается в сторону палочки, а диаметрально противоположной стороне оказывается недостаток электронов. Прикасаемся пальцем к этой стороне шара. Часть электронов с нашего тела переходит на шар. Убираем палец, убираем палочку. Шар оказывается заряженным отрицательно.



Проведём содержательно-логический анализ продемонстрированного опыта. Для этого пронумеруем действия экспериментатора и протекающие физические явления:

1. Электризуем стеклянную палочку трением о бумагу.
2. Вокруг палочки возникает электрическое поле.
3. Подносим палочку к шару, установленному на электромметре.
4. Шар оказывается в электрическом поле.
5. В электрическом поле на любую заряженную частицу действует сила.

6. На каждый свободный электрон в шаре действует сила.
7. Часть свободных электронов перемещается в сторону палочки.
8. В точке А оказывается недостаток электронов.
9. Прикасаемся пальцем к шару в точке А.
10. Часть электронов с нашего тела переходит на шар.
11. Убираем палец, затем палочку.
12. Шар оказывается заряженным отрицательно.



Запись $1 \Rightarrow 2$ означает, что под цифрой 1 обозначена причина, а под цифрой 2 – следствие. Запись $2 \Rightarrow 4$ означает, что к следствию 4

приводят одновременно две причины: 2 и 3 и т.д..

Для данного опыта составим таблицу, в которой в результате беседы с учащимися будут указаны причины явлений и их следствия:

Причина	Следствие
Электризуем палочку трением о бумагу	На палочке возник положительный заряд
На палочке возник электрический заряд	Вокруг палочки появилось электрическое поле
Поднесли палочку к шару не касаясь	Шар оказался в электрическом поле
В электрическом поле на заряженную частицу действует сила	Часть свободных электронов переходят на правую сторону шара
Свободные электроны перешли на правую часть	На левой стороне шара оказался недостаток электронов

Заземлили левую сторону шара	Часть электронов перешла с земли на шар
Убрали заземление, затем палочку	Шар оказался заряженным отрицательно

Подобный содержательно-логический анализ и модель беседы с учащимися с целью выявления причинно-следственных связей между действиями экспериментатора и протекающими физическими явлениями мы разработали для всей темы 7 класса «Давление жидкостей и газов. В дальнейшем планируем произвести анализ всех рекомендуемых программой демонстрационных опытов для средней школы и проверить действенность разрабатываемой нами методики во время педагогической практики.

**ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ ВОЛНОВОЙ ОПТИКИ ЧЕРЕЗ
КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ****Валитова М.Ю., Даутова К.В.****БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия**

Учение о свете является одним из важных в современной физике. Оно основывается на волновых и квантовых представлениях. В настоящее время оптические методы широко внедрились в научные исследования, медицину, технику.

Несмотря на огромное значение оптики в современном мире, содержание этого раздела физики в средней школе не отражает в должной мере ее успехи. Сказанное особо касается волновой оптики. Программа по физике для профильных классов (с профилем физика) содержит достаточный объем знаний по оптике, но даже в них в значительном совершенствовании нуждается методика ее изложения, в том числе и взаимосвязь учебного материала с задачами.

Одна из важнейших задач, которая решается в школе, обеспечение усвоения школьниками системы знаний, знаний основ наук.

На основе логико-генетического анализа структуры научных знаний А.В.Усова [1] выделяет следующие основные элементы систем знаний: а) научные факты; б) понятия (о явлениях, о свойствах тел и величинах, их характеризующих, о методах научного познания); в) законы; г) теории; д) практические приложения теоретических знаний (технологические процессы, приборы и установки, основанные на изучаемых явлениях и законах). Выделенные элементы знаний находятся в тесной взаимосвязи между ними трудно установить резко очерченные границы.

Все науки имеют дело с научными фактами, системой научных понятий, законов и теорий.

В системе знаний понятия играют важнейшую роль. Образуются они в результате анализа вновь открытых научных фактов. Через систему научных понятий формулируются законы. Любой закон выражает связь между понятиями. Нельзя сформулировать ни один закон, не оперируя понятиями. Научные теории - это развитые системы научных понятий. По С.Л. Рубинштейну наглядный образ, представление, обобщаясь превращается в понятие, при этом на первый план выступают самые характерные и существенные признаки: «Понятие является одной из высшей форм мышления, форм отражения материальной действительности» [3]. Но понятие является не просто формой отражения действительности. Оно является такой формой отражения, которая раскрывает сущность вещей, внутренние, коренные, определяющие свойства предметов, их внутреннюю противоречивую природу.

Вот почему очень важно в процессе обучения обеспечить высокое качество усвоения учениками основополагающих понятий. А для того, чтобы ученики хорошо усвоили понятия, необходимо, чтобы учитель правильно организовал процесс формирования этих понятий, умел эффективно управлять процессом их усвоения школьниками. Чтобы сознательно управлять этим процессом, надо знать его основные особенности, закономерности, которым он подчиняется.

В Стандартах второго поколения (ФГОС-2) четко определены результаты освоения курса физики в виде: личностных, метапредметных, предметных на базовом и профильном уровне. В области предметных результатов большое значение придается формированию понятий, теорий, методологических вопросов и применению знаний по физике на практике.

Мы понимаем понятие по Усовой А.В. **«понятие есть знание существенных свойств (сторон) предметов и явлений окружающей действительности, знание существенных связей и отношений между ними»** [2].

Каждое понятие требует определение. В определении различают: 1) *определяемое понятие* и 2) *определяющее понятие*, то есть указание ближайшего родового понятия и видового отличия.

Таким образом, «дать определение понятия» означает указание родового, более общего понятия, в объем которого входит определяемое понятие и видового отличия понятия.

Приведем пример по нашей теме. Так, определение понятия «поляризация» будет сформулировано следующим образом: «поляризация - физическое явление, приобретение объектом полярности». Здесь на первом месте определяемое понятие – «поляризация», а на втором месте - подчиняющее родовое понятие «физическое явление», на третьем месте – видовое отличие (приобретение объектом полярности).

Мы считаем, что основой системы знаний школьных знаний по физике является физическая теория, которая имеет следующий понятийный аппарат: модели (реальные и идеальные), объекты, явления, физические величины и инструментарий физической теории.

К основным характеристикам понятия в методической литературе относят: 1) *содержание понятия*, 2) *объем понятия* и 3) *связи и отношения данного понятия с другими понятиями*.

Под *содержанием* понятия понимают совокупность существенных свойств (сторон) класса предметов или явлений, отражаемых в сознании с помощью данного понятия. Существенные свойства являются общими для всех объектов данного класса, без них объект (предмет) как таковой существовать не может, так как они отражают сущность самого предмета, его внутреннюю природу. Например, к существенным

признакам интерференции относятся перекрытие двух **когерентных** волн, сложение **независимых** друг от друга когерентных волн, перераспределение энергии в пространстве, интерференционная картина.

Объектом нашего исследования является физические оптические явления. Рассмотрим обобщенные правила:

- Определение явления;
- Внешние признаки явления, по которым оно обнаруживается;
- Условия протекания явления;
- Сущность явления, механизм его протекания (с позиций научной теории);
- Связь данного явления с другими (или факторы, от которых зависит протекания явления);
- Примеры учета и использования его на практике.

Волновая оптика — раздел оптики, который описывает излучение, распространение, поглощение и взаимодействие света со средой с учётом его волновой природы.

В средней школе волновые явления изучаются как часть электродинамики: интерференция, дифракция и дисперсия, в профильных классах с профилем «физика» - поляризация.

Каждый из явлений характеризуется понятийным аппаратом: модели (реальные и идеальные), объекты, явления, физические величины и инструментарий физической теории.

В учебниках последовательность и полнота изучения волновой оптики различна. Но инвариантом является следующие основные вопросы: как распространяется свет в однородной среде? Как взаимодействует свет с веществом? В геометрической оптике ответы на них даются описательно, в физической оптике они объясняются с волновой точки зрения.

В методике обучения физике наиболее распространенными являются следующие обобщенные правила изучения физических явлений, к которым относятся: **признак, условие существования, причина, связь с другими явлениями и применения**. Изучение явлений начинается с его определения. В определение любого явления обычно включается его признак или причина, а иногда условия существования. **Признаки** дисперсии, интерференции и дифракции одинаковы для белого света, в котором чаще всего происходит наблюдение явлений – это разложение сложного света на простые составляющие. Поэтому, не зная **причину**, по внешнему признаку невозможно узнать явление, значит, знание признака не достаточно для дальнейшего изучения явления. Существенным этапом обучения волновой оптики в школе является указание на **условия наблюдения** явления.

Поэтому мы включили в обобщенные правила еще условие наблюдения. При изучении оптики они не выделены в школьных

учебниках. Учащиеся вследствие этого путают причинно- следственные связи в каждом явлении, явления друг с другом. Не умеют определять их по признакам и объяснять. Мы их выделили и считаем, что учитель должен акцентировать внимание.

Рассмотрим эти элементы у изучаемых волновых явлений.

Дисперсия света.

Признаком дисперсии света является спектральное разложение белого света. **Условие существования** – падение света на границу раздела двух прозрачных различных сред, **условие наблюдения** – угол падения отличный от нуля, большой относительный показатель преломления, субъективная восприимчивость разности цветов. **Причина** – зависимость диэлектрической проницаемости среды, абсолютного показателя преломления и скорости света в ней от частоты колебания светового вектора \vec{E} в веществе.

Интерференция света.

Признак - интерференционная картина, **условие существования** – перекрытие двух **когерентных** волн, **Условие наблюдения** – получение когерентных волн разделением фронта волны (опыт Юнга, бизеркала, бипризмы и др.) и разделением амплитуды колебаний волны (интерферометры и тонкие пленки); **причина** – сложение независимых друг от друга когерентных волн на основе принципа суперпозиции.

Дифракция света.

Признаки дифракции - огибание волнами резких неоднородностей среды и интерференционная картина, возникшая в результате этого.

Причина и **условие** дифракции света - принцип Гюйгенса-Френеля. Для **наблюдения** дифракции имеет значение не только размеры препятствий d , но и расстояние от неоднородности до экрана L : $d^2 < L\lambda$. При $d^2 > L\lambda$ - дифракции не наблюдается.

Волновая оптика в школе в основном изучается на качественном уровне, то есть без математического аппарата, таким образом, ее закрепление и конкретизации знаний учащихся должно проводиться также качественными задачами. *Качественная задача – это задача, при решении которой не используется или мало используются математические расчеты в виде отношений сравнения: разностного, дробного, равенства [2].*

Им принадлежит ведущая роль также при уточнении содержания и дифференциации явлений. Часто качественные задачи по волновой оптике звучат как вопросы. Качественные задачи направлены для уточнения содержания и дифференциации явлений.

Мы разработаем качественные задачи по волновой оптике, направленная на поэлементное формирование оптических явлений. Приведем некоторые примеры.

Пример 1

При определенном состоянии человека (усталость, бессонница, нервозность) ночью уличные фонари, особенно яркие с рассеянным светом как галогеновые, кажутся окруженными очень яркими радужными ореолами. Почему?

Ответ:

Радужные кольца – это **признак** дифракции, на препятствиях, размеры которых сравнимы с длиной волны света. **Причина и условие существования:** интерференция вторичных волн на препятствиях. Так как картина очень яркая, значит, препятствия расположены **равномерно** и их **структура одинаковая**.

Самым сложным вопросом является поиск **условия наблюдения**. Его надо искать в физиологии. Во-первых, частицы, на которых происходит дифракция, находятся внутри глаза, так как другие люди колец не видят. Значит, происходит «внутренняя» дифракция. Во-вторых, явление связано с болезненным состоянием человека. У человека повышается давление внутри глаза. По-видимому, дифракция света связана с клетками крови. Клетки крови могут попадать в глаз из капилляров, разрушающихся под действием осмотического давления в глазу. При этом они раздуваются в однородные шарики, на которых и происходит дифракция.

Пример 2

Почему в морозные дни вокруг Луны появляются радужные кольца?

Ответ:

Радужные кольца – это **признак** дифракции, на препятствиях, размеры которых сравнимы с длиной волны света. **Условие существования** – прозрачные кристаллы льда, **причина** – зависимость показателя преломления света в кристаллах льда.

Считаем что в процессе разработки задач, с помощью которых конкретизируются признаки, условия существования и наблюдения, причины волновых явлений света. Мы считаем, что система качественных задач поможет углубить знания учащихся по волновой оптике, на которых основано объяснение очень многих природных явлений, и на понимание спектральных методов волновой оптики, приборов как интерферометр, дифракционная решетка и др..

При обучении волновая оптика должна занять приоритетное место в системе физических знаний, в настоящее время она исключена даже из вузовского курса общей физики.

Литература

1. Усова А.В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения. 2-е изд., испр. – М.: Изд-во ун-та РАО, труды д.чл. и чл.-кор. Российской академии образования (РАО), 2007. – 310 с.
2. К.В. Даутова. Избранные лекции по теории и методике обучения физике в средней школе: учебное пособие [*Текст*]. – Изд. 2. исправленное и переработанное – Уфа: Вагант, 2008. -148с.
3. С.Л. Рубинштейн Основы общей психологии [Электронный ресурс] / составители: А.В. Брушлинский, К.А. Абульханова – Славская. - СПб: Издательство "Питер", 2000. – Режим доступа: <http://psylib.org.ua/books/rubin01/index.htm>

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ИТТРИЙ-ЖЕЛЕЗИСТОГО ГРАНАТА

Габбасов Р.Ф.¹, Гареева З.В.², Серегин С.В.², Дорошенко Р.А.²

¹Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акмиллы, г.Уфа, Россия

²ИФМК УНЦ РАН, г. Уфа, Россия

Железосодержащие гранаты наиболее важные члены класса магнитных материалов, называемых ферритами, которые обладают магнитными свойствами и являются электрическими изоляторами. Их широко используют в технике связи и в еще больших масштабах используют в элементах памяти компьютеров, калькуляторов и телефонных систем в виде пленок, содержащих цилиндрические магнитные домены [1].

Существуют несколько методов измерения намагниченности насыщения и констант анизотропии ферритов и других непроводящих материалов. Метод заключается в следующем: малый образец ферромагнитного материала помещается в магнитное поле постоянного тока. Образец окружен небольшой катушкой, включенной в задающий контур генератора колебаний. При изменении частоты магнитного поля частота генератора также изменяется и служит мерой намагниченности образца. Этот метод позволяет построить простой и гибкий прибор, равный по точности существующим или даже превосходящий их. К металлам вследствие их высокой проводимости этот метод неприменим. Этот прибор назвали магнитометр.

Магнитометр, основанный на использовании сдвига частоты, представляет собой прибор для изменения характеристик намагничивания ферритов и других непроводящих магнитных материалов. Этот прибор прост по принципу работы, удобен для использования и может быть сделан очень точным.

В работе проведено исследование магнитных свойств нанокерамик, построены графики зависимостей частоты колебаний, возникающих в катушке индуктивности помещенной в постоянное магнитное поле, от напряженности магнитного поля, зависимости намагниченности образцов от напряженности магнитного поля. Магнитная восприимчивость рассчитана по следующей формуле:

$$\chi = A \cdot \frac{f - f_0}{f_0 \cdot m} \quad (1)$$

где, χ – намагниченность, f – частота, возникающая в катушке при помещении ее в магнитное поле электромагнита, f_0 – частота колебаний,

возникающая в катушке в отсутствии образца, m – масса образца, A – постоянный коэффициент.

График зависимости намагниченности от напряженности магнитного поля приведен на рис. 1. На графике видно, что при увеличении числа зерен (росте деформаций) намагниченность насыщения уменьшается

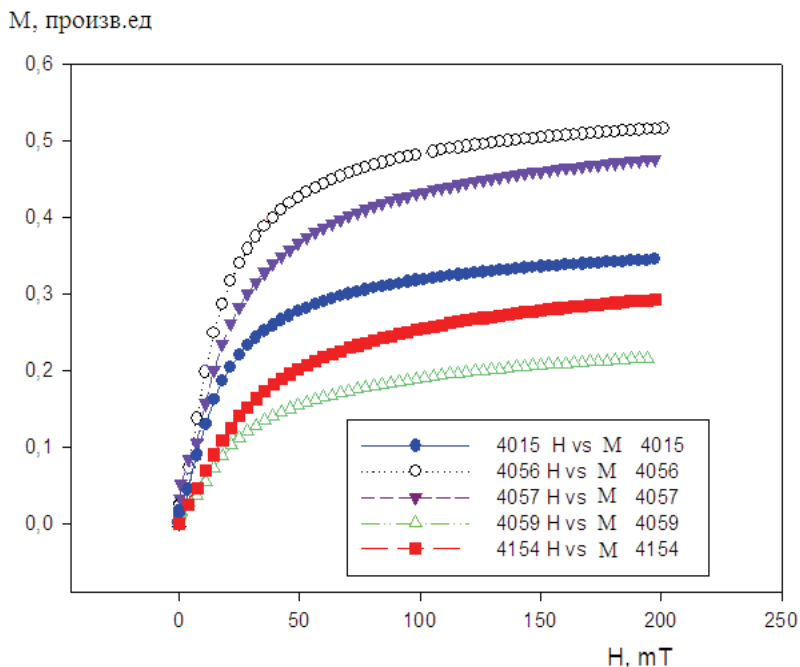


Рис. 1. Кривые намагничивания образцов наноструктурированного иттрий-железистого граната

Проведенное исследование показывает, что различие свойств иттрий-железистого граната определяется характером дефектности и качеством образцов: отклонением от стехиометрического состава, уровнем микродеформаций, нарушениями кристалличности решетки.

Литература

1. Элуэлл Д. Искусственные драгоценные камни. – Москва: Издательство «Мир», 1986. – 160 с.

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ**Габдрахманова Л.А., Трубкулова С.Ф.****Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия**

Благодаря уникальным физическим свойствам нанокристаллические материалы представляют большой научный и практический интерес. С переходом в нанокристаллическое состояние значительно изменяются электрические и магнитные свойства, химическая активность, температура фазового превращения [1-3]. В настоящее время считается, что эти изменения физических свойств обусловлены ростом относительного вклада границ зерен. Однако, несмотря на многочисленные исследования, процессы, протекающие в нанокристаллических материалах, изучены недостаточно. В данной работе представлены результаты исследований структурных превращений в нанокристаллическом кобальте.

Образцы и методика исследований

Для получения нанокристаллической структуры образцы пластически деформировали на наковальнях Бриджмена под давлением 7 ГПа при комнатной температуре поворотом бойка на 5 оборотов. Рентгеновские исследования проводили на дифрактометре ДРОН-7 на Co -излучении. Для измерения ширины дифракционных линий использовали K_α и K_β -линии. При использовании α -линий учитывали их дублетность. Для изучения структурных превращений пластически деформированные образцы отжигали при разных температурах в муфельной печи в потоке аргона. Для исследований использовали образцы в форме дисков с диаметром 10 мм и толщиной около 0,3 мм, полученные после пластической деформации. Рентгенограммы снимали с плоской поверхности образца при комнатной температуре.

Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) определяли методом аппроксимаций [4]. Результаты наших исследований показали, что профили дифракционных линий образцов удовлетворительно описываются функцией $f(\theta) \sim \frac{1}{1 + \alpha\theta^2}$, где θ – угол дифракции, α – постоянный коэффициент. Поэтому физическое уширение дифракционной линии β определяли по формуле $\beta = B - b$, где B – общее уширение дифракционной линии; b – инструментальное уширение. В этом случае физическое уширение связано с микронапряжениями в решетке ϵ и с размерами областей когерентного рассеяния D выражением

$$\beta = \frac{\lambda}{D \cos \theta} + 4\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \theta. D \text{ и } \varepsilon \text{ находили из графиков зависимостей}$$

$\beta \cos \theta$ от $\sin \theta$. В качестве эталона для определения инструментальной ширины использовали тот же образец, отожженный при температуре 800°C .

Результаты исследований и их обсуждение

Согласно результатам электронно-микроскопических исследований [5] пластически деформированный кобальт имеет микроструктуру с сильно размытыми границами зерен, что затрудняет определение их размеров. По оценочным данным работы [5] размеры зерен составляют примерно 10-50 nm. Отжиг при температурах до 673 К не приводит к существенному изменению микроструктуры образцов. После отжига при $T \sim 873$ К на микроструктуре выявляются зерна с размерами порядка 500 nm. Однако результаты работы [5] не позволяют изучить изменение фазового состава и размеров кристаллитов при отжиге. Поэтому представляет интерес определение размеров областей когерентного рассеяния и их изменение в процессе отжига.

На рис. 1 приведены дифрактограммы пластически деформированного образца, отожженного при различных температурах. Видно, что образцы, отожженные при температурах до 723 К, имеют низкотемпературную ГПУ модификацию. Это согласуется с литературными данными для крупнокристаллического кобальта, который при температуре ~ 733 К имеет фазовый переход типа ГПУ \leftrightarrow ГЦК. Из рис.1 видно, что пластически деформированный кобальт, отожженный при 773 К, имеет линии только высокотемпературной ГЦК фазы. Образцы, отожженные при температурах выше 773 К, являются двухфазными и состоят из смеси низкотемпературной ГПУ фазы и высокотемпературной ГЦК фазы. Отжиг при температуре 1173 К в течение 90 минут не приводит к полному исчезновению на рентгенограммах линий ГЦК фазы. Таким образом, согласно нашим данным пластическая деформация препятствует переходу высокотемпературной ГЦК модификации кобальта в низкотемпературную ГПУ модификацию. Мы полагаем, что задержка фазового перехода в пластически деформированном кобальте связана с сильным измельчением кристаллитов. В кристаллитах, размеры которых меньше критического, выгоднее образование ГЦК структуры с более плотной упаковкой [1]. Для подтверждения наших предположений нами были определены размеры ОКР. Результаты наших исследований показали, что размеры ОКР вдоль различных кристаллографических осей заметно различаются. На рис. 2 представлены

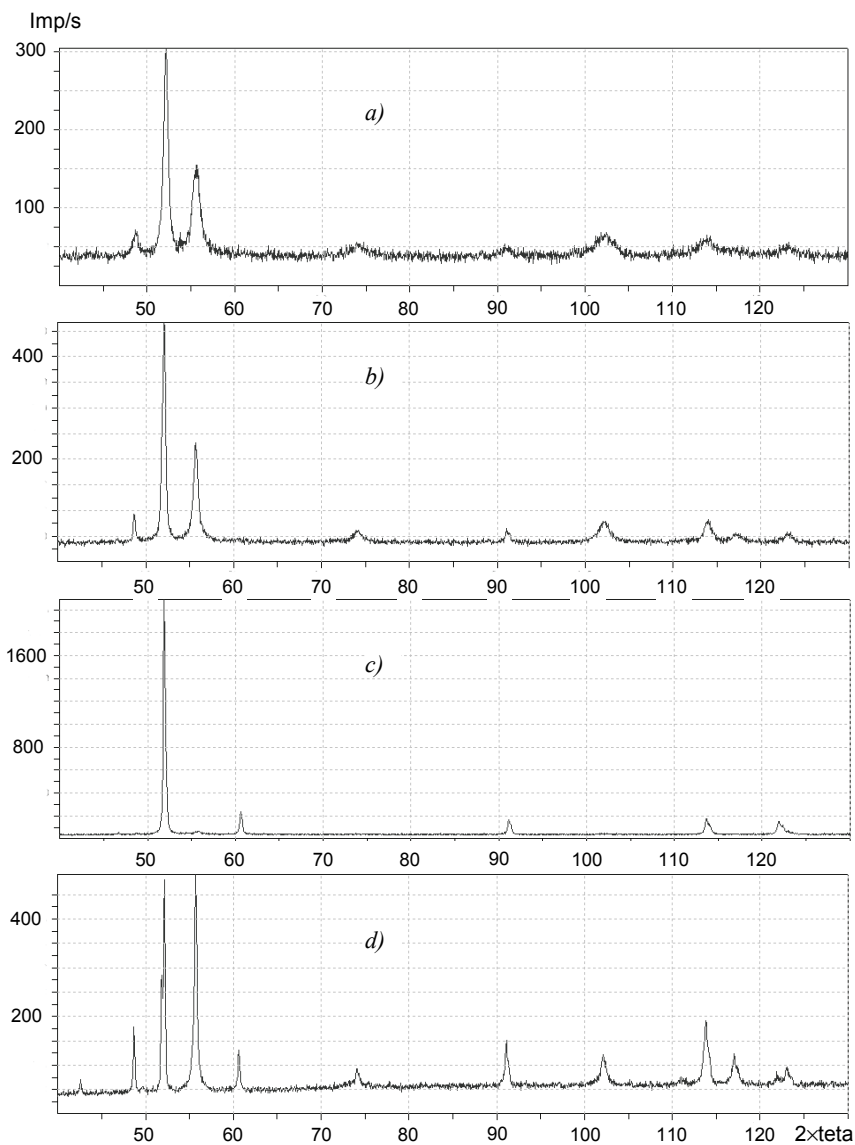


Рис. 1 Дифрактограммы пластически деформированного кобальта, отожженного при различных температурах: *a*- исходный образец; *b*- 723 К; *c*- 773 К; *d*- 1173 К

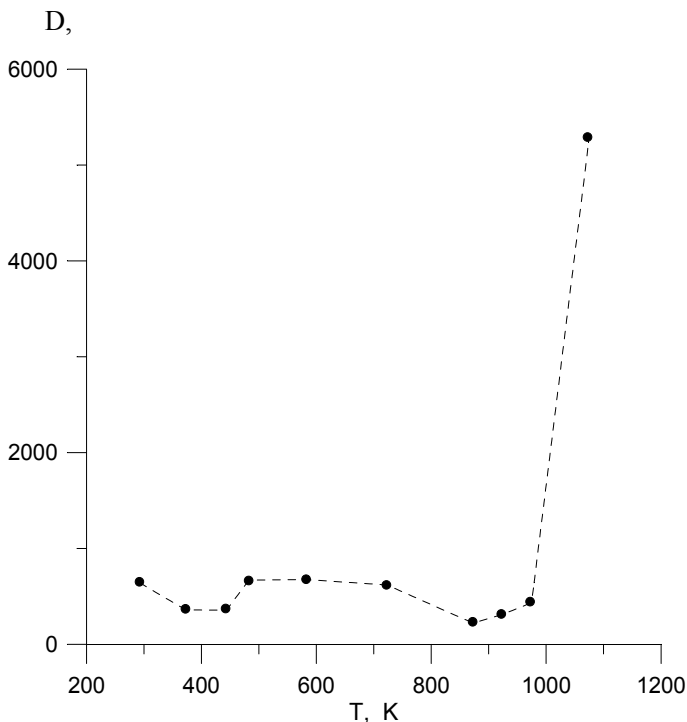


Рис. 2 Зависимость среднего размера ОКР пластически деформированного кобальта от температуры отжига

средние размеры ОКР в зависимости от температуры отжига. Из рисунка видно, что отжиг при температурах 373–443 К приводит к заметному уменьшению размеров ОКР. Ввиду того, что в работе [5] в этой области температур отдельные кристаллиты не выявляются, наши данные нельзя сравнить с результатами этой работы. В интервале 443–483 К наблюдается заметное скачкообразное увеличение размеров ОКР. Мы полагаем, что это связано с процессами возврата. В интервале от 483 К до 823 К средний размер ОКР составляет примерно 660 Å и незначительно меняется в результате отжига. Это хорошо согласуется с данными электронно-микроскопических исследований [5]. После отжига при температурах 973 К и выше наблюдается скачкообразный рост размеров ОКР. Этот результат подтверждает наши предположения о том, что задержка ГЦК-ГПУ-фазового перехода обусловлена малыми размерами кристаллитов.

На рис. 3 приведены величины микронапряжений в зависимости от температуры отжига. Видно, что микронапряжения в кристалле заметно уменьшаются после отжига при температурах 373-443 К. В области 443-483 К наблюдается заметный скачок на зависимости $\epsilon(T)$. Этот скачок коррелирует со скачком на температурной зависимости размеров ОКР. Уменьшение микронапряжений с повышением температуры отжига связано с уменьшением структурных дефектов. Из рис.3 видно также, что для образцов, отожженных при температурах выше температуры ГПУ-ГЦК превращения, микронапряжения имеют отрицательный знак. Это объясняется двухфазным составом образцов и различными значениями к.т.р. для ГПУ и ГЦК-фаз. Двухфазный состав образцов, отожженных при $T > 773$ К, подтверждает наше предположение о существовании критического размера зародыша новой фазы и свидетельствует о неоднородности кристаллитов по размерам.

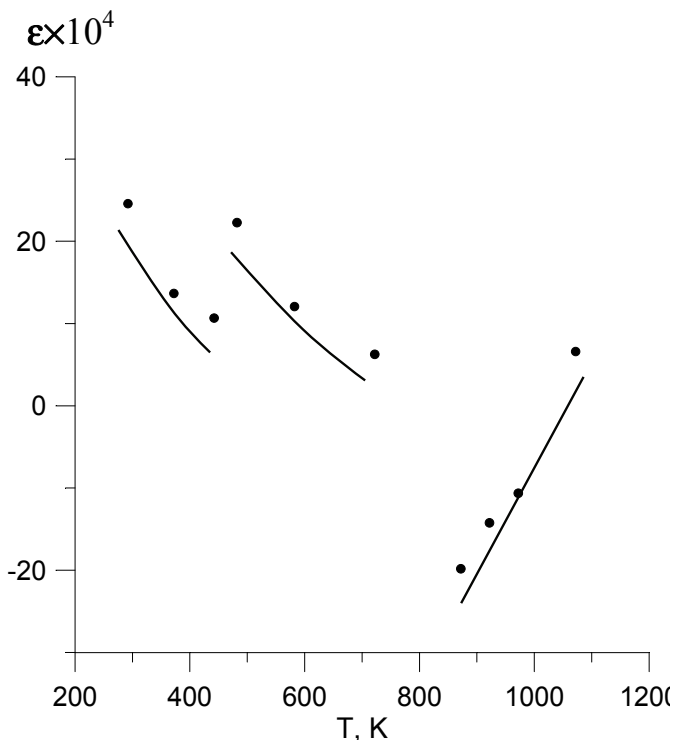


Рис. 3 Зависимость микронапряжений в пластически деформированном кобальте от температуры отжига

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Пластическая деформация приводит к задержке перехода высокотемпературной ГЦК модификации кобальта в низкотемпературную ГПУ модификацию, что связано с образованием мелкокристаллической структуры с размерами кристаллитов меньше критического размера зародыша новой фазы.

Литература

1. Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. Наноструктурные материалы. Издат. центр «Академия», М. (2005). 192 с.
2. Р.Н. Имашев, Х.Я. Мулюков, И.З. Шарипов, В.Г. Шавров, В.В. Коледов. ФТТ **47**, 536 (2005).
3. R.N. Imashev, Kh.Ya. Mulykov, V.V. Koledov, V.G. Shavrov. J. Phys. Cond. Matter **17**, 2129 (2005).
4. Я.С. Уманский. Рентгенография металлов и полупроводников. Металлургия, М. (1969). 496 с.
5. И.Ш. Валеев, В.И. Сергеев, Х.Я. Мулюков. ФТТ **51**, 558 (2009).

© Габдрахманова Л.А., Трубкулова С.Ф., 2012 г.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Гильманова Г.И.

**Центр «Микро- и наномасштабная динамика дисперсных систем»
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия**

Введение

Распространение акустических возмущений в жидкости приводит к появлению газовых и паровых микропузырьков, а также к их колебанию, движению и схлопыванию. Кроме того, наличие пузырьков в жидкости и их размеры существенно влияют на распространение акустических волн. Интерес к акустической кавитации (Рис. 1) связан с сопровождающими её физическими и химическими эффектами, такими как эрозия (механическое повреждение поверхности), шум, управление химическими реакциями, излучение света (сонолюминесценция), воздействие на биологические клетки и т.п.[1] В работе [2] показано что при воздействии акустического поля пузырьки образуют различные структуры. Это явление получило название самоорганизация. В работе [3] показано численное исследование явления самоорганизации.

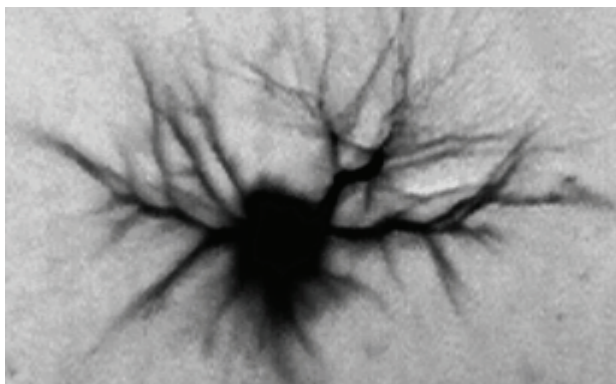


Рис. 1

К трехмерному уравнению Гельмгольца $\Delta_3 \omega + \lambda \omega = -\phi(x)$ при $\lambda > 0$ приводит широкий класс задач, связанных с установившимися колебаниями (механическими, акустическими, тепловыми, электромагнитными и др.). При $\lambda < 0$ это уравнение описывает процессы массопереноса с объемной химической реакцией первого порядка. К уравнению Гельмгольца приводится любое уравнение эллиптического типа с постоянными коэффициентами [4]. Установившиеся акустические

колебания описываются трехмерным уравнением Гельмгольца. На данном этапе решения задачи о самоорганизации, реализована задача Дирихле для трехмерного уравнения Гельмгольца в кубе, средствами Matlab. Программа, написанная для данной задачи, является тестом для более сложных постановок задач для уравнения Гельмгольца.

§1. Постановка задачи

Рассмотрим установившиеся акустические колебания в трехмерной области $\bar{\Omega} = \{x = (x_1, x_2, x_3) \in R^3: a_\alpha \leq x_\alpha \leq b_\alpha, \alpha = 1, 2, 3\}$. куб в R^3 .

Задача. Требуется найти функцию $\varphi(x)$ в области $\bar{\Omega} = \Omega \cup S$.

1) В области $\Omega = \{x = (x_1, x_2, x_3) \in R^3: a_\alpha < x_\alpha < b_\alpha, \alpha = 1, 2, 3\}$ функция $\varphi(x)$ описывается уравнением Гельмгольца:

$$\nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) = 0, \quad x \in \Omega. \quad (1)$$

где $\varphi(x)$ - искомая функция, k - заданная константа,

$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2}$ - оператор Лапласа.

2) На границе $\partial\Omega = \bar{\Omega} \setminus \Omega = S$ функция удовлетворяет условию:

$$\varphi(x) = c(x), \quad x \in S, \quad (2)$$

где $c(x)$ - заданная функция, достаточно гладкая;

§2. Разностная аппроксимация

Численное решение граничных задач подобного типа можно эффективно осуществлять с применением разностного метода [5]-[6]. В замкнутой области $\bar{\Omega} = \Omega \cup S$ введем в рассмотрение равномерную сетку

$$\bar{\omega} = \bar{\omega}_1 \times \bar{\omega}_2 \times \bar{\omega}_3,$$

с шагом $h = (b_\alpha - a_\alpha)/N$, N - число частей разбиения сетки, где

$$\bar{\omega}_\alpha = \{x_\alpha(i_\alpha) = -\pi/2 + i_\alpha h, i_\alpha = 0, 1, \dots, N-1, Nh = \pi/2 - (-\pi/2)\},$$

Задача (1) - (2) аппроксимируется на сетке $\bar{\omega} = \omega \cup \gamma$, где

$$\omega = \omega_1 \times \omega_2 \times \omega_3, \quad \omega_\alpha = \{x_\alpha(i_\alpha) = a_\alpha + i_\alpha h, i_\alpha = 1, \dots, N-1\},$$

$\alpha = 1, 2, 3$.

Дифференциальной задаче (1)-(2) поставим в соответствие следующую разностную задачу. Требуется найти сеточную функцию $y(x) \in \bar{\omega}$, удовлетворяющей разностной задаче (3)-(4):

$$\sum_{\alpha=1}^3 y_{x_\alpha x_\alpha} + k^2 y(x) = 0, \quad x \in \omega, \quad (3)$$

$$y(x) = c(x), \quad x \in \gamma, \quad (4)$$

§3. Результаты численного моделирования

В работе построена следующая модельная задача:

Входные данные задачи заданы в виде:

$$c(x) = c(x_1, x_2, x_3) = \begin{cases} 0, & x \in S \setminus (x_3 = -\pi/2), \\ \cos(x_1) \cos(x_2) \cos(x_3/2 + \frac{\pi}{4}), & \Omega_1 \times \Omega_2 \times -\frac{\pi}{2}; \end{cases} \quad (5)$$

$$k = 1.5 \quad (6)$$

Точное решение задачи имеет вид:

$$\varphi(x) = \cos(x_1) \cos(x_2) \cos(x_3/2 + \frac{\pi}{4}); \quad (7)$$

Вычислительный эксперимент был проведен при $N = 3, 5, 9, 17, 33, 65$.

Для решения системы уравнений (3) – (4) использовалась среда разработки Matlab.

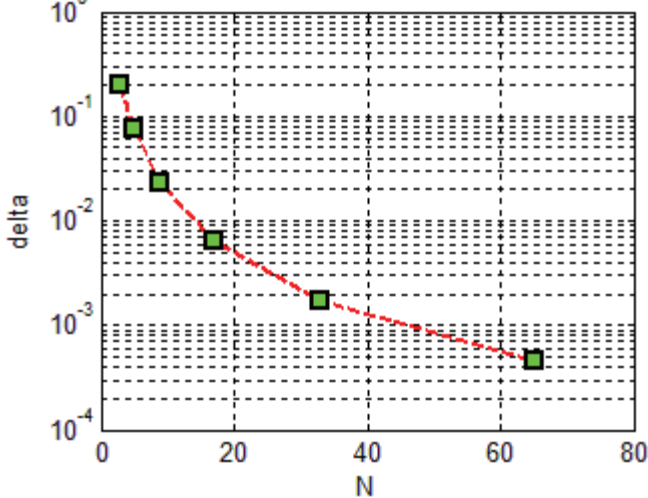


Рис. 2. Зависимость погрешности от числа узлов

На рисунке 2 X-ось указывает на число частей разбиения сетки N в одном направлении и Y-ось - максимальная абсолютная погрешность delta между приближенным и аналитическим решением.

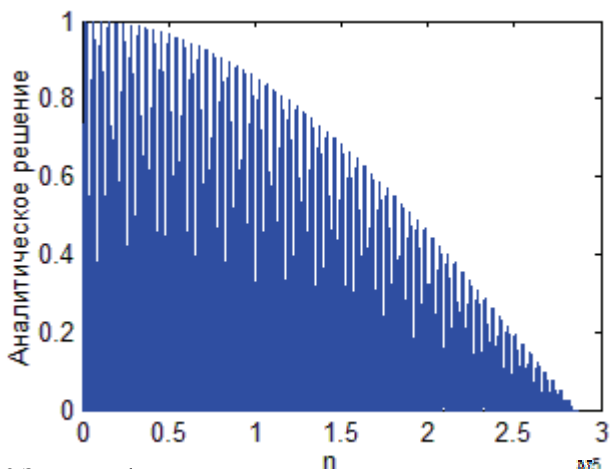


Рис. 3 Значение функции в зависимости от номера узла при $N^5 = 65$

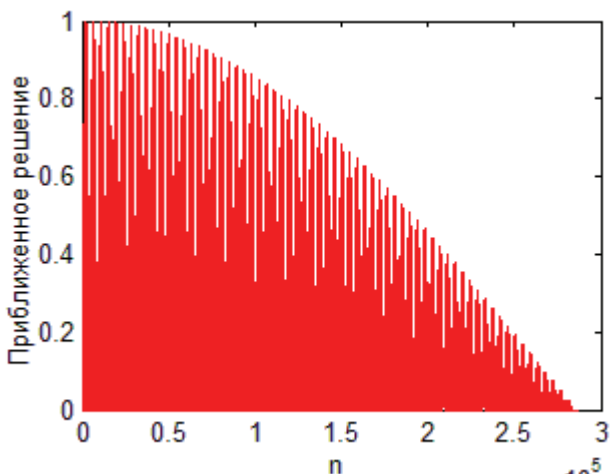


Рис. 4 Значение функции в зависимости от номера узла при $N = 65$

На рисунке 3 и 4 X-ось указывает на номер узла n , общее количество узлов равно $(N + 1)^2$, и Y-ось - значение функции $\varphi(x)$ и $y(x)$ соответственно в каждой точке.

Заключение

В данной работе был успешно реализован программный код в среде Matlab. Проведены тестовые расчеты при различных N . Минимальная погрешность между приближенным и аналитическим решением $\delta =$

0.00045 была получена при $N = 65$. Данный модуль является тестовым для более сложных постановок задач для уравнения Гельмгольца.

Литература

[1] Центр микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем:
<http://www.cmnd.bashedu.ru/cavitation>

[2] U. Parlitz, R. Mettin, S. Luther, I. Akhatov, M. Voss, and W. Lauterborn,

Spatiotemporal dynamics of acoustic cavitation bubble clouds//Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 357, 313-334 (1999).

[3] Gumerov, N.A. On self-organization of voids in acoustic cavitation //Third International Conference on Multiphase Flow, ICMF'98, Lyon, France, June 8-12, 1998

[4] Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001, 576 с.

[5] Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977, 656 с.

[6] Самарский А.А. Николаев Е.С. Методы решения сеточный уравнений. М.: Наука, 1978, 590 с.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки РФ (11.G34.31.0040).

**АКТИВИЗАЦИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ
В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНИХ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**

Гильманова М.Л., Изергин Э.Т.

**Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа**

Стратегической целью модернизации Российского образования является создание условий для повышения качества образования и особенно качества общего среднего образования. В законе «Об образовании» РФ и концепции модернизации образования сформулирована следующая задача: «каждому ребенку - полноценное качественное образование в соответствии с его индивидуальными запросами и возможностями». Решение данной задачи предполагает качественное обновление организационных форм, технологий и методической поддержки образовательного процесса, устранение перегрузки содержания образования, оптимизацию учебной нагрузки, развитие деятельностных подходов и т.д. Формирование и развитие таких черт личности, как системы образного и продуктивного мышления, творческой активности и самостоятельности возможно, если будет решен вопрос подготовки образованного, интеллектуального, творческого человека, умеющего реально адаптироваться к меняющимся социально - экономическим условиям жизни, имеющего свою позицию и способного принимать оптимально верное решение в нестандартных ситуациях. Следовательно, необходимо разрабатывать такие дидактические средства, которые способствовали бы активизации творческой и исследовательской деятельности учащихся в учебно-познавательном процессе обучения.

Анализ работ Кондакова В.А., Изергина Э.Т. и других авторов показал, что проблема использования домашней экспериментальной работы как средства активизации познавательной деятельности учащихся средней общеобразовательной школы и определение уровней формирования интереса учащихся в процессе выполнения домашней работы специально не изучалось. Исследователи не рассматривают педагогически значимую связь между уровнями сформированности познавательного интереса учащихся и подлежащими формированию экспериментальными умениями в ходе выполнения домашних экспериментальных работ. Недостаточно полная представленность системы видов домашних экспериментальных работ, с одной стороны, а так же несоответствие имеющихся возросшим требованиям и запросам общества и отличающихся слабой направленностью на самостоятельную

творческую и исследовательскую деятельность учащихся, с другой стороны определило **актуальность** данного исследования.

Актуальность нашего исследования подкрепляется еще и тем, что в связи с тенденцией гуманизации и гуманитаризации образования происходит сокращение часов, выделяемых на изучение предметов естественнонаучного цикла, и это происходит при возрастании требований к уровню знаний, умений и навыков выпускников средних общеобразовательных школ.

Кроме того, познавательная деятельность учащихся в системе школьного образования рассматривается исследователями в основном применительно к уроку и практически отсутствует систематическое использование работ экспериментального характера в домашних условиях, тем более при изучении предметов естественнонаучного цикла.

Теоретическое осмысление вопроса позволило выявить следующие противоречия: а) между теоретико-методологическим характером имеющихся рекомендаций и потребностью школы в конкретных технологиях развития познавательной активности и самостоятельности учащихся; б) между возросшими потребностями общества к профессиональным и личностным качествам абитуриентов и недостаточной разработанностью эффективных форм и методов для формирования этих качеств у учащихся; в) между требованиями к личностно-уровневой дифференциации процесса обучения и отсутствием реальных условий для осуществления вариативности (в частности индивидуальности) экспериментальной подготовки учащихся при выполнении домашней работы.

Предмет исследования: домашние экспериментальные работы как средство активизации познавательной деятельности учащихся по предметам естественнонаучного цикла.

Цель исследования: теоретически обосновать и разработать технологию организации и проведения домашних экспериментальных работ, обеспечивающую активизацию познавательной деятельности учащихся при изучении предметов естественнонаучного цикла.

Гипотеза исследования: разработка и использование технологии домашних экспериментальных работ позволит обеспечить активизацию познавательной деятельности учащихся при изучении предметов естественнонаучного цикла общеобразовательной школы.

Цель исследования и выдвинутая гипотеза определили **задачи** исследования:

1) изучить и проанализировать психолого-педагогическую и методическую литературу по проблеме формирования и активизации познавательной деятельности учащихся;

2) теоретически обосновать технологию организации и проведения домашних экспериментальных работ по предметам естественнонаучного цикла;

3) разработать технологию проведения домашних экспериментальных работ;

4) определить факторы, влияющие на активизацию познавательной деятельности учащихся при проведении экспериментальных работ по дисциплинам естественнонаучного цикла;

5) выявить педагогические условия, способствующие активизации познавательной деятельности учащихся в процессе выполнения домашних экспериментальных работ.

Домашние экспериментальные работы обладают большими потенциальными возможностями, благодаря которым они могут с различными целями использоваться в учебном процессе. В исследовании используем технологию домашних экспериментальных работ как **средства** активизации познавательной деятельности учащихся в процессе изучения дисциплин естественнонаучного цикла. Сущность технологии заключается в одновременной работе преподавателя по:

- управлению самостоятельной работой всех учащихся;
- работе с отдельными учащимися — индивидуально;
- осуществлению учета и реализации индивидуальных особенностей и возможностей учащихся;

-максимальному включению всех в индивидуальную самостоятельную работу.

Домашние экспериментальные работы являются одним из видов домашней учебной работы и направлены не только на усвоение знаний, умений и навыков, но и на развитие гибкости мышления, творческой фантазии, умения аргументировать, правильно и четко излагать свои мысли вслух, формирование чувства долга и ответственности. Они индивидуальны в плане своего выполнения (под индивидуальностью выполнения мы подразумеваем то, что ученик по-своему, индивидуально подходит к выполнению задания, что может способствовать проявлению его способностей и развитию умений, как общеучебных, так и экспериментальных) и позволяют реализовывать межпредметные связи в обучении.

Преимущество домашних экспериментальных работ по сравнению с другими видами учебного эксперимента очевидно и заключается в возможности самостоятельно устанавливать время и место выполнения работы учащимся, самостоятельность в организации и проведении работы, в планировании своей деятельности, и достижении поставленной цели.

Познавательная деятельность учащихся активизируется, если соблюдаются следующие педагогические условия: учебно-

познавательная деятельность учащихся во внеурочное время управляется учителем; на уроках создается устойчивая мотивация; при обучении учитываются индивидуальные особенности личности учащихся; учащиеся постоянно вовлекаются в активные формы самостоятельной деятельности; в процессе обучения используются творческие и исследовательские задания, а также реализуются межпредметные связи.

Домашние экспериментальные работы могут быть классифицированы по следующим основаниям: дидактическим целям, характеру познавательной деятельности учащихся, содержанию учебного материала, способу руководства, форме организации, продолжительности выполнения. Домашние экспериментальные работы отличаются от других видов экспериментальных работ следующими особенностями: комплексным характером учебной работы; развитием гибкости мышления и творческой фантазии; индивидуальным характером планомерной организации и выполнения работ; реализацией межпредметных связей.

Активизация познавательной деятельности учащихся в процессе выполнения домашних экспериментальных работ возможна при соблюдении следующих педагогических условий:

- управления учителем познавательной деятельностью учащихся во внеурочное время;
- создания устойчивой мотивации к изучению предметов естественнонаучного цикла;
- учета индивидуальных особенностей личности учащихся; вовлечения учащихся в активные формы самостоятельной деятельности;
- использовании творческих и исследовательских заданий; реализации межпредметных связей в обучении.

Домашние экспериментальные работы должны отвечать следующим дидактическим требованиям: являться составной частью системы педагогической деятельности учителя; конкретизированы по целям, содержанию и соотнесены с учебным материалом одной или нескольких дисциплин; обеспечивать формирование у учащихся интереса к предмету и способствовать развитию их познавательной активности и самостоятельности; способствовать приобретению учащимися прочных знаний, формированию обобщенных экспериментальных умений; минимально затратны для родителей учащихся; методически обеспечены (инструкции, рекомендации по порядку проведения и оценивания, вопросы-задания и др.).

РАСЧЕТ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ Cu_2S И Ag_2S ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Давлетшина А.Д.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Халькогениды меди и серебра являются смешанными ионно-электронными проводниками. Данные соединения широко используются в различных технических устройствах. До настоящего времени не предложена единая модель, объясняющая почему в одних соединениях проявляется ионная проводимость, а в других нет. Изучение зонной структуры суперионных проводников может стать еще одной ступенью к более полному пониманию возникновения механизма ионной проводимости. Зонная структура дает картину электронного строения твердого тела, позволяющую интерпретировать экспериментальные данные и делать прогнозы по его проводимости. Для халькогенидов меди и серебра существуют литературные данные по зонной структуре [1-4].

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Расчет зонной структуры суперионных проводников Cu_2S (ГЦК) и Ag_2S (ОЦК) в высокотемпературной кубической фазе был выполнен из первых принципов с помощью программного пакета Quantum Espresso [5]. При расчетах зонной структуры были использованы ультрамягкие псевдопотенциалы для Cu и Ag, а для S - сохраняющие норму, генерированные данной программой. Кинетическая энергия обрезки плоских волн имела величину, равную $35 R_y$ (476 эВ). Использовался автоматический выбор точек обратной решетки (k-точек) при помощи метода Монкхорста-Пака. Размерность k-сетки для интегрирования по зоне Бриллюэна составляла $3 \times 3 \times 3$. Данный выбор величин обеспечивает достаточно высокий уровень точности вычислений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зонная структура Cu_2S и Ag_2S представлена на рис. 1 и 2, соответственно. Зависимость энергии от волнового вектора в обоих соединениях имеет подобный характер. Из рис.1 видно, что энергетический уровень, соответствующий -11 эВ образован 1s-орбиталью серы, который отделен от других уровней достаточно большим интервалом энергии. В интервале от -2 до -4 эВ расположены гибридные 2s-, 2p- и 3s-состояния S. Сильно гибридные p-состояния S и s- и p-состояния Cu образуют более высокие энергетические уровни. Зоны выше 2 эВ представляют собой s-, p-

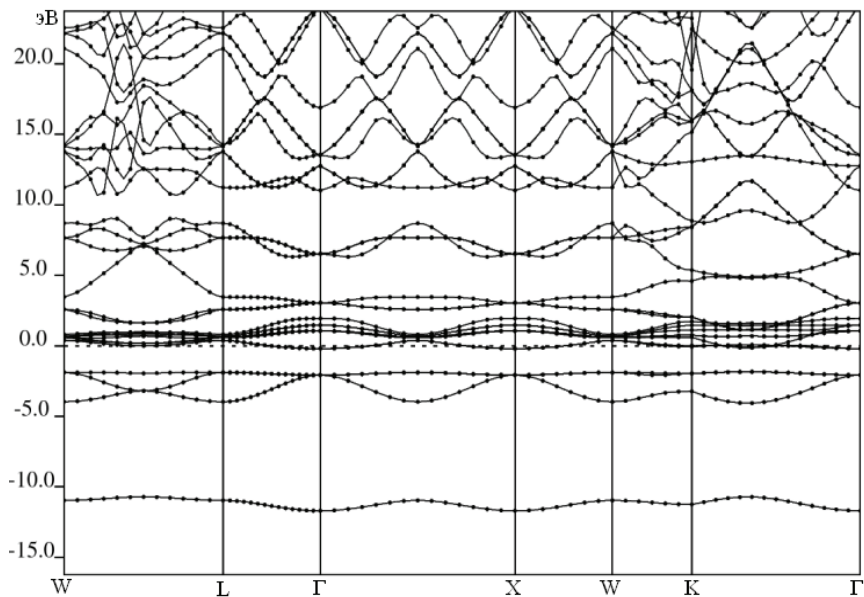


Рис. 1. Зонная структура Cu_2S

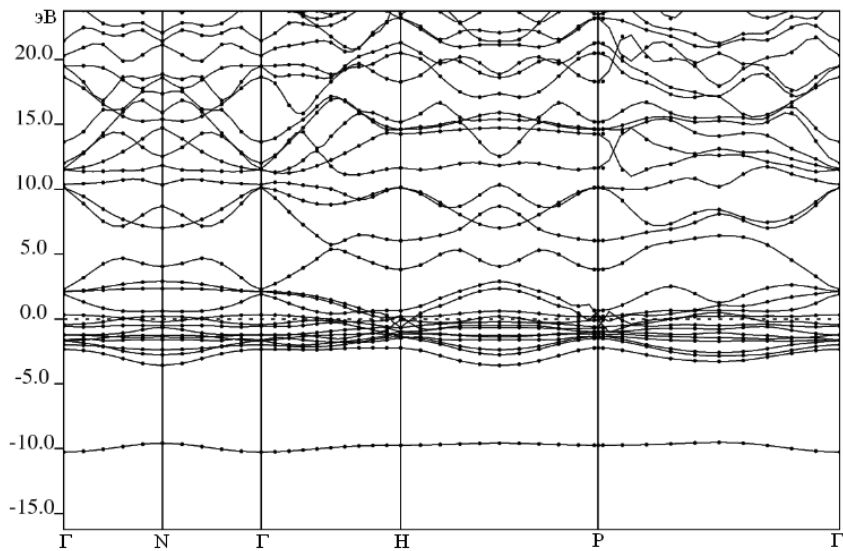


Рис. 2. Зонная структура Ag_2S

и d- уровни меди. Где наблюдается сильная зависимость от волнового вектора.

В случае Ag_2S в гибридизации принимают участие также 2s-, 2p- и 3s-состояния S с s, p, d-состояниями серебра. Наблюдается малое смещение энергетического уровня, образованного 1s-орбиталью серы в область более высоких значений энергии.

Из сравнения зонных структур Cu_2S и Ag_2S следует, что если в первом случае в гибридизации принимают участие более высокие энергетические состояния серы, начиная с 3p-состояния с катионом Cu, то во втором случае происходит гибридизация состояний серы уже с 2s-уровней с катионом Ag. В результате чего катионы серебра меньше удерживаются анионом, образующим жесткий остов. Ag_2S имеет более высокую ионную проводимость по сравнению с Cu_2S и, как следствие, меньшую энергию активации ионной проводимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был выполнен расчет зонной структуры Cu_2S и Ag_2S , которые проявляют высокую ионную проводимость в высокотемпературной кубической фазе. На основе выше приведенных рассуждений можно сделать следующие выводы. Несмотря на то, что катион Ag больше по размерам и массе, чем катион Cu, Ag_2S имеет более высокую ионную проводимость по сравнению с Cu_2S и, как следствие, меньшую энергию активации ионной проводимости, что обусловлено более сильной связью катиона меди с анионом, образующим жесткий остов. Для зонной структуры исследуемых соединений в суперионном состоянии характерно отсутствие запрещенной зоны, т.е. халькогениды меди и серебра являются бесщелевыми полупроводниками.

Литература

1. Hasegawa A. On the electronic structure of Ag chalcogenides // Solid State Ionics. 1985.- Vol. 15.- P. 81-88.
2. Kikuchi H., Iyetomi H., Hasegawa A. The p-d hybridization in the electronic structure of $\alpha\text{-Ag}_2\text{Te}$ // J. Phys.: Condens. Matter. -1997.- Vol. 9.- P. 6031–6048. Printed in the UK
3. Kikuchi H., Iyetomi H., Hasegawa A. Insight into the origin of superionic conductivity from electronic structure theory // J. Phys.: Condens. Matter. -1998.- Vol. 10.- P. 11439–11448. Printed in the UK
4. Kashida S., Watanabe N., Hasegawa T., Iida H. Electronic structure of Ag_2S . band calculation and photoelectron spectroscopy // Solid State Ionics. - 2003.- Vol. 158.- P. 167 – 175.
5. Quantum-ESPRESSO: <http://www.quantum-espresso.org>

© Давлетшина А.Д., 2012 г.

ШКОЛЬНАЯ ЛЕКЦИЯ ПО ФИЗИКЕ КАК МЕТОД ОБУЧЕНИЯ

Давлетшина Р.М., Изергин Э.Т.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акмуллы, г.Уфа

Для обучения физике на базовом уровне в 10 и 11 классе программой выделяется мало учебного времени. В создавшихся условиях одним из вариантов обучения может оказаться использование лекционного метода преподавания как наиболее насыщенного по скорости передачи информации. Кроме того, использование лекций в процессе преподавания физики является подготовкой учащихся к дальнейшему обучению в вузе.

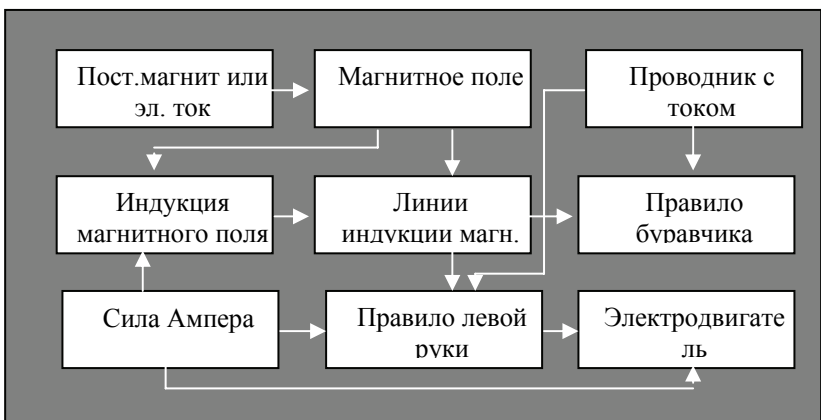
Использование лекции как метода преподавания физики предполагает следующие действия учителя:

- Разбивка учебного материала на блоки.
- Составление по каждому блоку лекции с четким подразделением того, что говорит учитель и что записывают учащиеся.
- Подбор демонстрационных опытов к каждой лекции, а также составление беседы с учащимися в процессе демонстрации этих опытов.
- Определение способов контроля усвоенных учащимися знаний.

По материалу 11 класса мы предлагаем следующую разбивку учебного материала:

1. Магнитное поле тока.
2. Электромагнитная индукция.
3. Электромагнитные колебания и волны.
4. Переменный ток.
5. Геометрическая оптика.
6. Волновые свойства света.
7. Основы теории относительности.
8. Квантовые свойства света.
9. Строение атома.
10. Строение атомного ядра.

К каждой лекции мы составили структурную модель изучения темы. Рассмотрим структурную модель лекции 1. Цифрами обозначены элементы знаний, приобретённых учащимися ранее (в 8-9 классах).



О постоянных магнитах и магнитном поле вы многое знаете из курса физики 7 – 9 классов. Знаете, что постоянный магнит имеет по крайней мере два полюса: **северный** и **южный**. Одноимённые полюсы магнита отталкиваются, а разноимённые притягиваются. Вокруг постоянного магнита, а также вокруг проводников, по которым идёт ток, существует магнитное поле. Это поле не действует на органы чувств человека, но действует на магнитную стрелку, на прямолинейный проводник с током, на рамку с током. Силовой характеристикой магнитного поля является **индукция магнитного поля B** . Магнитное поле изображается посредством **линий индукции**.

На проводник, по которому идёт ток, в магнитном поле действует сила, называемая силой Ампера. Если два проводника с током расположены близко друг к другу, то в магнитном поле, созданном током в первом проводнике, на второй проводник действует сила Ампера. В магнитном поле, созданном током во втором проводнике, сила Ампера действует на первый проводник. Другими словами, проводники с током взаимодействуют посредством магнитного поля. Этот факт позволяет уточнить понятие магнитного поля:

Магнитное поле – это особый вид материи, осуществляющий взаимодействие движущихся зарядов (токов).

Вспомним приёмы определения направления индукции магнитного поля тока и направления силы Ампера.

Направление прямого и кругового тока и направление линий магнитной

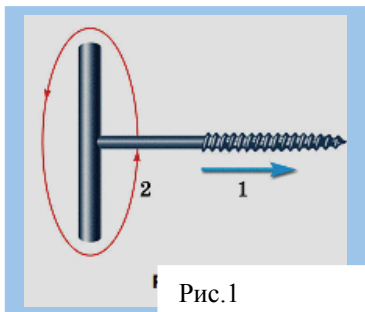


Рис.1

индукции связаны правилом буравчика:

Если направление ввинчивания буравчика совместить с направлением тока в проводнике, то направление линий магнитной индукции будет совпадать с направлением вращения ручки буравчика (рис.1).

Если направление вращения ручки буравчика совместить с направлением кругового тока, то направление ввинчивания буравчика совпадёт с направлением линии магнитной индукции.

Направление силы Ампера можно определить по правилу «левой руки».

Если расположить левую руку так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а четыре пальца показывали направление тока в проводнике, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера .

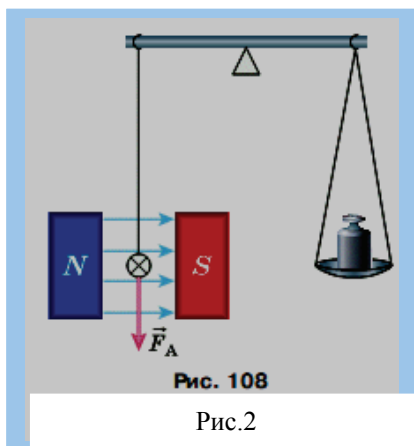


Рис.2

Пусть в магнитном поле уравновешен проводник (рис. 2). Пропустим по проводнику ток: равновесие нарушится, потому что действующая на проводник сила направлена вертикально вниз. Модуль этой силы зависит от силы тока в проводнике, от длины той части проводника, которая находится в магнитном поле (активной части) и магнитного поля. При одном магните эта сила имеет одно значение, при другом магните, более слабом или более сильном, – другое.

Однако, отношение силы, действующей на проводник с током (силы Ампера), к длине активной части проводника и силе тока в нём зависит только от магнитного поля. Этим отношением характеризуют магнитное поле, и характеристику называют **индукцией магнитного поля**.

$$B = \frac{F}{I \cdot l}$$

Если проводник не перпендикулярен к вектору B , то действующая сила несколько меньше, максимальная сила действует на проводник, перпендикулярный к вектору магнитной индукции.

Индукцией магнитного поля называется векторная физическая величина, равная отношению максимальной силы Ампера к длине проводника и току в нём.

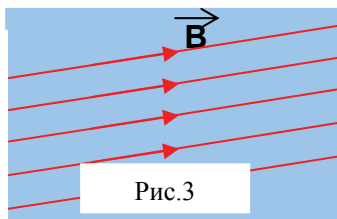
$$[B] = \frac{H}{A \cdot m} = \frac{H \cdot m}{A \cdot m^2} = \frac{B \cdot A \cdot c}{A \cdot m^2} = \frac{B \cdot c}{m^2} = \frac{B\bar{b}}{m^2} = [Tл]$$

Единица индукции магнитного поля – Тл (тесла). Она названа в честь сербского физика и изобретателя **Никола Тесла**.

тором на проводник длиной 1 м, расположенный перпендикулярно к линиям магнитной индукции, действует сила 1Н при силе тока в проводнике 1 А.

Линия индукции магнитного поля – это линия, в каждой точке которой вектор индукции направлен по касательной.

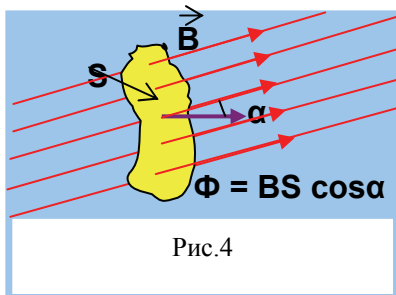
Поле, в каждой точке которого индукция магнитного поля B одинакова по модулю и по направлению, называется **однородным полем**. Линии индукции такого поля параллельны друг другу и расположены на одинаковых расстояниях друг от друга (рис.5).



Замкнутый проводник называют **контуром** (рис.6).

Магнитным потоком Φ через площадь, ограниченную контуром S , называют физическую величину, равную произведению модуля вектора магнитной индукции B на площадь S и на косинус угла между вектором B и нормалью к контуру.

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$$



Единица магнитного потока – вебер (1 Вб)

$$[\Phi] = Tл \cdot m^2 = \frac{B\bar{b}}{m^2} \cdot m^2 = [B\bar{b}]$$

Чтобы изменить магнитный поток, пронизывающий контур, надо либо изменить индукцию магнитного поля, либо изменить площадь контура, либо изменить ориентацию контура в магнитном поле (повернуть контур вокруг оси, перпендикулярной к линиям индукции).

Пользуясь определением индукции магнитного поля, получим формулу для расчёта силы Ампера, то есть силы, действующей на проводник с током в магнитном поле:

$$F = B \cdot I \cdot l.$$

Эта формула верна для случая, когда проводник расположен перпендикулярно к линиям индукции магнитного поля. В случае произвольного расположения проводника в магнитном поле:

$$F = B \cdot I \cdot l \sin \alpha,$$

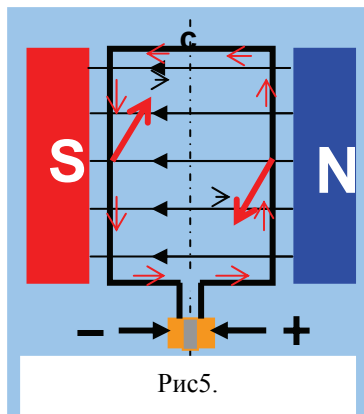
где α – угол между направлением B и проводником.

Последняя формула носит название **закона Ампера**.

Действие силы Ампера находит большое применение в электродвигателях, громкоговорителях, электроизмерительных приборах.

Простейший электрический двигатель постоянного тока представляет собой рамку, которая может вращаться в магнитном поле. Концы рамки соединены с полукольцами, к которым с помощью щётки подводится электрический ток (рис.5).

По правилу левой руки определяем, что действующая на часть рамки ab сила Ампера направлена от чертежа к нам. На часть рамки cd сила Ампера действует в направлении от нас за чертёж. Под действием пары сил рамка $abcd$ повернётся на 90° . В этот момент коллектор (полукольца и щётки) отключает ток. Вследствие инертности рамка продолжает движение, и цепь рамки снова замыкается, но ток теперь течёт от d к c , затем от b к a , и рамка продолжает движение в том же направлении.



Таким образом, коллектор автоматически в нужные моменты времени отключает ток, а затем

включает ток противоположного направления, и это происходит через каждую половину оборота рамки.

Чтобы рамка двигалась не толчками, а по возможности плавно, используются не одна рамка, а две, три и более, а коллектор состоит не из двух полуколец, а из четырёх, шести и более частей целого кольца. Вместо постоянного магнита используется электромагнит, питаемый от того же источника тока, что и рамка. Подвижную часть электродвигателя (рамка с коллектором) называют ротором, а неподвижную (корпус и электромагниты) – статором.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ИЗУЧЕНИИ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Даутова К.В., Багаутдинова А.Р.
БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа Россия

Требования к повышению качества и эффективности образования определяют интерес к различным формам электронного обучения. Одним из путей разрешения этой проблемы является использование информационно-образовательных ресурсов, которые являются одной из самых ценных составляющей образовательной информационной среды. Именно в образовательных ресурсах концентрируется содержательная составляющая учебного процесса. Использование компьютерных технологий в учебном процессе активизирует процессы развития компонентов операционального, наглядно-образного, теоретического типов мышления; способствует развитию творческого, интеллектуального потенциала обучаемых. Они используются не столько для поддержки традиционных форм методов обучения, сколько для реализации идей развивающего обучения, интенсификации всех уровней учебного процесса, подготовки подрастающего поколения к условиям жизни в информационной среде [1].

Под **информационно-образовательным ресурсом** следует понимать комплексное средство, разработанное на основе Государственных Образовательных Стандартов, которое обеспечивает некоторые виды учебной деятельности и позволяет осуществить индивидуально-деятельностный подход к процессу целенаправленного формирования профессиональных компетенций в соответствующей предметной области. В таком случае, ИОР является универсальным средством и методом организации и поддержки учебного процесса различных форм и уровней. С его помощью можно получать в различной форме учебную и справочную информацию, организовать учебный процесс, активизировать познавательную деятельность обучаемых [2].

Компоненты этого комплекса должны обеспечивать все виды и этапы учебной деятельности. Соответственно, структура ИОР должна включать:

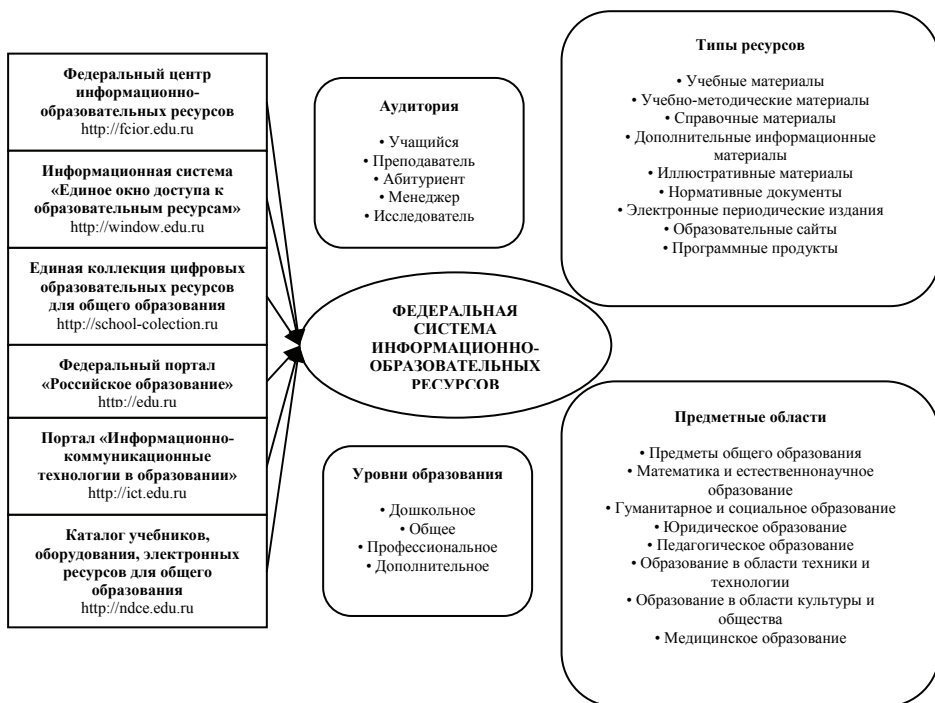
- ориентировочный компонент;
- содержательный компонент;
- контрольный компонент;
- справочно-информационный компонент;
- научный компонент.

В последние годы в открытом доступе появилось довольно много ИОР, которые могут быть полезны в образовательном процессе, однако

их поиск осложнен в связи с разбросанностью ресурсов, трудностью выделения наиболее качественных для задач сферы образования. Разработка механизмов, обеспечивающих создание и функционирование общей системы внедрения ИОР на федеральном уровне, является приоритетным направлением информационных технологий. Создание такой системы стало важнейшим компонентом реализации государственной политики в обеспечении совершенствования содержания технологий образования нового качества. Для решения этих проблем была создана Федеральная система информационно-образовательных ресурсов [3].

Федеральная система информационно-образовательных ресурсов является системообразующим компонентом единой информационно-образовательной среды, который обеспечивает практическую реализацию сервис-ориентированной модели информатизации среды образования, доступность и эффективность использования, интеграцию и унификацию разрозненных информационно-образовательных ресурсов для всех уровней системы образования [3].

Составные части и подсистемы ФСИОР обеспечивают единую схему технологической реализации механизмов приемки, хранения, сопровождения и унифицированного доступа к ИОР различных типов.



В настоящее время ФСОР обеспечивает размещение и доступ к специально отобраным и рекомендованным экспертами образовательным Интернет-ресурсам для всех уровней образования и образовательных областей.

Внедрение ИОР в образование приводит к изменению содержания, методов и форм учебной работы в школе, основной задачей которой становится подготовка учащихся к жизни в информационном обществе. Внедрение информационных технологий в процессе обучения создает принципиально новые педагогические инструменты и предоставляет учителю новые возможности.

Современный урок физики должен отличаться своей эффективностью и рациональным использованием учебного времени. Использование же компьютерных средств предоставляют новые возможности. Одним из возможных путей решения данной задачи является активное использование в процессе обучения электронных образовательных ресурсов.

Электронными образовательными ресурсами называют специальным образом сформированные блоки разнообразных ИОР, представленные в электронном (цифровом) виде и функционирующие на базе средств информационных и коммуникационных технологий.

На сайте Федерального центра информационно-образовательных ресурсов и на сайте Единой коллекции цифровых образовательных ресурсов представлены различные типы ЭОР по физике: информационные модули (текст с гиперссылками, интерактивными анимационными вставками, чертежами, интерактивными моделями, трехмерными картами); практические модули (практикум, интерактивные лабораторные работы, задачи, комбинированные модули, модули для коллективной работы); контрольные модули (тесты разного типа) [4].

Учебный процесс, построенный на основе использования ЭОР, приводит к изменению роли учителя. Он теперь не является единственным источником информации. Он должен являться инициатором новых форм взаимодействия с учащимися, организатором дискуссий, обсуждений проблемных и спорных вопросов на уроке и во внеурочное время. Поэтому учителю необходимо, во-первых, учитывать начальный уровень обучаемого и его мотивационную готовность к общению с системой; во-вторых, прогнозировать результаты, какие знания умения, навыки должен или может приобрести обучаемый, какое развивающее воздействие на него окажет общение с системой и какова целесообразность этого воздействия; в-третьих, обеспечить вариативность в подаче учебного материала (визуально-объяснительная, описательная, проблемная и т.д.); в-четвертых, обеспечивать деятельность подход к обучению; в-пятых, предусматривать возможность поэтапного отслеживания продвижения обучаемого в учении [1].

ЭОР имеют большие возможности для организации деятельности учащихся и учителя. Мультимедийность и интерактивность ресурсов приводят к активизации познавательной деятельности учащихся, усилению роли творческого компонента в процессе обучения, что, в свою очередь, ведет к повышению эффективности образовательного процесса.

Как и любое программное обеспечение, использование ЭОР сопровождается рядом преимуществ и недостатков, так применение образовательных ресурсов связано с индивидуальными способностями каждого учителя, возможностями работы оборудования, личным опытом пользования ПК и т.д. Значит ЭОР должен соответствовать следующим функциям:

1. Методологическая функция: соответствие логике и истории научного познаний: возможность усвоения обучаемыми системы знаний и методов познания в их логической связи; соответствие объяснения явлений, определений понятий, формулировки законов общепринятым в науке и в школьной физике.

2. Методическая функция: соответствие продуктов информационных технологий целям физического образования в школе; обеспечение возможностей дифференцированного обучения и

приспособляемость информационной технологии к индивидуальным возможностям обучаемого.

3. Семиотическая функция: реализация возможностей мультимедийной визуализации объектов, явлений, моделей; оптимальное соотношение между научностью и доступностью для обучаемого предметных областей мультимедийных программ.

4. Развивающая функция: возможность сочетания компьютерных и традиционных форм обучения для создания развивающих моделей уроков; наличие системы заданий к компьютерным моделям с учетом элементов научного исследования индивидуально для каждого пользователя.

5. Гуманитарная функция: представление физики как части социо-культурной среды общества, раскрытие аспектов социальных, экономических и экологических проблем общества через физику; формирование интегрированных знаний, мировоззрения, отражающих естественнонаучную картину мира.

Основная цель использования ЭОР в учебном процессе заключается в способствовании максимального развития способностей учащихся на основе саморегуляции и самообразования: формирование целостной естественнонаучной картины мира, научного фундамента для успешного прогнозирования собственной профессиональной деятельности, способствование творческому развитию личности и верному выбору индивидуальной программы жизни на базе познания особенностей, потребностей и возможностей человека.

Методика урока при внедрении ЭОР существенно отличается от классической. Поэтому учителю приходится разрабатывать новые структурно-логические схемы, готовить электронные приложения к урокам.

Изучение основ квантовой оптики в средней школе - сложная методическая задача, которая направлена на развитие мировоззрения и теоретического мышления учащихся. Квантовая теория является более высокой ступенью познания, чем классическая физика; она установила ограниченность многих классических представлений. Классическая физика занимается только описанием поведения материальных объектов, в то время как квантовая физика сосредоточена только на математическом описании процессов наблюдения и измерения. Из-за малой наглядности квантово - механических объектов и сложности математического аппарата, необычность исходных идей и понятий в квантовой оптике создают методические трудности. В основе темы лежат идеи: квантования энергии излучения и поглощения, корпускулярно-волновой дуализм света, идея де-Бройля о волновых свойствах микрочастиц. В теме много новых понятий в виде объектов, явлений и физических величин, квант, фотон, энергия, импульс, фотоэффект,

задерживающее напряжение, «красная граница фотоэффекта», оптические приборы, давление света, фотосинтез. В теме изучаются фундаментальные исторические эксперименты (опыт Столетова, Лебедева, Герца), эмпирические законы фотоэффекта и уравнение Эйнштейна как основной закон фотоэффект. Учебный материал имеет большое прикладное значение.

Учебный материал невозможно моделировать зрительными образами или механическими экспериментами. Для исключения этого недостатка темы раньше иногда учителями использовался мысленный эксперимент, заключающийся в том, что исследуемый объект мысленно ставился в определенные физические условия. На основе законов делали выводы о его поведении. Затем они проверялись по соответствию общим законам физики и определялись новые свойства объекта.

Мы считаем, что сейчас данная тема должна быть обеспечена информационно - образовательными технологиями, которые могут быть различных направлений, и дополнять электронное приложение к учебнику Г.Я. Мякишева и др. Такое приложение имеют учебники последних трех лет выпуска. Он содержит 1300 ресурсов, в которых много интересных объектов, в частности, наиболее удачными в методическом отношении, по нашему мнению, являются дополнительный материал, анимации, выразительные рисунки, которые можно копировать и вставлять в презентации уроков, интерактивная таблица Д.И. Менделеева, видеофрагменты экспериментов и аналогов мысленных опытов. Электронное приложение может эффективно использоваться для самостоятельной работы учеников, к примеру, раздел «подготовка к ЕГЭ», содержащий тесты с выборочными ответами.

Также мы изучили и проанализировали такие приложения, как: «Уроки физики Кирилла и Мефодия», «Физика 7-11 класс. Интерактивный курс», «Физика 7-11 класс. Мультимедийный обучающий курс», «Физика. Экспресс-подготовка к экзамену – 9-11 класс», «Открытая физика 2.6. Часть 1, 2», Физика. Основная школа – 7-9 класс. Часть 1,2», «Курс физики XXI века. Часть 1,2,3».

Электронные приложения могут и должны быть расширены. Так в электронном приложении к учебнику физики 10-11 класс, Г.Я. Мякишева отсутствуют интерактивные модели, дающие возможность выполнять учащимся самостоятельно виртуальные лабораторные исследования. Такие лабораторные работы разработаны для выполнения в вузах, следовательно их методика выполнения, руководство, оформление в школе должны быть иными. Основой остается лишь сама модель. Появляется принципиально новый вид работы учителя физики - организация экспериментально – практических работ на основе компьютерных программ. Методически наиболее перспективны

виртуальные лабораторные работы, которые представляют программы «Физикон».

Нами определены преимущества и недостатки школьных компьютерных лабораторных работ, разработана технология составления дифференцированных руководств к их выполнению и задания, определена методика их выполнения. Мы адаптировали многие лабораторные работы из программы «Открытая физика» к школьной учебной программе и дидактическим целям урока. В докладе приводится пример лабораторной работы «Внешний фотоэффект».

Литература

1. Теория и методика обучения физике в школе: Общие вопросы: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / С.Е. Каменецкий и др. - М.: Академия, 2000. - 368 с.

2. Севастьянова С.А. Информационный образовательный ресурс: структура, содержание, применение в учебном процессе (СГЭУ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ito.edu.ru/2006/Samara/VI/VI-0-3.html>.

3. Использование электронных образовательных ресурсов нового поколения в учебном процессе: Научно-методические материалы / Бордовский Г.А., Готская И.Б., Ильина С.П., Снегурова В.И., - СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2007. – 31с.

4. Электронные образовательные ресурсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://window.edu.ru/window_catalog/files/r70703/.

**СЕЙСМОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ПРЯМЫХ ПОИСКОВ,
ДЕТАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ, ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ И
МОНИТОРИНГА ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ В
НЕФТЕГАЗОВОМ ПЛАСТЕ**

Добрынин С.И., Головин С.В., Рахматуллин И.И.

**Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе, Малое инновационное предприятие
ЗАО «ИНГЕОТЕХ», г. Москва, Россия**

Рациональное недропользование - основополагающий принцип государственной политики инновационного развития нефтегазовой промышленности, поэтому решение возникающих проблем здесь необходимо рассматривать как важную государственную задачу.

Проведенный Федеральным агентством по недропользованию в 2006-2011 годах анализ материалов рассмотрения и согласования документации на разработку месторождений выявил ряд насущных проблем, характерных, в том числе, и для нефтегазовой промышленности [1].

Зачастую проектная документация на разработку месторождений выполнена на основе кондиций и запасов полезных ископаемых, утвержденных 10-35 лет назад, и не учитывает произошедших за этот период изменений, в частности - создание и внедрение новых технологий поисков, разведки и добычи углеводородов. В результате не обеспечиваются полнота и комплексность разработки разведанных месторождений, участилось отключение высокообводненных, а также низкодебитных скважин на месторождениях.

Разрабатываемые инновационные геофизические технологии позволяют полностью или частично исключить негативные факторы, влияющие на формирование потерь полезных ископаемых при добыче. Так специалистами ЗАО «ИНГЕОТЕХ» - дочернего инновационного предприятия МГРИ-РГГРУ, разработан и внедряется ряд инновационных технологий поисков, разведки и разработки углеводородов и других полезных ископаемых.

Одной из таких технологий является тензорный вариант сейсмоэлектромагнитного метода (метод Т-СЭМ), предназначенный для определения объема нефтегазового флюида в залежи перед ее разбуриванием, а также мониторинга и оценки объемов нефтегазового флюида, оставшегося в эксплуатируемой скважине после ее интенсивной гидродинамической обработки.

В результате интенсивной промышленной эксплуатации нефтегазового пласта с применением различных способов увеличения нефтеотдачи в пласте происходят существенные изменения: возникает

вторичная пористость, перекрываются и частично разрушаются микро- и нанокапилляры, появляются зоны излишней обводнённости, зоны с водонефтяной эмульсией и т.д. В итоге существенно изменяются электрические и сейсмические характеристики и параметры нефтегазового пласта. По этим изменениям, если знать первоначальные параметры, полученные во время или перед разведочным бурением, можно вполне достоверно оценить объем нефтегазового флюида, имеющегося на данный момент в пласте.

Это может быть сделано давно применяемыми «стандартными» методами, но наиболее эффективным представляется метод Т-СЭМ, созданный на основе СЭМ-метода [2-4].

СЭМ-метод основан на вызванном сейсмoeлектромагнитном эффекте, возникающем непосредственно в нефтегазовом пласте при одновременном воздействии на него сейсмических (упругих) колебаний и электромагнитных полей с соответствующим образом подобранными спектральными и временными характеристиками. При этом в пласте протекают сложные электродинамические, механоэлектрические, электрокинетические, электрохимические и электрические поляризаационные процессы, которые возбуждают вокруг нефтегазового пласта вторичное электромагнитное поле специфической, весьма сложной формы.

Специалистами МГРИ-РГГРУ многократно практически доказано, что возникающий СЭМ-сигнал пропорционален мощности продуктивного нефтегазового пласта, объему находящейся в нем нефти, проницаемости и открытой пористости коллектора, давлению в пласте, степени вязкости, температуре нефти и наличия в ней растворенной воды и газа, усредненной напряженности поляризующего электрического поля в пласте и усредненной амплитуде упругой (сейсмической) волны, действующей в пласте. Если в пласте углеводороды отсутствуют (или их очень мало и они целиком вошли в состав водонефтяной эмульсии, образовавшейся в результате сверхинтенсивной эксплуатации скважины), то СЭМ-сигнал не возбуждается или имеет исчезающе малую величину.

Таким образом (рис. 1):

- интенсивность принимаемого СЭМ-сигнала пропорциональна реальной мощности изучаемого продуктивного нефтегазового пласта (т.е. объему содержащейся в нем не перемешанной с водой нефти).

- по времени достижения СЭМ-сигналом максимального значения можно достаточно точно определить глубину залегания этого пласта и тем точнее, чем точнее известна скорость распространения упругих колебаний в изучаемом геологическом разрезе.

Если нефтегазовая залежь (НГЗ) является многопластовой, то каждый отдельный продуктивный пласт отображается в СЭМ-сигнале в

виде появления характерных максимумов и минимумов. В частности, на рис. 2 приводится пример детального изучения 8-пластовой НГЗ.

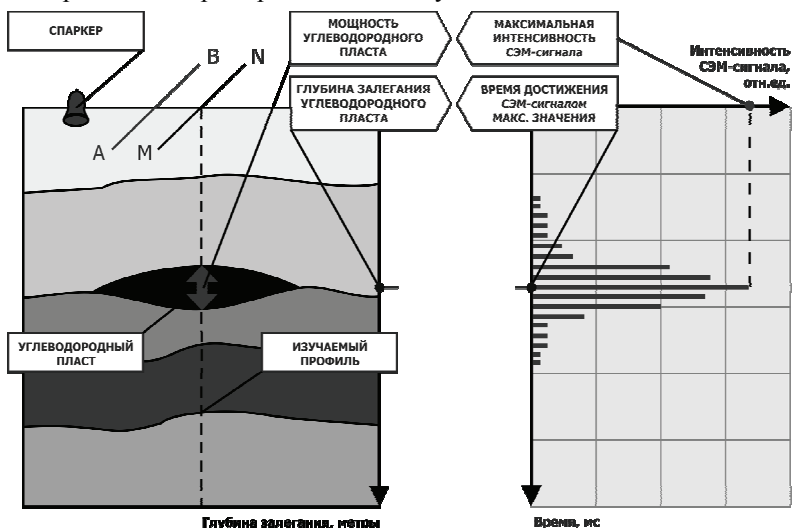


Рис. 1. Зависимость характеристик СЭМ-сигнала от мощности и глубины залегания изучаемого продуктивного пласта

На рис. 2 показано, что на глубине около 1100 м обнаруживаются три продуктивных пласта на временных задержках 495, 500 и 505 мс. Наибольшую мощность имеет 5-й пласт. 8-й пласт отмечается на временной задержке в 733 мс. на глубине около 1600 м

В Тензорном варианте СЭМ-метода, разработанного специально для экспертной оценки и мониторинга действующих нефтегазовых скважин [5, 6], используется более сложная технология - производятся одновременные многокомпонентные измерения многомерного вторичного СЭМ-поля, возбуждаемого одновременно несколькими источниками электромагнитного поля и несколькими источниками упругих колебаний (ИУК). В простейшем варианте, при горизонтально-слоистом геологическом разрезе и предполагаемом наличии в нем двух-трех продуктивных нефтегазовых пластов, измерения интенсивности СЭМ-сигнала проводятся путем возбуждения вторичного СЭМ-поля с помощью одной питающей линии АВ и одного ИУК - спаркера. СЭМ-сигналы принимаются с помощью 2 взаимно перпендикулярных приемных линий MN, перемещаемых по профилям с обеих сторон питающей линии АВ.

На рис. 3 приводится структурная схема-модель, поясняющая технологию проведения исследования 3-пластовой НГЗ.

По измеренным параметрам СЭМ-сигналов определяется их эффективная интенсивность и вычисляются главные значения тензоров вторичного СЭМ-поля, что позволяет определить пространственное местоположение изучаемых нефтегазовых пластов.

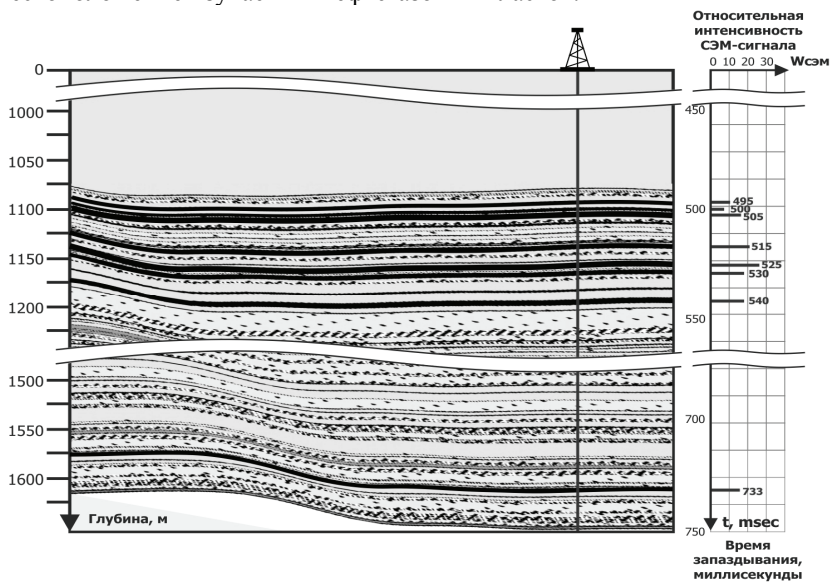


Рис. 2. Схематический разрез 8-пластовой НГЗ

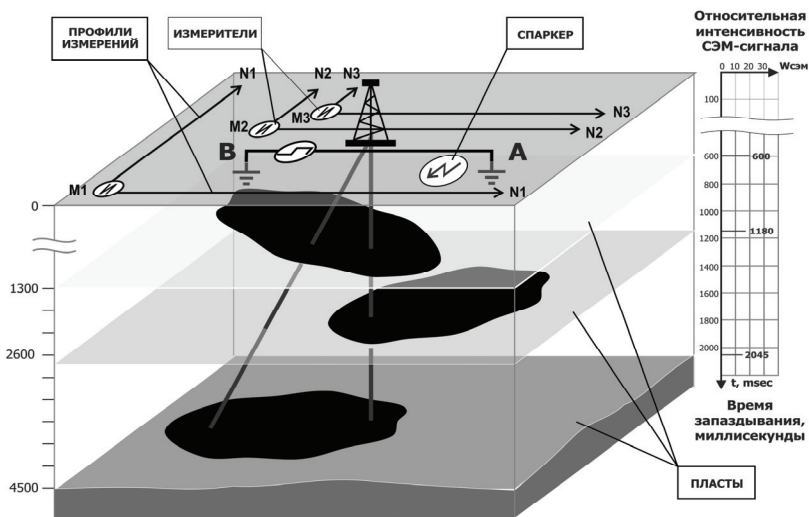


Рис. 3. Схема-модель исследования 3-пластовой НГЗ по методу Т-СЭМ

В случае многопластовой НГЗ с несколькими группами близко расположенных пластов малой мощности, например, на залежи, разрез которой показан на рис. 2, добыча может проводиться сразу из нескольких таких пластов. В этом случае имеет смысл измерять интегральную интенсивность СЭМ-сигнала, учитывающую объем нефтегазового флюида в целом, во всей группе близкорасположенных пластов.

Это существенно упрощает проведение мониторинга изменения объема нефтегазового флюида в залежи в процессе добычи. В частности на рис. 4 приводятся графики измерения интегральной интенсивности СЭМ-сигнала на профиле, проходящем вблизи устья скважины, ведущей добычу нефтегазового флюида из трех близко расположенных пластов, находящихся на глубине около 1100 м.

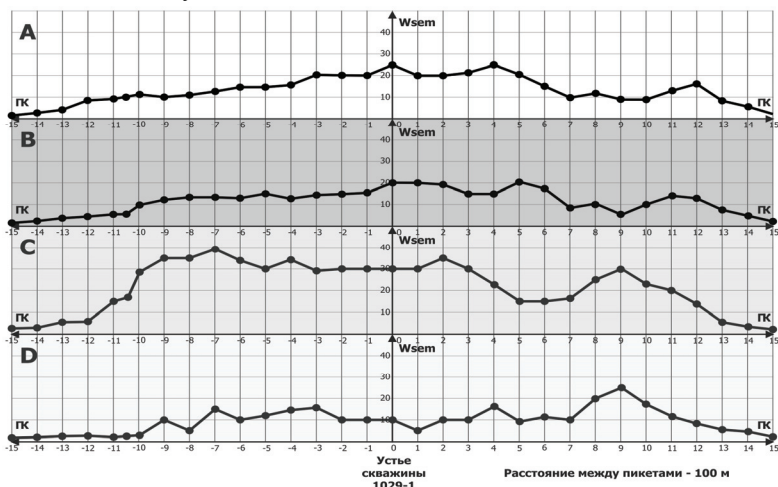


Рис. 4. Мониторинг СЭМ-сигналов на профиле «0» вблизи устья скважины

«А» - результаты измерения интегральной интенсивности СЭМ-сигналов, выполненные в начале добычи, которая составляла в среднем 5 м^3 в сутки.

«В» - результаты измерений интегральной интенсивности СЭМ-сигналов, полученные после года добычи, которая уменьшилась до 3 м^3 в сутки.

«С» - результаты измерений интегральной интенсивности СЭМ-сигналов, полученные через 3 месяца после проведения интенсивных гидродинамических воздействий на все три пласта, в результате которых нефтеотдача возросла до 10 м^3 в сутки, но в течение года уменьшилась до $1,5 \text{ м}^3$ в сутки, после чего скважина была выведена из эксплуатации.

«D» - результаты обнаружения остатка достаточно большого запаса нефтегазового флюида в восточной части залежи (зоне пикетов 7-11)

Результаты мониторинга были подтверждены бурением, после чего мониторинговая НГЗ эксплуатировалась еще 3 года, отдавая в среднем 3 м³ нефти в сутки.

Таким образом, метод Т-СЭМ позволяет определять остаточные запасы нефтегазового флюида и не выводить раньше времени из эксплуатации малодобетные скважины.

Для практического применения метода Т-СЭМ специалистами ЗАО «ИНГЕОТЕХ» разработан инновационный измерительный комплекс, позволяющий определять как начальные, так и остаточные запасы нефтегазового флюида в пластах. Комплекс конструктивно состоит из генераторного и измерительного блоков, каждый из которых содержит несколько отдельных специализированных субблоков, позволяющих гибко изменять конфигурацию комплекса в целом, оптимизируя его для решения той или иной конкретной разведочной задачи. Результаты измерений проходят экспресс-обработку и интерпретируются с помощью специального компьютерного обеспечения непосредственно в процессе проведения полевых исследований. Топографическая привязка результатов измерений осуществляется с помощью системы GPS.

Литература

1. Аксенов С.А., Филиппов С.А. «Рациональное освоение недр – основа концептуального подхода ЦКР-ТПИ Роснедр при рассмотрении и согласовании проектной документации на разработку месторождений ТПИ». «Рациональное освоение недр». М. №1. 2012г.
2. Бобровников Л.З., Брюховецкий О.С., Михайлов В.А. «Новый метод прямых поисков и разведки нефтегазовых месторождений». «Геология и разведка». М. №6. 2009 г.
3. Мельников В.П., Лисов В.И., Брюховецкий О.С., Бобровников Л.З. «Инновационная геофизика: бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых (часть 1)». «Инженер-нефтяник». М. №1. 2011г.
4. Мельников В.П., Лисов В.И., Брюховецкий О.С., Бобровников Л.З. «Инновационная геофизика: бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых (часть 2)». «Инженер-нефтяник». М. №2. 2011г.
5. Бобровников Л.З., Добрынин С.Д., Головин С.В., Мелаев Д.В. «Инновационная технология оценки и мониторинга запасов углеводородов в разрабатываемом нефтегазовом пласте». «Инженер-нефтяник». М. №2. 2012г.
6. Бобровников Л.З., Добрынин С.Д., Головин С.В., Мелаев Д.В. «Инновационная технология оценки и мониторинга запасов

углеводородов в разрабатываемом нефтегазовом пласте». «Рациональное освоение недр». М. №4. 2012г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРЫ ВОДО-НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И ОТДЕЛЬНЫХ КАПЕЛЬ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**Зиннатуллин Р.Р., Муллаянов А.И., Благодичиннов В.Н.
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия**

Эмульсия «вода в нефти» представляет собой гетерогенную систему, состоящую из очень мелких (до 50 мкм) капель воды, диспергированных в нефти. Каждая капля окружена так называемой бронирующей оболочкой толщиной 50-100 нм, состоящей из полярных компонентов нефти. Бронирующая оболочка препятствует коалесценции капель воды. Такие эмульсии фактически не могут быть разрушены обычными методами (центрифугирование, нагрев, использование деэмульгаторов).

Один из перспективных методов разрушения водонефтяных эмульсий – использование электромагнитных полей ВЧ и СВЧ диапазонов. Выбор вышеуказанных диапазонов обосновывается тем, что для водонефтяной эмульсии диэлектрические параметры, определяющие степень взаимодействия поля со средой, имеют две области дисперсии в ВЧ и СВЧ областях. Дисперсия в ВЧ области обусловлено поляризацией полярных компонентов нефти (асфальтенов, смол), а в СВЧ области – поляризацией молекул воды. Этот факт дает возможность использования энергии электромагнитного поля ВЧ и СВЧ диапазонов при разработке технологии обезвоживания водонефтяных эмульсий [1, 2].

Наличие первого максимума в частотном ходе $tg\delta$ позволяет прогнозировать резонансное взаимодействие объектов с ВЧ ЭМ полем. То есть при частоте электромагнитного поля, равной частоте, при которой $tg\delta$ имеет максимум, энергия поля наиболее интенсивно поглощается полярными компонентами среды, образующими бронирующие оболочки на поверхности капель воды. Следовательно, в ней возникнут интенсивные термо- и гидродинамические эффекты, и прочность молекулярной связи между дипольными молекулами оболочки снизится. Это, в конечном счете, ослабит прочность всей оболочки, что приведет к разрушению водонефтяной эмульсии [2].

Наличие второго максимума в частотном ходе $tg\delta$ позволяет прогнозировать резонансное взаимодействие эмульсии с СВЧ ЭМ полем. При СВЧ электромагнитном воздействии на водонефтяную эмульсию основная энергия поглощается водной фазой сосредоточенной в глобулах, покрытых бронирующей оболочкой. В результате в глобулах воды возникают объемные источники тепла, за счет чего происходит их интенсивный нагрев, приводящий к разрушению бронирующей оболочки.

Для исследования эволюции микроструктуры водонефтяных

эмульсий при воздействии ВЧ и СВЧ электромагнитных полей были разработаны лабораторные стенды. На рис. 1 представлены блок-схемы лабораторных стендов для исследования ВЧ (а) и СВЧ (б) электромагнитного воздействия на микроструктуру водонефтяных эмульсий в статическом и динамическом режимах.

В ВЧ диапазоне электромагнитное поле задается генератором AG 1021 (T&C Power Conversion) с диапазоном частот $0,1 \div 20$ МГц и варьируемой мощностью до 300 Вт. От генератора через радиочастотный кабель RG6 на две параллельно расположенные медные проводника подается ВЧ электромагнитное поле. Для контроля подаваемого напряжения в линию подключается осциллограф (рис. 1а). Мощность и частота поля регулируется в зависимости от диэлектрических свойств водонефтяной эмульсии.

СВЧ электромагнитное поле (рис. 1б) задается генератором ZX95-3360-S+ с диапазоном частот $2120 \div 3360$ МГц через усилитель ZRL-3500+ (Mini-Circuits). Для питания СВЧ генератора и усилителя используются источники питания постоянного тока GWINSTEK GPS-3030DD. От усилителя через радиочастотный кабель СВЧ поле подается на две параллельно расположенные медные проводника, представляемые в электрическом отношении электрический конденсатор [3].

В обоих стендах водонефтяная эмульсия подается в микроканал, расположенный между параллельными проводниками посредством шприцевого насоса (Cole Parmer). Динамика изменения микроструктуры водонефтяной эмульсии регистрируется высокоскоростной камерой Photron FASTCAM SA5 через микроскоп Olympus IX71.

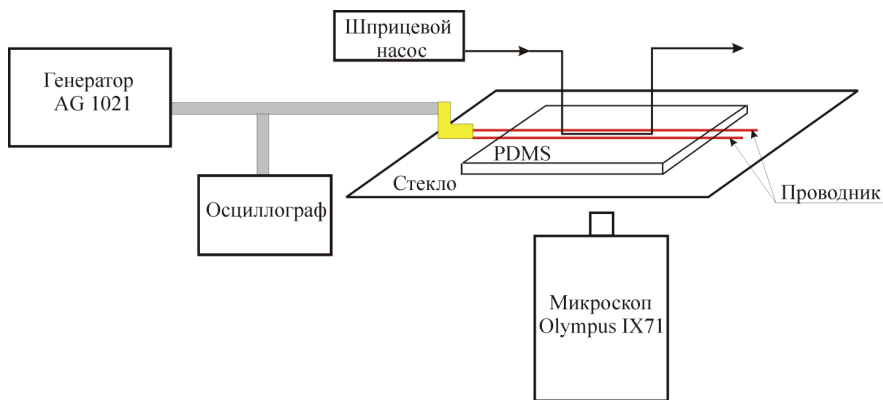


Рис. 1а. Блок-схема лабораторного стенда для исследования воздействия ВЧ электромагнитного поля на микроструктуру водонефтяных эмульсий

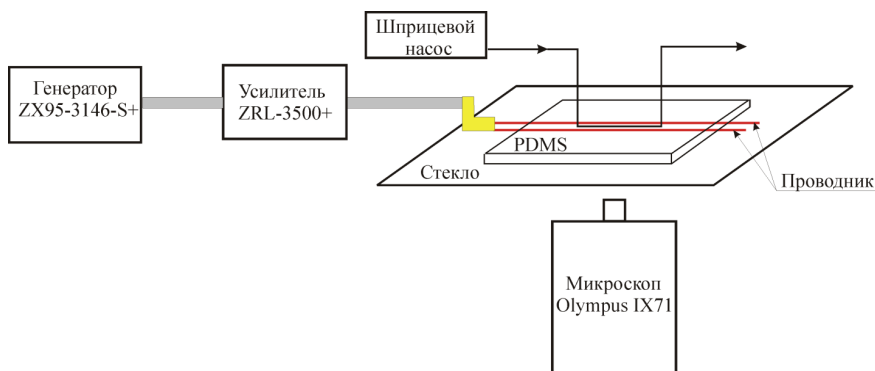


Рис. 16. Блок-схема лабораторного стенда для исследования воздействия СВЧ электромагнитного поля на микроструктуру водонефтяных эмульсий

Результаты исследований воздействия ВЧ и СВЧ электромагнитных полей на структуру водонефтяных эмульсий

Результаты исследований воздействия ВЧ электромагнитного поля на исследуемые образцы водонефтяных эмульсий показали, что под действием ВЧ электромагнитного поля образуются агрегаты капель в виде цепочек, вытянутых преимущественно вдоль направления силовых линий электрического поля. На рис. 2. представлены кадры до воздействия ВЧ электромагнитным полем и после воздействия ВЧ электромагнитным полем. Параметры воздействия (частота излучения, мощность излучения, время воздействия) подбирались для каждого образца эмульсии индивидуально в зависимости от их диэлектрических свойств. Как видно, под действием ВЧ электромагнитного поля образуются агрегаты капель в виде цепочек, вытянутых преимущественно вдоль направления силовых линий электрического поля. Наблюдается также и слияние капель. Образование коагуляционных цепочек обусловлено поляризацией двойного электрического слоя (тонкий слой, сформированный двумя пространственно разделенными слоями электрических зарядов разного знака) и возникновением в результате этого индуцированного дипольного момента капли. Формирование индуцированного дипольного момента в водонефтяных эмульсиях типа «вода в нефти» осуществляется следующим образом. После приложения поля свободные положительные заряды в дисперсных частицах воды движутся по полю, отрицательные – в противоположном направлении и, естественно, задерживаются у поверхности раздела фаз. Индуцированный дипольный момент обуславливает диполь-дипольное притяжение капель воды, вследствие чего образуются коагуляционные цепочки. Сближение капель воды под

действием диполь-дипольного притяжения происходит до тех пор, пока на некотором расстоянии силы притяжения не будут уравновешены силами отталкивания двойного электрического слоя капли. При сильных напряженностях электромагнитного поля преодолевается энергетический барьер сил отталкивания двойных электрических слоев и происходит слияние капель воды. Критическая напряженность электромагнитного поля для различных исследуемых образцов различна и имеет порядок 10^5 В/м.

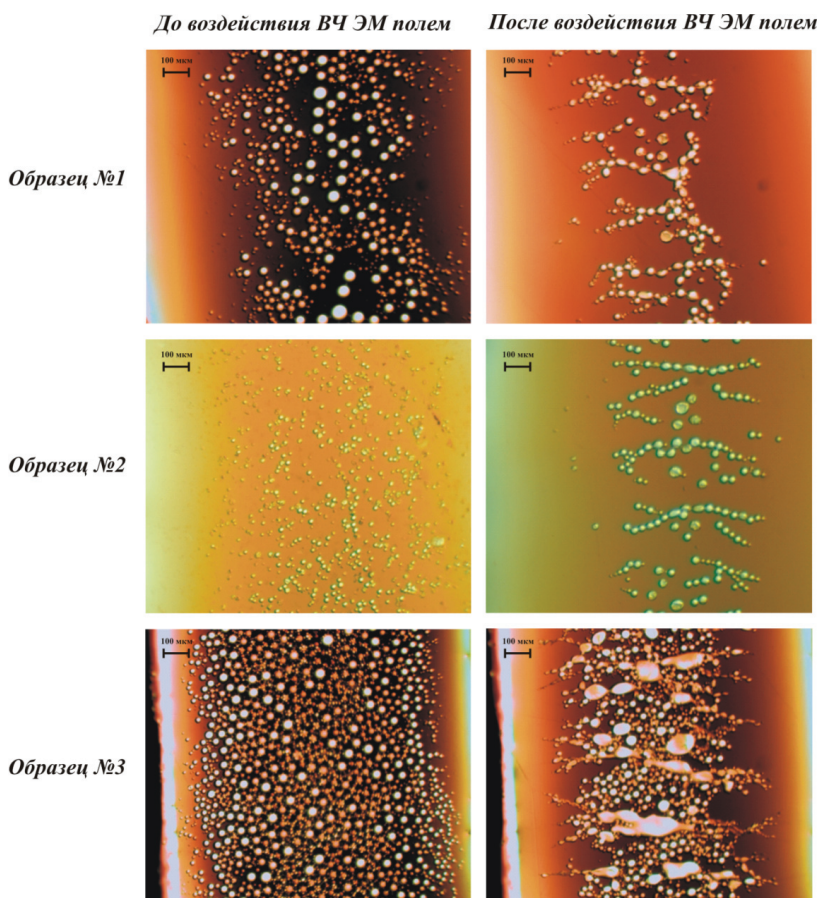


Рис. 2. Фотографии микроструктуры водонефтяной эмульсии до и после воздействия ВЧ ЭМ полем

Результаты исследований воздействия СВЧ электромагнитного поля на микроструктуру различных образцов эмульсий показали, что капли воды при воздействии СВЧ электромагнитного поля укрупняются и сливаются. На рис. 3-4 проиллюстрированы кадры из видео фильма.

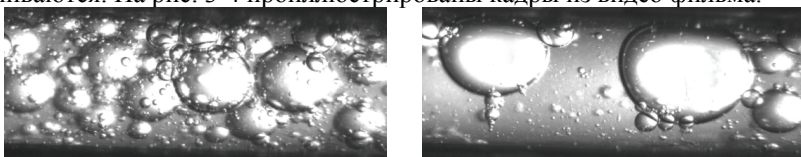


Рис. 3. Фотографии микроструктуры Образца №4 водонефтяной эмульсии до и после воздействия СВЧ ЭМ полем

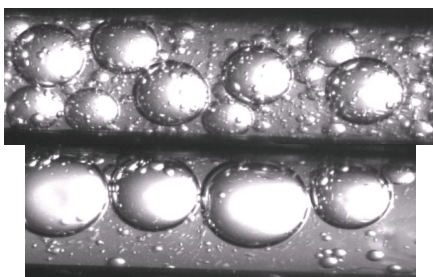


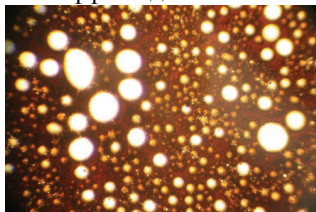
Рис. 4. Фотографии микроструктуры Образца №6 водонефтяной эмульсии до и после воздействия СВЧ ЭМ полем

Параметры воздействия (мощность излучения, время воздействия) подбирались для каждого образца эмульсии индивидуально в зависимости от их диэлектрических свойств.

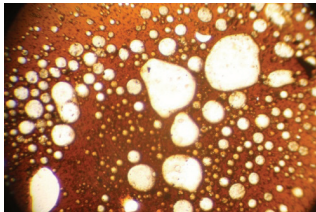
Эффективность расслоения эмульсий в СВЧ ЭМ поле зависит от толщины бронирующей оболочки. При СВЧ электромагнитном воздействии на водонефтяную эмульсию основная энергия поглощается водной фазой сосредоточенной в глобулах, покрытых бронирующей оболочкой. В результате в глобулах воды возникают объемные источники тепла, за счет чего происходит их интенсивный нагрев, приводящий к разрушению бронирующей оболочки. Однако в зависимости от прочности и толщины бронирующей оболочки температура, при которой происходит разрыв оболочки, может быть разной. Для разрыва тонких оболочек достаточны небольшие температуры. При значительной прочности и толщине оболочки температура разрыва и давление внутри оболочки могут быть настолько большими, что при разрыве оболочки происходит локальный разрыв оболочки и происходит «впрыскивание» глобул воды в нефтяную фазу. В результате образуется мелкодисперсная стойкая среда [4].

Для предотвращения локальных разрывов капель дальнейшие исследования проводились в динамическом режиме. На рис. 5. сопоставлены фотографии микроструктуры образца №6 после обработки СВЧ ЭМ полем в динамическом режиме при различных скоростях потока.

При обработке СВЧ ЭМП в динамическом режиме при скорости потока 2 см/с наблюдается положительный эффект действия поля, то есть мелкодиспергированные глобулы воды слились в более крупные глобулы. После обработки при скорости потока 4 см/с наблюдается усиление эффекта действия поля.



после СВЧ в дин. режиме (2 см/с)



после СВЧ в дин. режиме (4 см/с)

Рис. 5. Фотографии микроструктур образца №6 после обработки СВЧ ЭМ полем в динамическом режиме

Заключение

Таким образом, полученные результаты показывают, что расслоение водонефтяных эмульсий происходит эффективнее при ВЧ электромагнитном воздействии в случае нахождения частоты воздействия в ВЧ области дисперсии диэлектрических параметров объекта, в противном случае наиболее эффективным является воздействие СВЧ электромагнитным полем. Однако при воздействии на объекты СВЧ электромагнитным полем эффект зависит от толщины бронирующей оболочки вокруг глобул воды, при определенной толщине оболочки наблюдается распыскивание глобул воды.

При воздействии на исследуемые образцы СВЧ электромагнитным полем в динамическом режиме в отличие от статического режима наблюдается увеличения размера капель воды их слияние. Эффективность действия СВЧ ЭМ поля в динамическом режиме зависит от скорости потока. При увеличении скорости потока увеличивается эффективность действия поля.

Работа выполнена при поддержке грантов Министерства образования и науки России (11.G34.31.0040 и МК-3070.2011.8) и грантов РФФИ № 11-01-97013, № 12-08-31422 мол. а.

Литература

1. Саяхов Ф.Л., Ковалева Л.А. и др. Электрофизика нефтегазовых систем. Уфа, БашГУ, 2003. –188с.

2. Ковалева Л.А., Миннигалимов Р.З., Зиннатуллин Р.Р. К исследованию диэлектрических и реологических характеристик водонефтяных эмульсий //Теплофизика высоких температур, 2008.Т.46. №5. -С. 792-795.
3. David Issadore, Katherine J. Humphry, Keith A. Brown, Lori Sandberg, David A. Weitzab and Robert M. Westervelt. Microwave dielectric heating of drops in microfluidic devices. DOI: 10.1039/b822357b. Lab Chip, 2009, 9, 1701–1706.
4. Kovaleva L.A.,Zinnatullin R.R., Minnigalimov R.Z. Destruction of Water-in-Oil Emulsions in Radio-Frequency and Microwave Electromagnetic Field. Energy Fuels, 2011, 25 (8), pp 3731–3738.

© Зиннатуллин Р.Р., Муллаянов А.И., Благочиннов В.Н., 2012 г.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МЕЖФАЗНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Кашапова Л.В.

БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Во влажной окружающей среде под влиянием сил межмолекулярного притяжения на поверхности твёрдого тела происходит адсорбция, в результате которой образуется тонкий граничный слой жидкости с изменённой структурой [1].

Адсорбцией называется процесс самопроизвольного изменения концентрации какого-либо вещества у поверхности раздела двух фаз.

Кроме существенной зависимости от температуры параметры адсорбированной жидкости зависят от толщины слоя.

Известно, что диэлектрические свойства жидкости в граничных слоях отличаются от диэлектрических свойств объёмной жидкости [4]. Сведения об уменьшении значения диэлектрической проницаемости жидкости в граничных слоях, как правило, получены на сравнительно низких фиксированных частотах. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости адсорбированной жидкости практически не исследована. Это объясняется отсутствием методов измерения диэлектрических свойств жидкости тонких слоёв, прилегающих к поверхности твёрдого тела. Обычные методы измерения диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь не эффективны [2].

И.Г. Симаковым и Р.И. Гомбоевым предложен феноменологический подход для оценки параметров дипольной релаксации в адсорбированной жидкости. При этом процесс релаксации диэлектрической проницаемости в слое ассоциированной (структурированной) жидкости рассматривается как переход из упорядоченного состояния в равновесное [1].

При этом полагают, что поскольку уравнение Дебая хорошо описывает частотную зависимость диэлектрической проницаемости в твёрдом и жидком состояниях, то оно должно быть пригодно и для описания дисперсии диэлектрической проницаемости адсорбированной жидкости [3].

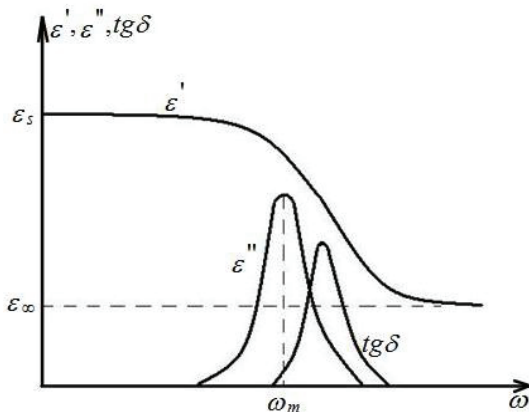


Рис. 1. Частотные зависимости ϵ' , ϵ'' , $\text{tg}\delta$ для диэлектрика с релаксационной поляризацией

Для экспериментального исследования дисперсии диэлектрической проницаемости в качестве адсорбирующей поверхности используется полированная поверхность латунной подложки [1]. Подложка помещается в измерительную ячейку, в которой поддерживается заданная температура. Выбор материала подложки продиктован высокой чувствительностью к изменениям электрических граничных условий на поверхности и малыми потерями при распространении электромагнитных волн [3].



Рис. 2. Конденсатор цилиндрического типа и измеритель добротности (куметр)

Процедура определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь заключается в измерении величин ёмкостей и добротностей конденсаторов, которые подключаются в измерительный контур прибора, представляющего последовательный колебательный контур с измерительным конденсатором. Между обкладками измерительного

конденсатора помещается исследуемая среда [2]. Измерения проводятся резонансным методом (методом куметра) на фиксированных частотах.

Погрешность измерения куметром составляет 5-10% для ϵ' и 10-15% для $\text{tg}\delta$.

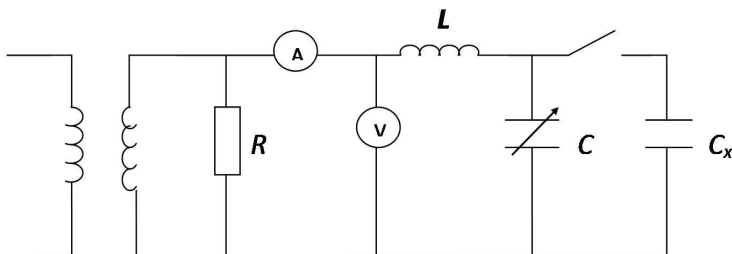


Рис. 3. Колебательный контур измерителя добротности

При помощи измерителя добротности были проведены измерения ёмкости и добротности контура до и после подключения измерительного конденсатора, а также ёмкости и добротности эталонных жидкостей в диапазоне частот 30-300МГц. Рассмотрим полученные результаты.

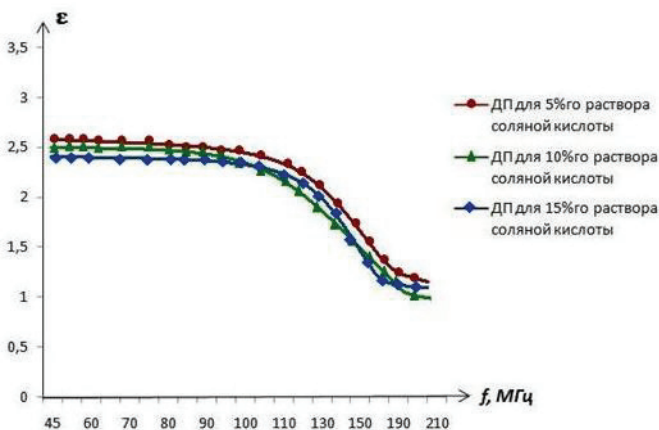


Рис. 4. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости для водных растворов соляной кислоты

Наблюдается уменьшение значения диэлектрической проницаемости при увеличении концентрации соляной кислоты в водном растворе.

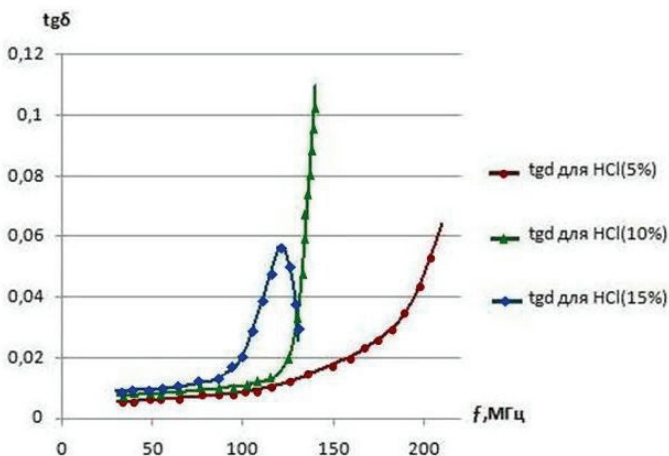


Рис. 5. Частотная зависимость тангенса угла потерь для водных растворов соляной кислоты

При увеличении концентрации соляной кислоты в водном растворе кривые тангенса угла потерь смещаются влево, наблюдается уменьшение максимумов тангенса угла потерь с уменьшением концентрации воды в растворах в сторону более низких частот электрического поля.

В этих эффектах и проявляется влияние межфазных границ на параметры диэлектрической релаксации: концентрация соляной кислоты в растворе влияет на свойства адсорбционного слоя (толщина). Наличие межфазных границ способствует изменению диэлектрических параметров в водных растворах соляной кислоты.

Литература

[1] Симаков И.Г., Гомбоев Р.И. Влияние межфазных границ на параметры диэлектрической релаксации в адсорбированной воде. // Труды БШФФ / Иркутск.-2003. – С. 191-193.

[2] Фатыхов М.А. Высокочастотная спектроскопия полярных диэлектриков. Методические указания к комплексной лабораторной работе. - Уфа: РИЦ Башгос университета, 1988. – 39с.

[3] Симаков И.Г., Доржин Г.Б. Поверхностные акустические волны в многофазной системе // Акустика неоднородных сред / Новосибирск: Институт гидродинамики СО РАН.-1999. - Вып. 115.- С. 132–135.

[4] Гомбоев Р.И., Симаков И.Г. // Низкочастотная диэлектрическая проницаемость воды в адсорбционном слое // Труды БШФФ / Иркутск: Институт солнечно-земной физики СО РАН. -1999. -Т.2. - С.361-365.

**АВТОРЕЗОНАНСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИКОЙ
ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В СЛАБЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ ПРИ
ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ I РОДА**Каюмов И.Р.¹, Шамсутдинов М.А.², Харисов А.Т.², Калякин Л.А.³¹ ИФМК УНЦ РАН, г.Уфа, Россия² Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия³ ИМВЦ УНЦ РАН, г.Уфа, Россия

1. Введение. В настоящее время уделяется большое внимание управлению нелинейной динамикой различных систем с помощью периодических воздействий. Известно, что генерация нелинейных колебаний в колебательной системе может происходить благодаря эффекту авторезонанса [1]. Одним из удобных модельных объектов для исследования таких явлений служат магнетики, в частности слабые ферромагнетики.

В ромбическом антиферромагнетике при температуре Морина (T_M) могут иметь место спонтанные фазовые переходы первого рода между слабоферромагнитной $G_x F_z$ и антиферромагнитной G_y фазами [2]. Области существования фаз по температуре перекрываются. Спонтанный фазовый переход первого рода между фазами G_y и $G_x F_z$ имеет место в $DyFeO_3$ при температуре Морина, то есть при $T_p = T_M$ [2]. В магнитном поле $\mathbf{H} \parallel \mathbf{b}$ -оси кристалла температура перехода смещается, и переход происходит при температур $T > T_M$. В области сосуществования фаз вектор антиферромагнетизма \mathbf{l} в доменных границах поворачивается в (ab) -плоскости кристалла.

Рассмотрим 180-градусную доменную границу, разделяющую антиферромагнитные домены в фазе G_y , в области температур $T_1 < T < T_2$ (температуры T_1 и T_2 , определяют границы существования метастабильных фаз). В этом случае 180-градусная доменная стенка представляет собой зародыш метастабильной фазы. Такую 180-градусную доменную границу можно рассматривать как двухсолитонное образование, состоящее из двух сильно взаимодействующих 90-градусных межфазных стенок разной полярности [3]. При этом она обладает внутренними степенями свободы, связанными с возможностью движения образующих ее 90-градусных межфазных стенок относительно центра системы. Такая мода колебаний соответствует пульсации толщины 180-градусной доменной границы и ее можно назвать пульсационной модой колебаний 180-градусной доменной стенки с частотой [3]

$$\omega_{180} = \gamma \left[4H_E H_g - (\alpha H_E / 2)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где H_E - обменное поле; $H_g = \chi_{\perp} (H_{cr}^2 - H^2) / (4M_0 |K_2|)$, χ_{\perp} - антиферромагнитная восприимчивость, M_0 - намагниченность насыщения, $H_{cr} = \{2(K_{ab} + |K_2|) / \chi_{\perp}\}^{1/2}$, K_{ab} - константа анизотропии в (ab) -плоскости, H - магнитного поле, параллельное \mathbf{b} -оси кристалла; α - параметр затухания.

Данная работа посвящена исследованию условий управляемой авторезонансной генерации нелинейных пульсационных колебаний 180-градусной доменной границы в магнитном поле $\mathbf{H} \parallel \mathbf{b}$ -оси кристалла. В двухсолитонной модели зародыша новой фазы [4] в антиферромагнетике со слабым ферромагнетизмом.

2.1. Постановка задачи. Уравнение движения. Рассмотрим массивную пластину редкоземельного ортоферрита со свободной поверхностью, перпендикулярной \mathbf{c} -оси кристалла. Оси декартовой системы координат (x, y, z) считаем совпадающими с направлениями кристаллографических осей (a, b, c) соответственно. Динамику локализованных магнитных неоднородностей в ромбических антиферромагнетиках можно описать исходя из возмущенного уравнения син-Гордона [3]

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{1}{4} \sin(4\theta) + \frac{1}{2} g \sin(2\theta) + \beta \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Здесь θ - угол между вектором \mathbf{l} и \mathbf{b} -осью кристалла в (ab) -плоскости; y - безразмерная (нормированная на толщину 90-градусной доменной стенки) координата; t, β - безразмерные время и параметр затухания соответственно.

$$g = \frac{\chi_{\perp}}{2|K_2|} (H_{cr}^2 - H^2). \quad (3)$$

Уравнение (2) имеет решение в виде солитон-солитонной пары:

$$\text{ctg } \theta = \sqrt{\frac{\Omega + \varepsilon^2}{\Omega - 1}} \cdot \text{sh}(x\sqrt{1 - \Omega}), \quad (-\infty < \Omega < -\varepsilon^2). \quad (4)$$

Зависимость параметров Ω и ε от времени t определяется из системы [3]:

$$\begin{cases} \Omega_t = \frac{2\varepsilon(\beta\varepsilon - g)(J(a) - a)}{a - 1}, \\ \varepsilon_t = \Omega + \varepsilon^2 + g - \beta\varepsilon, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$J(a) = \sqrt{\frac{a}{a-1}} \operatorname{Arth} \sqrt{\frac{a}{a-1}}, \quad a = \frac{\Omega - 1}{\Omega + \varepsilon^2}.$$

При $g \neq 0$ и $H = \text{const}$ уравнения (4) и (5) описывают затухающие колебания двух 90-градусных межфазных стенок относительно центра образованной ими 180-градусной доменной границы [3].

2.2. Пульсационные колебания 180-градусной доменной границы в магнитном поле. Рассмотрим вынужденные пульсационные колебания 180-градусной доменной границы в магнитном поле

$$H = H_0 - H_1 \sin \Phi, \quad (6)$$

где $H_1 \ll H_0 < H_{\text{cr}}$; $\Phi = \Phi(t)$ - фаза, $d\Phi/dt$ - частота переменного поля.

В этом случае параметр g можно представить в виде

$$g = g_0 + g_1 \sin \Phi(t). \quad (7)$$

В (7):

$$g_0 = \frac{\chi_{\perp}}{2|K_2|} (H_{\text{cr}}^2 - H_0^2), \quad g_1 = \frac{\chi_{\perp} H_0}{|K_2|} H_1, \quad (8)$$

где $g_1 \ll g_0$. Частоту переменного поля считаем медленно меняющейся функцией времени

$$\Phi_t = 1 + \frac{1}{2} g_0 - f(t). \quad (9)$$

В дальнейшем рассмотрим случай, когда

$$|\Omega + \varepsilon^2| \ll 1, \quad (\varepsilon^2 \ll 1, \quad |\Omega| \ll 1). \quad (10)$$

Полагая

$$\Omega = -g_1^{1/3} \rho \sin \Psi - g_0, \quad \varepsilon = \frac{g_1^{1/3} \rho}{\sqrt{2g_0}} \cos \Psi, \quad (11)$$

и, применяя классическую процедуру усреднения [5], получаем уравнения главного резонанса:

$$\begin{cases} \frac{d\rho}{d\tau} = -\frac{1}{2} \sin \Psi - \frac{\lambda}{2} g_1^{-2/3} \rho, \\ \frac{d\Psi}{d\tau} = -\frac{1}{2\rho} \cos \Psi - \frac{3\rho^2}{16g_0} + g_1^{-2/3} f(g_1^{-2/3} \cdot \tau). \end{cases} \quad (12)$$

В (12) сделаны замены: $\tau = t \cdot g_1^{2/3}$; $\lambda = \beta / \sqrt{2g_0}$; $\Psi = \psi - \Phi$ - разность фаз колебаний параметров Ω и ε и переменного поля H . Условия резонансного захвата, исходя из (12) при линейной зависимости $f(t) = \nu t$ хорошо исследованы [3, 6]. В этом случае для двухпараметрического семейства решений при $\tau \rightarrow \infty$ и нулевой диссипации имеем

$$\rho(\tau) \approx \sqrt{2\nu\tau/g_1^{4/3}}. \quad (13)$$

При наличии малого затухания ($\lambda/g_1^{2/3} \ll 1$) амплитуда колебаний довольно долго растёт, а затем на далеких временах $\tau_c \gg 1$ происходит ее срыв. Применительно к исходной задаче, определяемой уравнениями (4) и (5), решения модельной задачи (12) справедливы для $\tau < \tau_c$, то есть только для самого начального этапа захвата в резонанс. Однако это оказывается достаточным для установления факта подстройки частоты пульсационных нелинейных колебаний 180-градусной доменной границы под медленно меняющуюся частоту переменного поля. Определение условий захвата в резонанс, исходя из анализа модельных уравнений авторезонанса (12) позволяет провести численный анализ полных уравнений (4) и (5) и описать авторезонансную генерацию нелинейных пульсационных колебаний 180-градусной стенки.

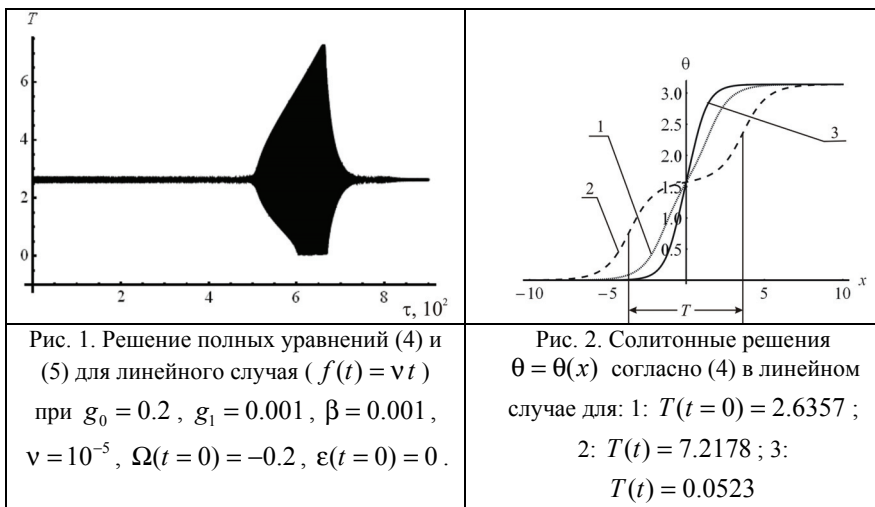
Генерацию таких колебаний удобно рассмотреть, наблюдая за изменением расстояния T между двумя сильновзаимодействующими 90-градусными межфазными стенками в 180-градусной доменной границе, определяемого как расстояние между наиболее удаленными точками перегиба на кривой $\theta(x)$:

$$T = \frac{2}{\sqrt{1-\Omega}} \operatorname{Arch} \sqrt{-\frac{1+\varepsilon^2}{\Omega+\varepsilon^2}} \quad (14)$$

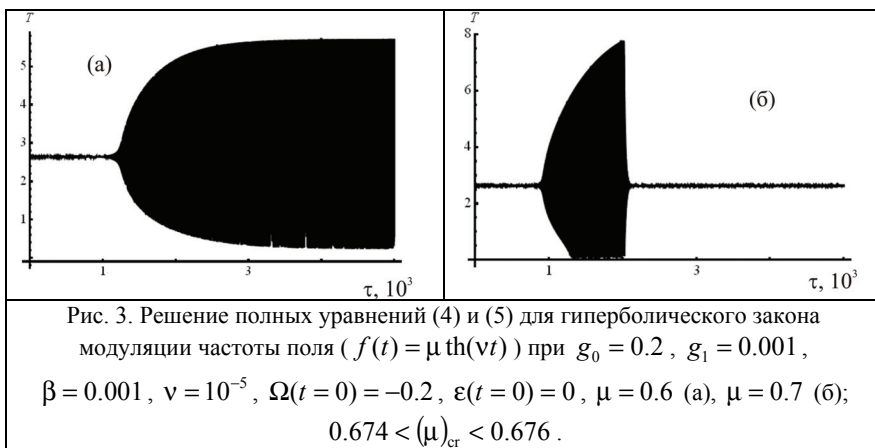
где параметры $\Omega = \Omega(t)$ и $\varepsilon = \varepsilon(t)$ определяются теперь из системы (5).

Далее рассмотрим три различных закона модуляции частоты поля накачки: 1) $f(t) = \nu t$; 2) $f(t) = \mu \operatorname{th}(\nu t)$; 3) $f(t) = \mu \sin(\nu t)$. Здесь $\nu, \mu = \text{const}$.

В случае линейного закона изменения частоты накачки Φ_t ($f(t) = \nu t$), как показывают численные расчеты, величина T осциллирует со временем, причем амплитуда пульсационных колебаний нарастает и в какой-то момент времени срывается на первоначальное значение (рис. 1). На рис. 2 показан профиль решения $\theta = \theta(x)$ согласно (4) для трех случаев: 1 - для начальных значений параметров $\Omega(t=0)$ и $\varepsilon(t=0)$; 2 и 3 - для параметров Ω и ε , соответствующих значению T на рис. 1, близкому к максимальному и минимальному соответственно.



Рассмотрим теперь модуляцию частоты резонансного переменного поля по закону гиперболического тангенса: $f(t) = \mu \operatorname{th}(vt)$. Анализ показывает, что в этом случае при данном значении остальных параметров системы (5) для параметра μ существует некоторое критическое значение $(\mu)_{\text{cr}}$. В случае, когда $\mu < (\mu)_{\text{cr}}$, система переходит в высокоамплитудный стационарный режим пульсационных колебаний ширины 180-градусной доменной границы (рис. 3а). Если же $\mu > (\mu)_{\text{cr}}$ то амплитуда колебаний величины T нарастает со временем вплоть, до того момента, когда происходит ее срыв (рис. 3б).



В случае гармонического закона изменения частоты поля накачки ($f(t) = \mu \sin(\nu t)$) результаты численного решения представлены на рис. 4. Здесь также существует критическое значение параметра μ . При $\mu < (\mu)_{cr}$ происходит периодическое плавное нарастание и убывание амплитуды колебаний ширины T 180-градусной доменной границы со временем (рис. 4а). При $\mu > (\mu)_{cr}$ амплитуда колебаний величины T также периодически нарастает и убывает со временем, но при этом, периодически наблюдается ее срыв (рис. 4б).

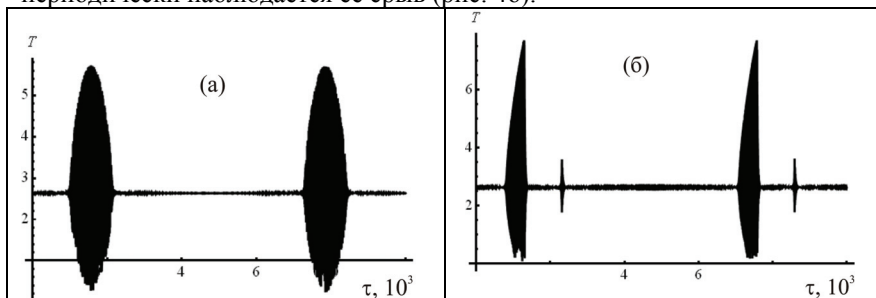


Рис. 4. Решение полных уравнений (4) и (5) для гармонического случая ($f(t) = \mu \sin(\nu t)$) при $g_0 = 0.2$, $g_1 = 0.001$, $\beta = 0.001$, $\nu = 10^{-5}$, $\Omega(t = 0) = -0.2$, $\varepsilon(t = 0) = 0$, $\mu = 0.6$ (а), $\mu = 0.7$ (б); $0.674 < (\mu)_{cr} < 0.676$.

Следует отметить, что как для гиперболического случая, так и для гармонического случая максимальное (T_{∞}^{\max}) и минимальное (T_{∞}^{\min}) значение ширины 180-градусной доменной границы T , принимаемое системой при $t \rightarrow \infty$ (значение в установившемся режиме), а также максимальное (T^{\max}) и минимальное (T^{\min}) значение T , принимаемое системой за все время колебаний (при $t \in (0, \infty)$) существенным образом зависят от величины μ (рис. 5).

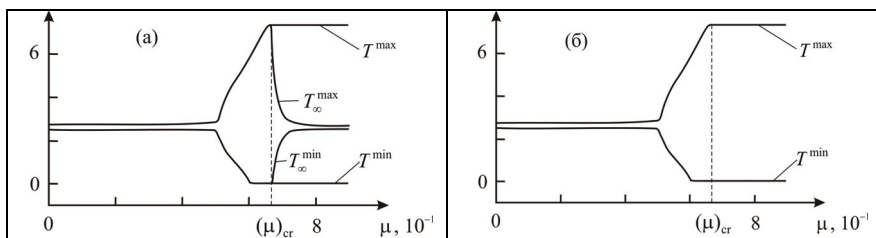


Рис. 5. Зависимости характерных расстояний 180-градусной доменной границы от параметра μ при $g_0 = 0.2$, $g_1 = 0.001$, $\beta = 0.001$, $\nu = 10^{-5}$,

$\Omega(t=0) = -0.2$, $\varepsilon(t=0) = 0$ для гиперболического случая (а);
гармонического случая (б).

3. Заключение. Таким образом, найденные решения показывают существование высокоамплитудных нелинейных пульсационных колебаний двух сильно взаимодействующих 90-градусных межфазных стенок относительно центра образованной ими 180-градусной доменной границы.

При модуляции частоты поля накачки по линейному закону, как показано в данной главе, амплитуда пульсационных колебаний 180-градусной доменной стенки возрастает со временем вплоть до того момента, когда происходит ее срыв. При изменении частоты поля накачки по закону гиперболического тангенса колебания двух 90-градусных межфазных стенок относительно центра образованной ими 180-градусной доменной границы можно вывести на высокоамплитудный стационарный режим. В случае гармонической модуляции частоты поля накачки происходит периодическое нарастание и последующий срыв амплитуды колебаний ширины 180-градусной доменной границы.

Работа поддержана грантами РФФИ № 10-01-00186, 11-02-97003.

Литература

- [1] Калякин Л.А. Асимптотический анализ моделей авторезонанса // УМН. 2008. Т. 63, №5. С. 3-72.
- [2] Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках: монография. М.: Наука, 1979. 318 с.
- [3] Шамсутдинов М.А., Ломакина И.Ю., Назаров В.Н., Харисов А.Т., Шамсутдинов Д.М. Ферро- и антиферромагнитодинамика. Нелинейные колебания, волны и солитоны. М.: Наука, 2009. 456 с.
- [4] Шамсутдинов М.А., Танкеев А.П., Каюмов И.Р. Динамика зародыша перемагничивания в ромбических антиферромагнетиках со слабым ферромагнетизмом // Физика металлов и металловедение. 2011. Т. 11, №1. С. 27-39.
- [5] Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974. 504 с.
- [6] Калякин Л.А., Шамсутдинов М.А. Авторезонансные асимптотики в осциллирующей системе со слабой диссипацией // ТМФ. 2009. Т. 160, №1. С. 102-111.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СОЛИТОННОЙ РЕШЕТКИ В ПОПЕРЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Кишине Дж, Овчинников А.С., Бострем И.Г., Синицын Вл.Е.

Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

Не смотря на то, что структуры с геликоидальным упорядочением были открыты более 50 лет назад, интерес к ним не ослабевает, а в последние годы наметилась тенденция по его увеличению. Причина роста интереса заключается не только в росте технической возможности по их синтезу, но и благодаря обнаруженным эффектам, которые расширяют область их применения.

Киральными гелимагнетиками называю квазиодномерные соединения, в которых структурная киральность допускает существование антисимметричного обменного взаимодействия Дзялошинского–Мории (ДМ), приводящего к формированию длиннопериодической гелимагнитной структуры, период которой может принимать несоизмеримые значения по сравнению с периодом кристаллической решетки [1].

Если поместить такую систему в магнитное поле, приложенное перпендикулярно оси киральности, геликоидальная структура искажается, что приводит к формированию периодической структуры, получившей название солитонной решётки [2].

Примером соединения, в котором может сформироваться солитонная решетка, является $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$. Его магнитная структура была исследована в экспериментах по малоугловому рассеянию нейтронов [3]. Было показано, что ниже температуры Кюри $T_C=127\text{ K}$ в $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ имеется геликоидальное магнитное упорядочение с периодом 480 \AA вдоль кристаллографической оси c . Исследование зависимости намагниченности от магнитного поля, приложенного перпендикулярно геликоидальной оси, показало, что, по-видимому, имеет место НС-С переход при $H_c \approx 1\text{ кЭ}$ [4]. Недавно были выполнены эксперименты по прямому наблюдению МСР в $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ с помощью лоренцевской просвечивающей электронной микроскопии (LTEM) и малоугловому рассеянию электронов (SAED) [5].

Солитонная решетка фактически представляет собой последовательность доменов однородной фазы, разделённых последовательностью 360° доменных стенок. Пространственный период солитонной решетки определяется приложенным магнитным полем

$$L(H) = \frac{8K(\kappa)E(\kappa)}{\pi Q_0}, \quad (1)$$

где $K(\kappa)$ ($E(\kappa)$) обозначает, соответственно полный эллиптический интеграл первого (второго) рода с эллиптическим модулем κ ($0 \leq \kappa \leq 1$). Значения эллиптического модуля находятся из решения уравнения

$$\frac{\kappa}{E(\kappa)} = \sqrt{\frac{H}{H_c}} \quad (2)$$

С ростом магнитного поля H от нуля до критического значения

$$H_c = JS \left(\frac{\pi^2 a_0}{2 L_0} \right)^2, \quad (3)$$

пространственный период решетки изменяется от L_0 до бесконечности (при этом κ пробегает значения от 0 до 1). Критическое поле описывает НС-С переход второго рода от солитонной решетки при $H < H_c$ (несоразмерная фаза, НС) в вынужденное ферромагнитное состояние при $H > H_c$ (соразмерная фаза, С). Если магнитное поле приложено вдоль оси x , пространственная конфигурация описывается вектором $S(z) = S(\cos(z), \sin(z), 0)$, где полярный угол $\varphi(z)$ находится из решения уравнения синус-Гордона и определяется с помощью амплитуды Якоби

$$\varphi(z) = \pi + 2 \operatorname{am} \left(\frac{2K(\kappa)}{L(H)} z, \kappa \right) \quad (4)$$

В пределе нулевого магнитного поля $\kappa \rightarrow 0$, $K(0) = E(0) = \pi/2$, амплитуда Якоби вырождается в линейную функцию, и $\varphi(z)$ переходит в $\pi + Q_0 z$ [1].

Поскольку данная система является квазиодномерной и следовательно в континуальном пределе является бесконечной вдоль геликоидальной оси, было сделано предположение, что система будет неустойчива относительно скольжения вдоль геликоидальной оси — наличия решения типа скользящей моды. Термин «скольжение» не следует понимать буквально. Движение представляет собой нечто похожее на вращение Винта Архимеда и описывается формулами:

$$\varphi_{p+n}(t) = \varphi_p \left(t - \frac{n}{v} \right) \theta_{p+n}(t) = \theta_p \left(t - \frac{n}{v} \right) \quad (5)$$

где p — номер узла, v — скорость скольжения.

Движение солитонной решетки сильно отличается от хорошо известного по уже ставшим классическими трудам движения доменной

стенки. В данной системе мы имеем дело с макро числом доменных стенок и необходимо заставить их двигаться одновременно.

Разумеется, локальной деформацией движение не вызвать. Рассмотрим зависимость скорости от параметров, характеризующих каждый узел цепочки:

$$v = 2v_0 \cos(\theta_0) \left(1 - \cos(q) + \frac{D}{J} \sin(q) \right) \frac{1}{q} \quad (6)$$

где $q = \frac{-D}{J}$ в случае отсутствия магнитного поля, v_0 - константа размерности скорости.

Очевидно, что скорость будет равна нулю, если угол θ не выйдет из плоскости.

Поскольку перед нами стояла задача моделирования движения, то было принято решение реализовать компьютерную модель, описывающую систему, и задать отклонения угла «руками».

Результаты, полученные при моделировании цепочек различной длины, а также для различных магнитных полей, приложенных перпендикулярно геликоидальной оси можно увидеть на рисунках 1 и 2.

Как можно увидеть из графиков, влияние конечномерных эффектов незначительно и позволяет вести моделирование при сравнительно малых длинах, что экономит ресурсы вычислительной техники.

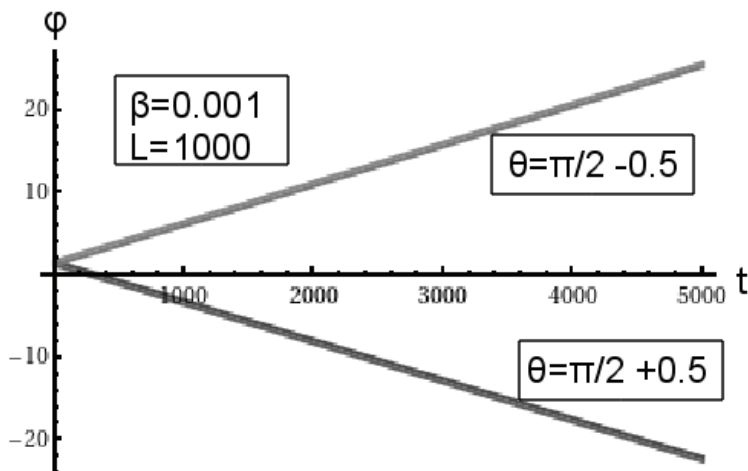


Рис. 1: Эволюция угла φ для узлов находящихся на середине цепочки и в 5 узлах от нее при различных знаках добавки

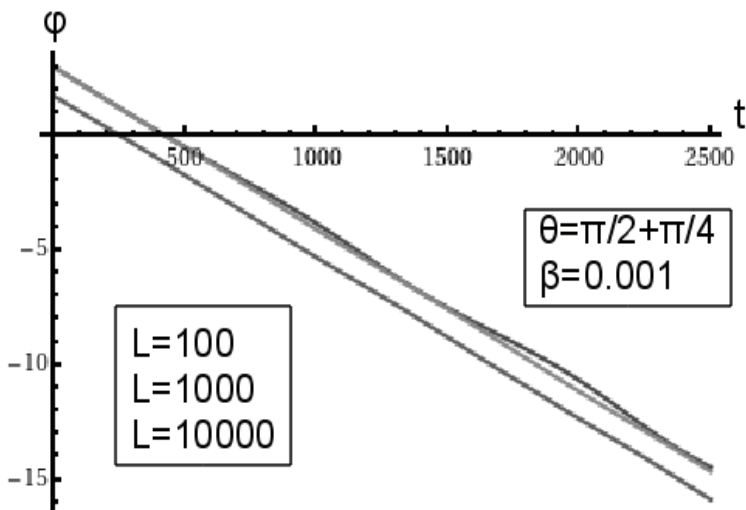


Рис. 2: Эволюция угла φ при различных длинах цепочки. Поле взято в условных единицах

К сожалению, данная задача являлась лабораторной и не имела аналогии с реальным миром. Было принято решение рассмотреть цепочку, помещенную в скрещенные магнитные поля: когда присутствуют как продольные, так и поперечные компоненты магнитного поля.

При наличии поперечного поля величина скоса будет определяться конкуренцией двух зеемановских энергий - скос уменьшает величину x -компоненты намагниченности и приводит к увеличению энергии модулированной спиновой структуры в поперечном поле. Скос угла θ уменьшится, что согласно формуле для скорости приведет к ненулевой скорости движения. При наличии у магнитного поля поперечной и продольной компоненты в основном состоянии будет движущаяся солитонная решетка с выходом угла θ из плоскости (xz).

В этом случае формула для скорости скользящей моды принимает вид:

$$\frac{v}{v_0} = 2 \cos(\theta_0) \left(1 - \cos(q) + \frac{D}{J} \sin(q) \right) \frac{1}{q} + \beta_z \quad (7)$$

где β_z - продольная компонента магнитного поля.

Построенная ранее компьютерная модель была усовершенствована для добавления второй компоненты поля. Для большего соответствия реальному эксперименту модуль вектора магнитного поля сохранялся постоянным, в то время как менялся угол между вектором магнитного поля и осью цепочки. К сожалению, ввиду ограниченности вычислительных мощностей, к моменту написания этой статьи расчет был произведен только для углов, близких к нулю, однако даже для ограниченного диапазона углов сравнение энергий статической и динамической конфигурации показывает, что решения в виде скользящей моды являются более выгодным исходом. (см. Таблицу 1)

Таблица 1: сравнение энергий статического E_{st} и динамического E_{sp} состояний при различных значениях угла α между вектором магнитного поля и геликоидальной осью.

α	E_{st}	E_{sp}
-0.70	-1003.006	-1003.997
-0.52	-1003.012	-1003.999
-0.35	-1003.017	-1004.001
-0.17	-1003.020	-1004.002
0.17	-1003.020	-1004.002
0.35	-1003.017	-1004.001
0.52	-1003.012	-1003.999
0.70	-1003.006	-1003.997

Разумеется, ближайшими планами является проведение вычислений для всего диапазона углов. Для нужд эксперимента будет построен график зависимости скорости от угла приложения поля.

Основные выводы работы.

7. Решена обратная задача - генерация поступательного движения солитонной решетки при заданных начальных отклонениях углов θ

Исследован вопрос о влиянии конечномерных эффектов.

8. Показано, что энергия движущихся с постоянной скоростью решений возрастает на величину, пропорциональную длине цепочки, по сравнению с энергией неподвижной спиновой решетки.

9. Аналитически показано, что в скрещенных постоянных магнитных полях спиновой системе выгодно двигаться как целому - это понижает ее энергию.

10. Разработан алгоритм моделирования статических и движущихся состояний рассматриваемой системы в скрещенных магнитных полях. Сравнение их энергий подтверждает сделанный ранее вывод о том, что низшим состоянием будет движущаяся структура. Показано, что скорость движения меняет знак при изменении направления продольной компоненты магнитного поля.

Работа поддержана грантом РФФИ № 12-02-31565.

Литература

- [1] Ю. А. Изюмов, *УФН*, Т. **144**, вып. 3, 1984, С. 439–474.
- [2] V. L. Pokrovskii, A. L. Talapov, *JETP* **48**, 1978, P. 579.
- [3] T. Miyadai et al, *J. Phys. Soc. Jpn.* **52**, 1983, 1394–1401.
- [4] Y. Kousaka et al, *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A* **600**, 250–253, 2009.
- [5] Y. Togawa, T. Koyama, K. Takayanagi, S. Mori, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Nishihara, K. Inoue, A. S. Ovchinnikov, and J. Kishine, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 107202 (2012).
- [6] S. E. Barnes, S. Maekawa, *Phys. Rev. Lett.*, **98**, 246601 (2007).
- [7] S. A. Yang et al., *Phys. Rev. Lett.*, **102**, 067201 (2009).
- [8] F. Jonietz et al., *Science* **330**, 1648 (2010).
- [9] G. E. Volovik, *J. Phys. C* **20**, L83 (1987).

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДВИЖЕНИЯ ДВОЙНИКОВОЙ
ГРАНИЦЫ В СПЛАВАХ ГЕЙСЛЕРА Ni_2-Mn-X С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРВОПРИНЦИПНОГО И МОНТЕ КАРЛО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Костромитин К.И., Бучельников В.Д., Соколовский В.В.
Челябинский государственный университет**

Аннотация

В статье представлена и исследована микроскопическая модель движения двойниковой границы с использованием первопринципных вычислений и метода Монте Карло в сплавах Гейслера Ni_2-Mn-X (например, $X=Ga$) на реальной тетрагональной решётке. Рассмотрены два варианта низкотемпературной мартенситной фазы, разделённые межфазовой границей. Для описания магнитной подсистемы использовалась модель Гейзенберга, для описания упругой подсистемы - модель Блюме - Эмери - Гриффитса, также учтено магнитоупругое взаимодействие между подсистемами. Исследовано влияние внешнего магнитного поля и магнитной анизотропии на движение двойниковой границы. Показано, что предложенная модель даёт картину движения двойниковой границы, соответствующую экспериментальным наблюдениям.

Введение

Сплавы Гейслера привлекают большое внимание исследователей в связи с их уникальными свойствами, такими как эффект памяти формы, гигантский магнитокалорический эффект и магнитодеформации. Магнитодеформации вызваны движением двойниковых границ [1]. Движение двойниковой границы является интересным физическим явлением, которое может быть использовано в таких устройствах, как актуаторных [2]. Это движение наблюдается экспериментально и представляет собой переориентацию мартенситных вариантов под влиянием внешнего магнитного поля. Эффект наблюдается в сплавах Гейслера Ni_2-Mn-X ($X = Ga, In, Sb, Sn$). В данной работе представлена теоретическая микроскопическая модель, описывающая движение двойниковой границы в сплавах Гейслера.

Модель

В предложенной модели рассмотрена реальная трехмерная тетрагональная решетка сплава Гейслера Ni_2-Mn-X с учетом обменного

взаимодействия в первой координационной сфере. Вдоль оси x и y использованы периодические граничные условия, вдоль оси z использованы открытые граничные условия. Обменные интегралы в магнитной подсистеме для атомов Ni и Mn рассчитаны из первых принципов с использованием программного пакета SPRKKR [3]. Предположено, что атомы примеси (X) не имеют магнитного момента. Для описания магнитной части Гамильтониана использовалась модель Гейзенберга с непрерывным распределением проекций спинов, внешнее магнитное поле направлено вдоль оси z . Для описания структурной части Гамильтониана использовалась вырожденная БЭГ - модель, которая позволяет описать упругое взаимодействие в аустенитной и мартенситной фазах. В модели использовались три структурных переменных: -1, 0, +1, которые определяют два мартенситных и один аустенитный вариант. В случае низких температур присутствуют только мартенситные фазы. Магнитоупругая часть Гамильтониана описывает взаимодействие магнитной и упругой подсистем и представлена модифицированной моделью Cástan [4].

Полный Гамильтониан системы представлен суммой $H=H_m + H_{el} + H_{int}$,

$$H_m = -\sum_{\langle i,j \rangle} J_{ij}^{mag} \mathbf{S}_i \mathbf{S}_j - g \mu_B H_{ext} \sum_i S_{iz} - K_x \sum_i S_{ix}^2 - K_z \sum_i S_{iz}^2,$$

$$H_{el} = -J_{el} \sum_{\langle i,j \rangle} \sigma_i \sigma_j - K_{el} \sum_{\langle i,j \rangle} (1-\sigma_i^2)(1-\sigma_j^2) - k_B T \ln(p) \sum_i (1-\sigma_i^2) - K_l g \mu_B H \sum_i \delta(\sigma_i, \sigma_g) \sum_{\langle i,j \rangle} \sigma_i \sigma_j,$$

$$H_{int} = 2U \sum_{\langle i,j \rangle} \mathbf{S}_i \mathbf{S}_j (0.5 - \sigma_i^2)(0.5 - \sigma_j^2) - 0.5U \sum_{\langle i,j \rangle} \mathbf{S}_i \mathbf{S}_j.$$

здесь J_{ij}^{mag} - обменные константы в магнитной подсистеме, \mathbf{S} – спин, H_{ext} – внешнее магнитное поле; g – фактор Ланде; μ_B – магнетон Бора, K_x, K_z – константы анизотропии вдоль осей x и z , J_e, K_{el} – обменные константы в упругой подсистеме в мартенситной и аустенитной фазах, соответственно. σ_i – переменная микродеформации, которая соответствует фазе в каждом узле решётки, значения $\sigma_i = -1, 1$ и 0 соответствуют двум мартенситным и одному кубическому вариантам, k_B – постоянная Больцмана, T – температура системы, p – фактор вырождения, K_l – константа, описывающая влияние внешнего магнитного поля на структурную; σ_g – микродеформация узла, чьё значение соответствует структурному варианту во внешнем магнитном поле, U – обменная константа, учитывающая магнитоупругое взаимодействие. В магнитной части Гамильтониана первое слагаемое описывает взаимодействия в магнитной подсистеме, второе слагаемое описывает влияние внешнего магнитного поля на магнитную подсистему. В упругой части Гамильтониана первое и второе слагаемые описывают взаимодействия в мартенситной и аустенитной фазах, соответственно, третье слагаемое описывает

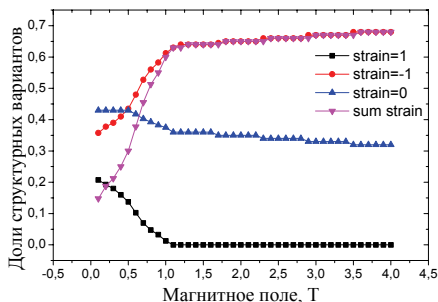
вырожденную кубическую фазу (фактор вырождения $p=2$), четвертое слагаемое описывает влияние магнитного поля на упругую подсистему [5]. Магнитоупругая часть гамильтониана описывает взаимодействие между магнитной и упругой подсистемами. Величины магнитной анизотропии:

1. $K_x^{Ga} = 0, K_z^{Ga} = 0, K_x^{Ni} = 0, K_z^{Ni} = 0, K_x^{Mn} = 0, K_z^{Mn} = 0;$
2. $K_x^{Ga} = 0, K_z^{Ga} = 0, K_x^{Ni} = 0.72, K_z^{Ni} = 0.36, K_x^{Mn} = 0.18, K_z^{Mn} = 0.09;$
3. $K_x^{Ga} = 0, K_z^{Ga} = 0, K_x^{Ni} = 0.36, K_z^{Ni} = 0.18, K_x^{Mn} = 0.09, K_z^{Mn} = 0.045.$

Результаты моделирования

Магнитные обменные интегралы были взяты из первопринципных вычислений с использованием программного пакета SPR KKR: $J_{Ni-Mn} = 4.74$ meV, $J_{Mn-Mn} = 1.63$ meV для ближайших соседей, расположенных в плоскости xy , $J_{Mn-Mn} = -1.26$ meV для ближайших соседей, расположенных в плоскостях xz и yz [5]. Все остальные обменные интегралы в магнитной подсистеме были взяты равными нулю. В упругой подсистеме обменные взаимодействия имели следующие значения: $J_{el} = 1.5$ meV, $K_{el} = 0.5$ meV, $U = 3$ meV, $K_1 = 0.5$ meV. Фактор Ланде был взят равным двум: $g = 2$ [6].

Температура Кюри и температура мартенситного перехода в системе получены из температурных зависимостей намагниченности и долей кубических и тетрагональных микродеформаций на кубической решетке при нулевом магнитном поле. Данные результаты близки к экспериментальным данным для сплавов Ni_2MnGa .



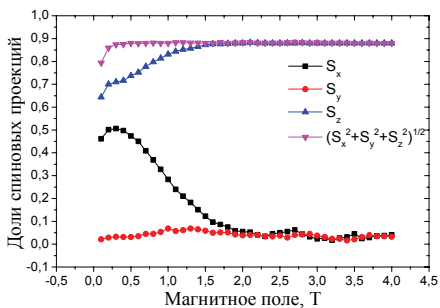


Рис. 1. Зависимости удельных долей мартенситных вариантов (слева) и спиновых проекций (справа) от величины внешнего магнитного поля при температуре $T=120$ К для первого набора констант магнитной анизотропии

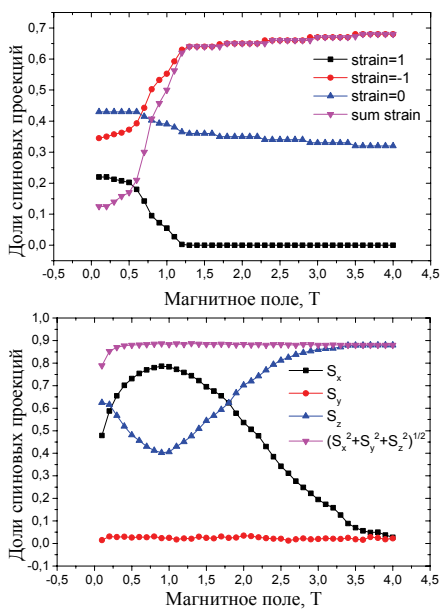


Рис. 2. Зависимости удельных долей мартенситных вариантов (слева) и спиновых проекций (справа) от величины внешнего магнитного поля при температуре $T=120$ К для второго набора констант магнитной анизотропии

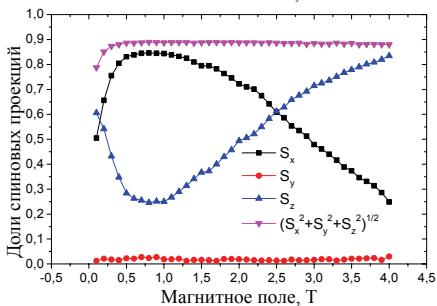
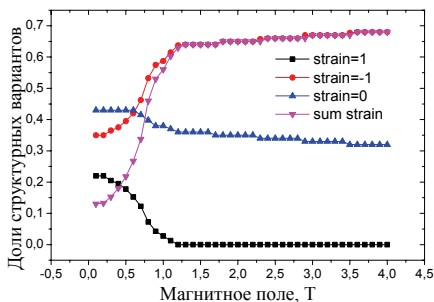
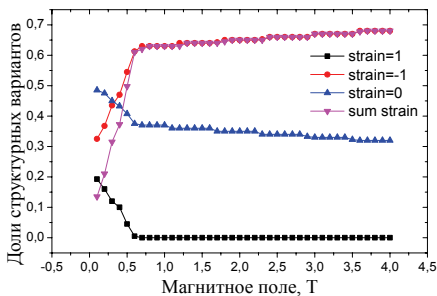


Рис. 3. Зависимости удельных долей мартенситных вариантов (слева) и спиновых проекций (справа) от величины внешнего магнитного поля при температуре $T=120$ К для третьего набора констант магнитной анизотропии



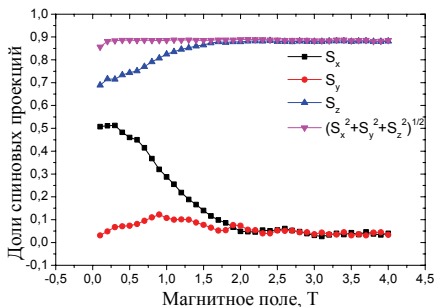


Рис. 4. Зависимости дисперсии удельных долей мартенситных вариантов (слева) и спиновых проекций (справа) от величины внешнего магнитного поля при температуре $T = 120$ для первого набора констант магнитной анизотропии для $N = 6 \times 6 \times 12$ элементарных кубических ячеек

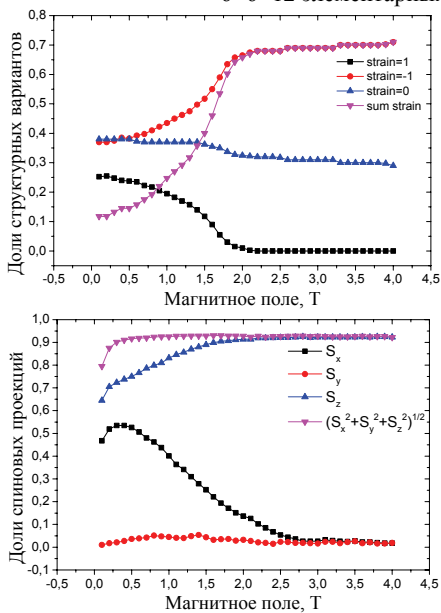


Рис. 5. Зависимости удельных долей мартенситных вариантов (слева) и спиновых проекций (справа) от величины внешнего магнитного поля при температуре $T = 80$ К для первого набора констант магнитной анизотропии

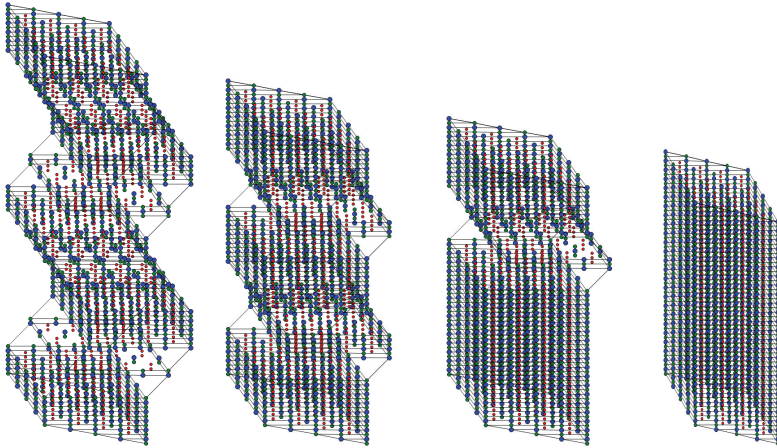


Рис. 6. Изображение решётки при различных значениях внешнего магнитного поля (слева направо): $H=0$ Т (стартовая конфигурация), $H=1$ Т, $H=1.1$ Т, $H=1.2$ Т

Выводы

В данной главе была исследована микроскопическая модель, основанная на реальной решётке сплава Ni_2-Mn-X ($X=Ga, In, Sn, Sb$) с использованием классических моделей Гейзенберга и Блюме - Эмери - Гриффитса с учётом магнитоупругого взаимодействия для описания движения двойниковой границы под действием внешнего магнитного поля. На основе данной модели были исследованы температурные зависимости удельных намагниченностей и микродеформаций в нулевом магнитном поле и кинетика движения двойниковой границы под действием внешнего магнитного поля при постоянной температуре. Моделирование показало, что приложение внешнего магнитного поля при постоянных температурах приводит к движению двойниковой границы, которое происходит как переориентация мартенситных вариантов из энергетически невыгодного состояния в состояние, имеющее то же направление, что и внешнее магнитное поле. Было исследовано влияние температуры, магнитной анизотропии и размерного эффекта на скорость движения двойниковой границы в растущем магнитном поле, и получена зависимость критического магнитного поля от температуры. В целом полученные результаты соответствуют экспериментальным наблюдениям.

Литература

- [1]. Planes, L. Mañosa, and M. Acet, Magnetocaloric effect and its relation to shape-memory properties in ferromagnetic Heusler alloys *J. Phys.: Condens. Matter* 21 (2009) 233201.
- [2]. K. Ullakko, I. Aaltio, P. Yakovenko, A. Sozinov, A.A. Likhachev and O. Heczko, Magnetic shape memory effect progress from idea to first actuators and sensors, *J. Phys. IV France* 11 (2001) Pr8-243 .
- [3]. H. Ebert, in *Electronic Structure and Physical Properties of Solids*, Lecture Notes in Physics Vol. 535, edited by H. Dreyssé (Springer, Berlin, 1999), p. 191; *Rep. Prog. Phys.* 59 (1996) 1665.
- [4]. T. Cástan, E. Vives, and P.-A. Lindgård, Modeling premartensitic effects in Ni₂MnGa: A mean-field and Monte Carlo simulation study *Phys. Rev. B* 60 (1999) 7071.
- [5]. V. D. Buchelnikov, V. V. Sokolovskiy, H. C. Herper, H. Ebert, M. E. Gruner, S. V. Taskaev, V. V. Khovaylo, A. Hucht, A. Dannenberg, M. Ogura, H. Akai, M. Acet, and P. Entel, A First-Principles and Monte Carlo Study of Magnetostructural Transition and Magnetic Properties of Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga, *Phys. Rev. B: Condens. Matter Phys.* 81 (2010) 094411.
- [6]. V.D. Buchelnikov, V.V. Sokolovskiy, S.V. Taskaev, V.V. Khovaylo, A.A. Aliev, L.N. Khanov, A.B. Batdalov, P. Entel, H. Miki and T. Takagi, Monte Carlo simulations of the magnetocaloric effect in magnetic Ni–Mn–X (X = Ga, In) Heusler alloys, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 44, (2011) 064012.

**ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРАТИВНЫХ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ
ЭКСКУРСИЙ К ПРИРОДНЫМ ПАМЯТНИКАМ БАШКИРИИ****Кутлугужина Г.Р., Даутова К.В.
БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия**

Экскурсии стали популярны в начале 20 века как форма общественно-просветительной работы. К этому времени относятся и первые ее определения. Экскурсия – это целенаправленный наглядный процесс познания окружающей действительности, построенный на заранее подобранных исторических, природных, архитектурных, производственных объектах, показ которых происходит под руководством квалифицированного руководителя), и подчинен раскрытию определенной темы.

В это время они становятся и методом обучения в средних школах в России. Показательны в этом отношении работа ленинградской школы методики физики в 20-ые годы, где разрабатывалась методика организации и проведения экскурсий М.Ю.Пиотровским и другими методистами под руководством П.А.Знаменского. В 70-ые годы XX века они вошли в учебные программы физики как необходимый элемент работы учителя физики. В последние годы вследствие недостатка времени, закрытия экскурсионных объектов учебные экскурсии практически не проводятся учителями физики. В методической литературе определены следующие виды экскурсий: 1) обзорные экскурсии - многотемные, обобщающего характера на объекты; 2) тематические экскурсии - посвященные раскрытию одной темы, раздела учебного материала; 3) природоведческие экскурсии - посвящены анализу круга физических явлений в биосфере города, района, природных объектов. Проведение природоведческих экскурсий могут быть связаны с организационными сложностями, не все учащиеся могут и хотят участвовать. Регламент проведения экскурсий с несовершеннолетними в нашем регионе разработан Государственным комитетом Республики Башкортостан по физической культуре, спорту и туризму в виде инструкции по их организации и проведению и утвержден Постановлением кабинетом министров РБ от 29.10.1999 г. К сожалению, более поздних нормативно-правовых документов нет.

Мы считаем, что природоведческие экскурсии интегративного характера можно проводить к памятникам природы, которыми богата наша республика: пещеры, водопады, горные вершины. Они проводятся в конце учебного года, когда погодные условия наиболее комфортны для их проведения; изучен учебный материал, что позволит систематизировать и обобщать учебные знания. Их исследование дает богатый дополнительный материал для предметов физики и географии.

Нами разработана методика их проведения, определены области знаний по физике и географии по каждому объектам.

Мы выделили следующие методические требования к проведению экскурсий и их задачи:

1) всесторонне подготовиться руководителям, чтобы обеспечить понимание учащимися все то, что имеет отношение к теме экскурсии;

2) обеспечить конкретизацию усвоение физического материала, лежащих в основе объектов экскурсии;

3) содействовать формированию практических навыков по физике при изучении экскурсионных объектов.

Методические требования определяют этапы подготовки и проведения экскурсий:

1) Определение цели и темы экскурсии, подбор материала учителем, разработка экскурсии (изучение краеведческой, физической, специальной литературы, работа над содержанием экскурсии, работа над методикой проведения экскурсии, выбор эффективных методических приемов показа и рассказа);

2) изучение материала учениками и подготовка к восприятию объекта,

3) показ экскурсионных объектов, поиск и анализ физических явлений;

4) подведение итогов, сравнение данного объекта с другими, обобщение знаний.

Работа по подготовке экскурсии начинается с четкого определения ее цели – конечного результата деятельности экскурсовода. Определение цели – прежде всего для самого экскурсовода – оказывает определяющее влияние на содержание экскурсии. Очень важно определить правильный выбор темы экскурсии – четкая формулировка темы определяет содержание экскурсии, тема является стержнем, объединяющим все стороны объекта экскурсии.

Поэтому важной частью работы по подготовке экскурсии является работа над ее содержанием, которая начинается для учителя с накопления материала во время изучения краеведческой, физической, специальной литературы. Необходимо использовать только достоверные и тщательно выверенные факты и сведения, имеющие отношение к теме. В настоящее время в интернете можно найти любую информацию, однако к ней надо относиться критически. Материал экскурсии строится на тесной связи теории и практики той или иной учебной дисциплины. Поэтому необходимо отобрать материал для экспериментального исследования объекта экскурсии. При подготовке экскурсии надо использовать и следующие формы: беседы с людьми, туристами, которые посещали памятники природы Башкирии, встречи со специалистами, научными работниками, просмотры видеоматериала.

Изучение памятника природы **учениками** на подготовительном этапе заключается в подготовке рефератов, сообщений, презентаций, которые обсуждаются в специально отведенное время. Мы выбрали в качестве объектов следующие природные памятники нашей республики: водопады, пещеры, горные вершины. Для каждого памятника нами рассмотрены физические явления, присутствующие в них, в том числе и такие, которые можно наблюдать только в данном объекте. Значит, и темами обсуждения должны быть те физические явления, которые проявляются на этих объектах.

Физические явления, которые можно исследовать у водопадов:

1. Звуки у водопада (акустика);
2. Образование капель, гидро - и аэроионизация;
3. Образование волн, их формы (механические волны);
4. Температура воды водопадов (тепловые явления);
5. Глубина и диаметр котла, определение мощности водопадов (закон сохранения энергии);
6. Преломление света, образование радуги (оптические явления)

Физические явления, которые можно исследовать в пещерах:

1. Распространение звука в пещере (акустика);
2. Образование сталактитов, сталагмитов, сталагнатов (свойства твердых тел);
3. Температура, влажность, туман в пещерах (тепловые явления);
4. Циркуляция воздуха в пещере;
5. Оптические явления в пещере;
6. Пещерные озера, глубина и диаметр воронок.

Физические явления, которые можно исследовать в горах:

1. Атмосферное давление у подножия и в вершине горы, плотность воздуха;
2. Акустика, распространение звука в твердых телах ;
3. Тепловые явления, температура воздуха на различных высотах горы ;
4. Электричество, энергетический потенциал горы;
5. Образование ионов в горах, солнечная радиация.

Приведем пример. На подготовительном этапе к экскурсии к водопадам ученикам были розданы следующие задания: 1. Темы для рефератов:

- а) «Люстра Чижевского»,
- б) «Великие водопады на Земле»,
- в) «Причины возникновения водопадов».

2. Темы для сообщений:

- а) гипотеза об образовании инфразвуков у водопадов,
- б) механизм образования аэроионов,
- в) действие аэроионов на человеческий организм,

г) оптические явления у водопадов.

Показ экскурсионных объектов является основной частью экскурсии. Объекты экскурсии определяются ее темой. Тема наших межпредметных экскурсий «Памятники природы Башкирии с географической и физической точек зрения». При отборе памятников природы необходимо учитывать их историческую ценность, зрелищность, уникальность, возможность применения знаний по физике и географии при осмотре и изучении объекта, сохранность.

В экскурсию могут входить и другие объекты: например, при экскурсии в пещеру Шульган-таш обязательно посещение музея меда и краеведческого музея, осмотр окрестностей пещеры, реки Белой и др. Набор объектов зависит от темы экскурсии, от ее содержания, от состава экскурсионной группы. Можно порекомендовать составление краткой характеристики памятника природы, которая необходима, в первую очередь, самому учителю для последующих повторных экскурсий.

В характеристику должно входить:

1. Наименование памятника (современное и первоначальное название);

2. Данные о памятнике (открытие и его авторы, дата, физические и географические параметры).

3. Сохранность памятника (состояние памятника и территории, на которой он находится);

Заключительный этап экскурсии – не только обмен впечатлениями, организация зрительного ряда по материалам экскурсии, но главным образом, подведение итогов, обобщение и систематизация знаний по физике.

Приведем пример заданий по водопадам на заключительном этапе. Виды работ: решение задач, обзор физических явлений, анализ и обобщение знаний о водопадах, связь физических явлений с географическими и геоморфологическими условиями местности.

Задание 1. Определить мощность водопада.

Для этого нужно знать расход воды, толщину слоя воды на гребне, площадь воды в «полете», скорость течения в начале падения, то есть на изломе струи. Часто бывает, что котлован, куда попадает вода, глубокий. Поэтому следует учесть и его глубину. По закону сохранения энергии с учетом экспериментальных данных, полученных в результате экскурсии, можно рассчитать теоретическую мощность водопада. Конечно же, практическая мощность его будет ниже. Это значение мощности будет средним. В водопадах скорость на изломе струи различна для времени года, при различных погодных условиях.

Задание 2. Объясните с точки зрения закона сохранения энергии образование котла у водопадов.

Эрозия русла у подножий водопадов объясняется вращением огромных камней и силой удара водяных струй. «Эрозионные» котлы с течением времени, соединяясь друг с другом, иногда преобразовываются в ущелья. Глубина котлов некоторых водопадов очень значительна и часто равняется их высоте, как, например, у Ниагары - 50 м высота падения воды, такова же и глубина ее исполинового котла.

Задание 3. Рассчитайте силу удара потока вода о поверхность котлована.

Ее можно рассчитать на основе второго закона Ньютона, если известны расход воды, скорость струи на изломе и высота падения струи.

Мы не приводим вопросы по географии. Как видно, что даже краткое знакомление с параметрами водопадов показывает, что их изучение находится на стыке целого ряда наук: физики, географии, гидрологии, геологии, биологии и многих других, и поэтому целенаправленная, подготовленная экскурсия по их исследованию обогащает знания учащихся.

Таким образом, природоведческие интегративные экскурсии повышают познавательный интерес к учебе, формируют любовь к родному краю, помогают увидеть связь между предметами, укрепляют пусть и в небольшой степени, здоровье школьников.

По отношению к физике природоведческие экскурсии позволяют: усилить интерес к предмету; расширить круг изучаемых тем; уделить физике больше времени, чем отводится программой; разнообразить формы обучения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С РАСШИРЕННЫМ ВОЛНОВЫМ ДИАПАЗОНОМ

Лопатюк А.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Одним из самых перспективных способов наращивания пропускной способности транспортной сети является применение систем со спектральным разделением каналов. В данной работе представлена модель 40 –ка канальной ВОЛП содержащая волновой WDM мультиплексор и демультиплексор и оптические усилители разного типа EDFA и Рамановский усилитель. На рис.1 представлена схема моделируемой линии связи.

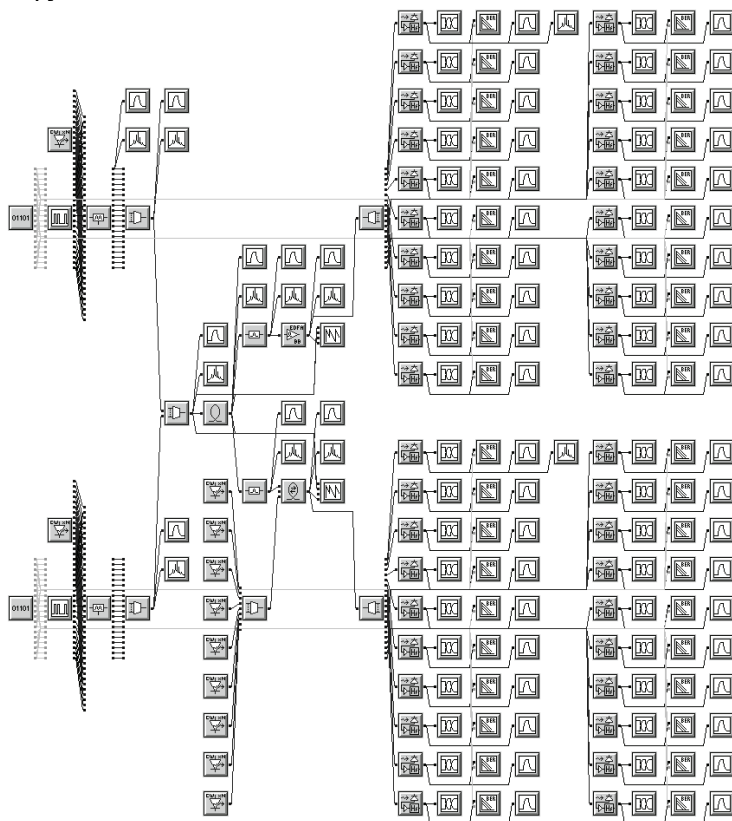
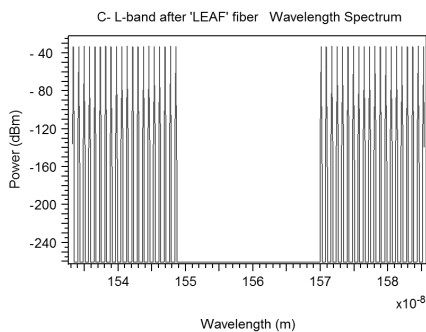


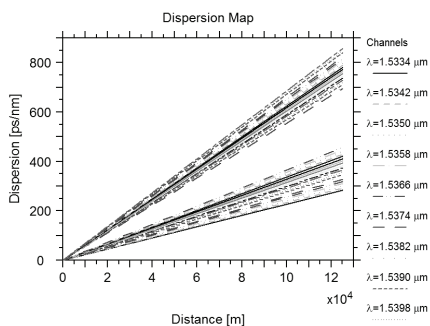
Рис. 1 Модель разветвленной ВОЛП со спектральным разделением каналов

Особенностью данной схемы является применение двух оптических диапазонов - С и L (рис.2), что позволяет увеличить число мультиплексируемых каналов без уменьшения межканального интервала. Усиление этих диапазонов необходимо производить отдельно, разделив их предварительно оптическими фильтрами. На рисунке 2 а) показан спектр сигнала для С и L диапазонов при применении оптического усилителя EDFA, а на рисунке в) - спектр сигнала для С и L диапазонов при применении

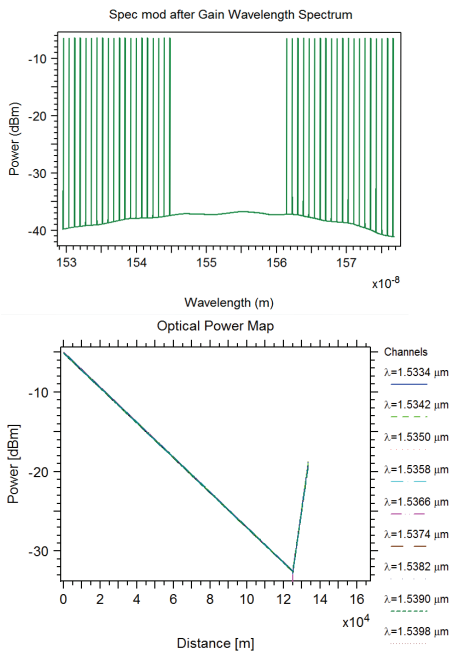
Рамановского оптического усилителя. На рисунках 2 б) и 3 а) представлены диаграммы дисперсии также для С и L диапазонов. Уменьшение дисперсии L диапазона объясняется применением волокна с отрицательной дисперсией в рамановском усилителе (рис. 3а).



а)



б)

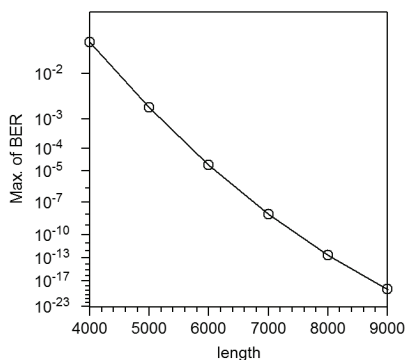
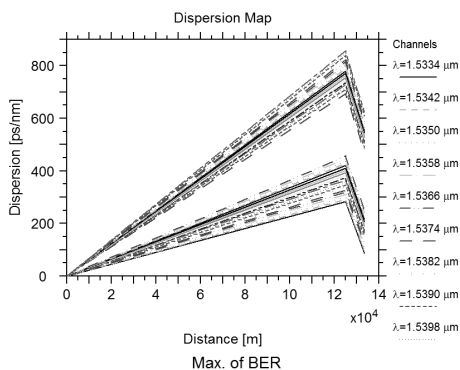


в)

г)

Рис. 2 а) Спектр сигнала после 125 км оптического волокна; б) Диаграмма дисперсии для С диапазона; в) Спектр сигнала после Рамановского усилителя; г) Зависимость оптической мощности в линии с Рамановским усилителем для L диапазона

Мы можем видеть, что битовая ошибка BER значительно уменьшается с увеличением длины оптического волокна с отрицательной дисперсией и достигает стандартных требуемых значений на длине 8000 метров. Это объясняется улучшением компенсации дисперсии и ростом оптической мощности передаваемого сигнала в Рамановском оптическом усилителе.



a)

б)

Рис. 3 а) Диаграмма дисперсии для L диапазона, б) Зависимость битовой ошибки от длины волокна с отрицательной дисперсией

На рисунках 4а) и 4б) показаны зависимости битовых ошибок от вводимой в волокно мощности соответственно С и L диапазонов. При увеличении вводимой в волокно мощности битовая ошибка уменьшается из-за увеличения уровня мощности на входе приемника. Таким образом, можно определить минимальную мощность равную 1,5-2,5 мВт для лазеров в рассматриваемой модели, при вводе которой в волокно система будет удовлетворять требованиям для внутризоновой линии.

Также исследована зависимость битовой ошибки от скорости передачи данных.

При скорости передачи данных до 2 Гбит/с значение битовой ошибки минимально и практически не изменяется (рисунок 5а) и 5б)). Далее при увеличении скорости значение BER увеличивается и система не удовлетворяет требованиям. Увеличение скорости передачи ведет к уменьшению дисперсионной длины участка, и появлению нелинейных

эффектов в оптическом волокне. Для дальнейшего увеличения скорости передачи данных необходимо увеличивать длину компенсирующего волокна с отрицательной дисперсией и коэффициент усиления оптических усилителей.

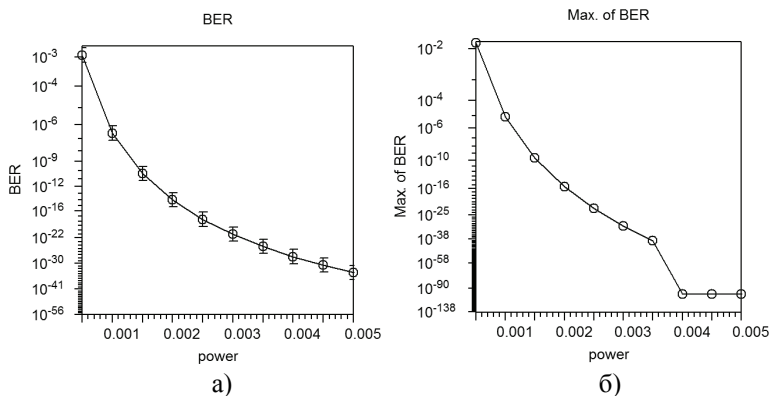


Рис. 4 Зависимость BER от вводимой в волокно мощности для а) С-диапазона и б) L-диапазона

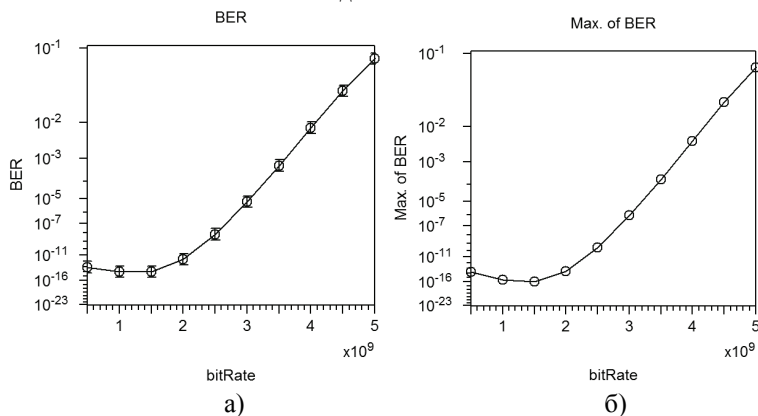


Рис. 5 Зависимость BER от скорости передачи для а) С-диапазона и б) L-диапазона

В результате исследования произведен подбор и оптимизация параметров оптических усилителей, оптического волокна, фильтров и получено значение битовой ошибки от 10^{-13} до 10^{-18} , что соответствует высокому качеству работы исследуемой линии связи.

Литература

1. Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: Солон – Пресс, 2004. – 272с.: - ил.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЭФФЕКТ ПЕЛЬТЬЕ В Cu_2S Мунасипов А.З.¹, Шакиров Р.¹, Ишембетов Р.Х.¹, Нурахметов Т.Н.²¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия²Евразийский национальный университет, г. Астана, Казахстан

Халькогениды меди и их сплавы проявляют свойства смешанных электронно-ионных проводников. По электронным свойствам – это полупроводники, которые уже нашли применение в солнечных элементах, термоэлектрических генераторах, полупроводниковых лазерах и т.д. [1-3].

Одним из перспективных практических приложений халькогенидов меди является использование их в качестве р-ветвей гетеропереходов для полупроводниковых холодильников, работающих на эффекте Пельтье. Модули Пельтье в настоящее время находят широкое применение в кулерах для охлаждения компьютерных процессоров и других элементов электрических схем.

Целью данной работы было исследовать эффект Пельтье в сульфиде меди Cu_2S , синтезированного в течение 8 часов и имеющего размеры и формы кристаллитов, показанные на рис. 1.

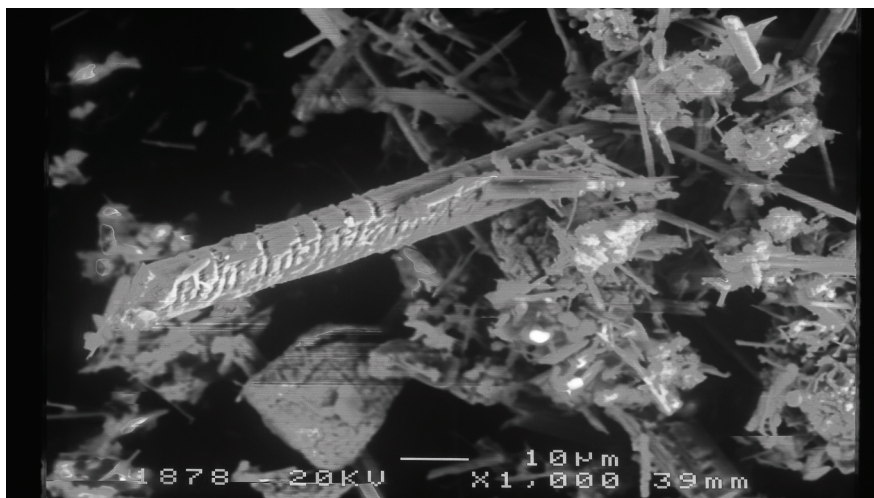


Рис. 1

Измерения проводились на поликристаллических образцах, спрессованных из порошка(рис.1). Идентификация фаз проводилась методами РСА и электронной микроскопии(рис.1). Для экспериментального определения коэффициента Пельтье использовалась связь между коэффициентом Пельтье Π и коэффициентом термо-э.д.с. α :

$$\Pi = \alpha T, \quad (1)$$

где T - абсолютная температура

Коэффициент электронной термо – эдс измеряли по известной методике подавления ионной составляющей, описанной, например, в [4]. Электронными зондами служили рабочие спаи хромель-алюмелевых термопар, применяемых для измерения температуры с точностью до 0.5 К (рис.2). Электронную термо – эдс. ΔU измеряли между контактами 1-2

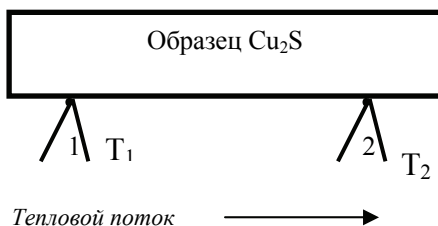


Рис. 2 Схема ячейки для измерения коэффициента электронной термо-э.д.с.

(хромелевыми ветвями термопар, находящихся в изотермических сечениях образца при температурах T_1, T_2).

Коэффициент термо-э.д.с. рассчитывали по формуле

$$\alpha = \Delta U / (T_2 - T_1) \quad (2)$$

Чтобы предотвратить окисление образца и деталей установки при высоких температурах, все измерения проводились в кварцевой трубке, заполненной осушенным аргоном. При измерениях поддерживался постоянный градиент температуры вдоль образца порядка 10 К/см. Погрешность измерений не превышала 4-5%.

На рис. 3 приведена температурная зависимость электронной термо-эдс в Cu_2S . Коэффициент электронной термо - эдс образца Cu_2S в целом повышается с ростом температуры (рис3). Наблюдаются достаточно высокие значения коэффициента электронной термо - эдс. Коэффициент Пельтье пересчитанные из данных по коэффициенту электронной термо-эдс. , также возрастает при повышении температуры.

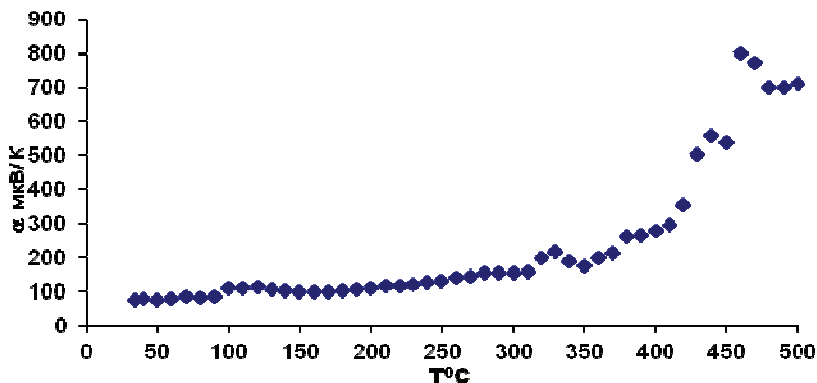


Рис. 3. Температурная зависимость электронной термо-эдс Cu_2S

Наблюдаемые значения коэффициента Пельтье образцов Cu_2S находятся в пределах $0.1 \div 0.4$ Дж/А и больше, что несколько выше, чем у теллурида висмута[1].

Литература

1. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. М.: Мир, 1986. 435 с
2. М.Н. Левин, В.Н. Семенов, О.В. Остапенко. Фотоэлектрические преобразователи на варизонных гетероструктурах $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}/\text{Cu}_2\text{S}$ // Письма в ЖЭТФ, 2002. Т.28. Вып.10. С.19-21
3. Guangming Liu, T. Schulmeyer, J. Brötz, A. Klein and W. Jaegermann. Interface properties and band alignment of $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ thin film solar cells // Thin Solid Films, 2003. V.431-432. P.477-482.
4. Wagner C. The Thermoelectric Power of Cells with Ionic Compounds Involving Ionic and Electronic Conduction // Prog. in Solid Chem. Phys., 1972. V7.P.1-37.

**ТЕПЛОВАЯ КОНВЕКЦИЯ В КАПЛЕ ВОДОНЕФТЯНОЙ
ЭМУЛЬСИИ В ПРОЦЕССЕ ВЧ И СВЧ НАГРЕВА****Мусин А.А., Фатхуллина Ю.И.****Центр микро и –наномасштабной динамики дисперсных систем,
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия**

Проблема разрушения водонефтяных эмульсий связана со многими технологическими процессами в нефтегазовой промышленности, особенно при добыче и подготовке, транспортировке и переработке нефти, а также при ликвидации нефтешламовых амбаров. Высокая устойчивость эмульсий обусловлена наличием высокомолекулярных полярных компонентов, которые оседают вокруг капли, образуя так называемую бронирующую оболочку, что препятствует слиянию капель. Использование традиционных методов разрушения эмульсий не дает желаемых результатов. Одним из путей решения проблемы является применение энергии электромагнитного (ЭМ) поля.

Для изучения воздействия электромагнитного поля на каплю и окружающую жидкость решалась система уравнений тепло- и массообмена в капле и окружающей жидкости. Была сформулирована математическая модель распределения температуры в пределах одной капли и окружающей жидкости под действием ЭМ излучения. Разработан алгоритм численного решения. Задача решается численно с учетом теплового движения жидкости внутри и вне капли, обусловленного неоднородностью теплового поля. Показано, что индуцированное излучением нагрев капли и окружающей жидкости не является равномерным. Это обусловлено тепловым движением жидкости в капле и окружающей среде. Полученные результаты могут помочь понять физические механизмы разрушения водонефтяной эмульсии под воздействием ЭМ излучения.

Математическая модель. Предполагается, что капля воды радиуса r_0 находится в несмешивающейся с ней углеводородной жидкости. На границе фаз действует сила поверхностного натяжения. Кроме того считается, что в процессе формирования капли на ее поверхности образовалась жесткая бесконечно тонкая бронирующая оболочка. В результате действия электромагнитного поля жидкости нагреваются и начинается тепловая конвекция, причем характер течения будет зависеть от способа теплового воздействия: при ВЧ воздействии преимущественно греется бронирующая оболочка, в случае СВЧ излучения происходит нагрев самой капли. Считается, что капля в процессе воздействия не деформируется и сохраняет сферическую форму. Зависимостью теплофизических свойств жидкостей от температуры пренебрегается. Движение каждой из сред описывается системой уравнений тепловой

конвекции в линейном приближении Буссинеска [3]. На границе раздела сред выполняются закон сохранения энергии и условия динамического равновесия. Сила поверхностного натяжения, действующая в узком переходном слое (в бронирующей оболочке), сводится к объемной [4]. Энергия электромагнитного поля расходуется на нагрев среды и моделируется в виде распределенных источников тепла [2]. Тогда обезразмеренная система уравнений тепловой конвекции запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho\mathbf{U})}{\partial t} + \nabla(\rho\mathbf{U}\mathbf{U}) &= -\nabla p + \nabla\tau + \mathbf{n}Gr\theta + \frac{1}{We}\mathbf{F} \\ \nabla\mathbf{U} &= 0 \\ \frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{U}\nabla)T &= \frac{1}{Pr}\Delta T + \frac{Os}{Pr}q \quad q = \frac{\omega\varepsilon_0\varepsilon' \operatorname{tg}\delta}{2}|E|^2 \end{aligned}$$

где Pr – число Прандтля; Gr – число Грасгофа; Os – число Остроградского; We – число Вебера; \mathbf{U} – вектор скорости; $\tau = \mu(\nabla\mathbf{U} + \nabla\mathbf{U}^T)$ – тензор вязких напряжений; ρ – плотность; μ – динамическая вязкость; p – давление; T – температура; \mathbf{n} – единичный вектор, направленный вдоль вектора ускорения свободного падения; q – плотность распределенных источников тепла.

В силу симметрии системы задача решалась в сферической системе координат (r, φ, θ) с началом в центре капли. Оси системы координат ориентированы параллельно полю и вектору ускорения свободного падения. Таким образом, нет зависимости от координаты φ .

Краевые условия следующие:

$$\begin{aligned} U_r(r, \theta, 0) &= 0; \quad U_\theta(r, \theta, 0) = 0; \quad T(r, \theta, 0) = T_0 \\ \frac{\partial U_r(0, \theta, t)}{\partial r} &= 0; \quad U_\theta(R, \theta, t) = 0 \\ \frac{\partial U_r(r, 0, t)}{\partial \theta} &= 0; \quad \frac{\partial U_r(r, \pi, t)}{\partial \theta} = 0; \\ \frac{\partial U_\theta(0, \theta, t)}{\partial r} &= 0; \quad U_r(R, \theta, t) = 0; \\ U_\theta(r, 0, t) &= 0; \quad U_\theta(r, \pi, t) = 0 \\ \frac{\partial T(0, \theta, t)}{\partial r} &= 0; \quad \frac{\partial T(R, \theta, t)}{\partial r} = 0; \\ \frac{\partial T(r, 0, t)}{\partial \theta} &= 0; \quad \frac{\partial T(r, \pi, t)}{\partial \theta} = 0 \end{aligned}$$

Результаты вычислений. Задача решалась с использованием алгоритмов TDMA и SIMPLE. На рис. 1 приведены радиальные

распределения температуры в капле в случае ВЧ и СВЧ воздействия. В случае СВЧ воздействия тепловой поток, вызванный градиентом температуры, направлен из центра капли (линия 1), в то время как в случае ВЧ воздействия тепловой поток направлен от поверхности капли к центру и выходит в окружающую жидкость. Линии тока в капле воды и окружающей жидкости для соответствующих способов воздействия показаны на рис. 2. Ввиду того, что диссипация энергии электромагнитного поля в случае ВЧ и СВЧ нагрева происходит в разных областях характер теплового движения оказывается различным. А именно, при ВЧ воздействии основной нагрев происходит на границе раздела фаз, т.е. греется бронирующая оболочка (кривая 2 на рис. 1). Поэтому нагретая у границы бронирующей оболочки жидкость внутри и вне капли устремляется вверх вдоль границы раздела сред (рис. 2а). Происходит сонаправленное обтекание бронирующей оболочки капли. Течение внутри капли на рис. 2а направлено против часовой стрелки.

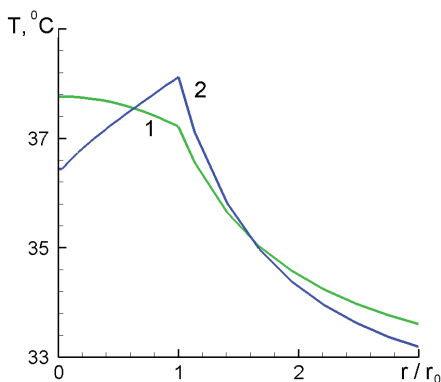


Рис. 1: Радиальное распределение температуры внутри и вне капли для СВЧ (линия 1) и ВЧ (линия 2) ЭМ полей

В случае СВЧ воздействия диссипация энергии поля происходит непосредственно в самой капле. Температура в центре капли оказывается максимальной (кривая 1 на рис. 1). Возникающая при этом конвективная структура отличается от описанной выше. Нагретая в центре капли жидкость поднимается вверх и опускается вниз вдоль границы капли. Течение внутри капли в этом случае направлено по часовой стрелке (рис. 2б). Конвекция в окружающей жидкости не отличается от конвекции в случае ВЧ воздействия на каплю и направлено вверх вдоль границы раздела сред. Таким образом, на границе раздела сред происходит противоположное обтекание бронирующей оболочки капли. Различие

характера конвективных течений в случае ВЧ и СВЧ нагрева капли приведет к различию термоупругих напряжений на границе раздела сред.

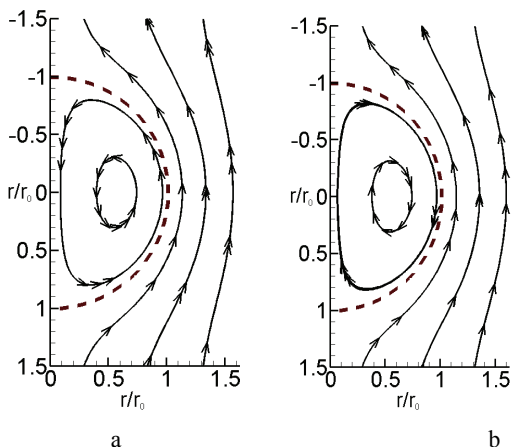


Рис. 2: Линии тока в капле и окружающей жидкости при ВЧ (а) и СВЧ (б) нагреве капли

Результаты расчетов показали, что действие ВЧ и СВЧ электромагнитного излучения отличается не только распространением температуры, но и структурой возникающих конвективных течений. Под действием ВЧ излучения происходит сонаправленное обтекание бронирующей оболочки капли. В случае СВЧ воздействия обтекание бронирующей оболочки капли происходит в противоположных направлениях.

Работа выполнена при поддержке грантов Министерства образования и науки России (11.G34.31.0040 и МК-3070.2011.8.), РФФИ № 11-01-97013.

Литература

1. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., and Zinnatullin R.R. Destruction of Water-in-Oil Emulsions in Radio-Frequency and Microwave Electromagnetic Fields // *Energy & Fuels*, **25** (8), 3731–3738, 2011.
2. Kovaleva L., Musin A., Zinnatullin R., Akhatov I.S. Destruction of water-in-oil emulsions in electromagnetic fields // *Proceedings of ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011-62935*, Denver, Colorado, USA, November 11-17, 2011.
3. Boussinesq J. *Theorie analytique de la chaleur*, vol. 2, Gauthier-Villars, Paris. 1903.

4. Brackbill J. U., Kothe D. B., Zemach C. A. A continuum method for modelling surface tension // J. Comp. Physics. –1992. – Vol. 100, №2. – P. 335 – 354.

© Мусин А.А., Фатхуллина Ю.И. 2012 г.

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ КАК СРЕДСТВО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ****Мухамедкали А.Б., Токушев Е.Д.****Костанайский государственный университет, г. Костанай, Казахстан**

Компьютерные телекоммуникации все настойчивее проникают в различные сферы жизни современного общества: бизнес, финансы, средства массовой информации, науку и образование. Новые информационные технологии создают среду компьютерной и телекоммуникационной поддержки организации и управления в различных сферах деятельности, в том числе в образовании. Современные технологии и телекоммуникации позволяют изменить характер организации учебно-воспитательного процесса, полностью погрузить обучаемого в информационно-образовательную среду, повысить качество образования, мотивировать процессы восприятия информации и получения знаний. Интеграция информационных технологий в образовательные программы осуществляется на всех уровнях: школьном, вузовском и послевузовском обучении. Поэтому информационные технологии становятся неотъемлемым компонентом содержания обучения, средством оптимизации и повышения эффективности учебного процесса, а также способствуют реализации многих принципов развивающего обучения.

Телекоммуникации являются эффективным средством повышения познавательной активности обучаемых и, следовательно, качества самого обучения. Они позволяют решать насущные задачи современного педагогического образования, создавать такие модели организации учебно-воспитательного процесса, которые расширили бы рамки традиционной формы обучения, строить целостное педагогическое пространство жизнедеятельности обучаемого, в котором его самореализация поддерживается путем продуктивной деятельности, инициативы, сотрудничества, самоопределения. Глобальная компьютерная связь открывает реальные возможности повседневного сотрудничества между обучаемыми и педагогами разных учебных заведений в разных городах и странах, по-новому ставит вопрос о возможностях формирования у обучаемых глобального сознания. Она стимулирует введение в практику новых активных методов работы, способствует освоению навыков продуктивной совместной деятельности по достижению общей цели[1].

К сожалению, многие существующие методики эффективного использования телекоммуникационных технологий в процессе обучения, созданные педагогами-практиками, не стали предметом изучения студентами вузов. Но ведь приступая к своей педагогической

деятельности, учитель должен, помимо умения работать с новейшими компьютерными технологиями, иметь представление о возможных способах и новейших методиках их использования в учебном процессе. Опыт теоретического и практического освоения в вузе будущими учителями различных методик использования телекоммуникационных технологий в процессе обучения мог бы стать основой для повышения ими эффективности и качества своего обучения, формирования и дальнейшего совершенствования своего профессионального мастерства.

Таким образом, актуальность статьи обусловлена:

- изменением требований к подготовке будущих учителей в условиях современного этапа развития образования, его информатизации;

- тенденциями к использованию в учебном процессе активных форм учебной деятельности, основанных на использовании современных телекоммуникации.

Сочетание таких свойств компьютерных телекоммуникаций как высокая скорость передачи информации в различном виде посредством электронной почты, возможность организации телеконференций по любой теме, проведение видеолекции с использованием экранно-звуковых средств в обучении, наличие сетевых хранилищ информации в виде информационных серверов создает предпосылки для эффективного их использования в учебном процессе с целью активизации учебной деятельности, при котором:

а) используются индивидуальные, и групповые, и фронтальные методы организации учебной деятельности;

б) ведущее место занимают методы проектной и исследовательской деятельности, а также прочие методы, раскрывающие творческий потенциал обучаемых;

в) развиваются познавательные интересы и представления учащихся, продуцируются их собственные нетрадиционные решения проблем, возникающих в процессе обучения[2].

Телеконференция является одной из наиболее используемых и эффективных телекоммуникационных технологий в образовании, подразумевающих активную форму обучения. Она позволяет участникам самостоятельно формировать свой взгляд на происходящие события, осознавать многие явления и исследовать их с различных точек зрения, решать поставленные проблемы совместными усилиями, задавать друг другу самые разные вопросы, делиться своими идеями.

Учебная телеконференция как средство обучения обладает целым рядом дидактических функций и возможностей. Учебные телеконференции являются новым интересным средством обучения, как активная форма организации процесса обучения, проведение учебных студенческих телеконференций является одной из наиболее приемлемых форм самостоятельной работы студентов. Они помогают приблизить

познавательную деятельность студента к методам исследования науки. Подготовка к участию и работа в учебной телеконференции позволяет индивидуализировать преподавание с учетом интересов студентов, повысить интенсивность их труда, научить анализировать материалы и делать самостоятельные выводы, выносить на общий суд свои суждения, отстаивать свое мнение и дискутировать.

В процессе проведения учебной телеконференции на базе телекоммуникационной сети в ней создается специфическая учебно-познавательная среда, основными характеристиками которой являются:

а) интерактивность, определяемая как активное взаимодействие всех участников обучения друг с другом и с сетевыми информационными ресурсами, поддерживаемое как на техническом, так и на методическом уровне;

б) информативность, насыщенность среды информацией, организованность и удобство пользования данной информационной средой посредством специальных технологических приемов;

в) открытость, данная учебно-познавательная среда является открытой с точки зрения доступа к информационным сообщениям и общения с другими участниками конференции;

г) оперативность, обеспеченная высокой скоростью обмена информацией, возможностью контролировать процесс обучения, поддерживать обратную связь со слушателями, регулярно обновлять информацию о ходе конференции, быстро корректировать ее при необходимости и осуществлять к ней доступ пользователей в любое удобное для них время;

д) интегративность, предусматривающая возможность интеграции данной среды с системой вузовского образования и т.д. как на уровне содержания, так и на уровне организации.

Основным элементом любой конференции является процесс обсуждения определенного вопроса, отличительной чертой телеконференции является использование телекоммуникационных технологий для организации связи удаленных друг от друга участников обсуждения. Учебной же телеконференцией можно назвать в том случае, если здесь осознанно формируется учебная задача, которая определяет все принимаемые технические, технологические и организационные решения.

Отсутствие жестких временных и пространственных рамок позволяет выступить всем желающим без ограничения в любой момент времени проведения телеконференции; у участников появляется возможность подготовить более взвешенное, продуманное сообщение по конкретному вопросу, аргументировано обосновать свое мнение и оформить его в наиболее лаконичном виде. В результате чего происходит развитие рефлексивной культуры человека, его критического мышления.

Участники начинают критически-конструктивно оценивать свои успехи и затруднения. Происходит развитие самосознания и творчества.

Использование учебных телеконференций позволяет значительно активизировать учебную деятельность обучаемых. Это выражается в том, что деятельность студента является непрерывной в период подготовки и участия в конференции; деятельность является всеобъемлющей, в нее включается каждый студент; деятельность строится так, что на каждом этапе студент достигает определенных результатов, и по возможности успешных; деятельность является коллективной, в среде участников конференции создается атмосфера сотрудничества, взаимопонимания; деятельность является многогранной: помимо того, что участники могут одновременно участвовать в обсуждении нескольких содержательных направлений, они также на разных этапах могут менять свои социальные роли, выступая в качестве докладчиков, оппонентов, наблюдателей, экспертов и соответственно, выполняя при этом различные действия; деятельность является профессионально-направленной: во время работы в учебной телеконференции студенты приобретают знания, умения и навыки, которые пригодятся им потом в их профессиональной деятельности.

Работа в учебной телеконференции позволяет участникам повысить свой уровень познавательной активности. Участники читают пришедшие сообщения, пишут и отсылают свои сообщения, используя средства новых информационных и телекоммуникационных технологий. Участники исследуют поставленную задачу, составляют свое суждение по данному вопросу и предлагают варианты решения. Участники могут сами ставить задачу, отыскивать пути и средства ее решения. При этом пути решения задачи избираются новые, нешаблонные, оригинальные. Это выражается, например, в организации участниками новых тем обсуждения, постановке ими новых вопросов, предложении оригинальных способов их исследования, обсуждения и решения.

Организация работы студентов в учебной телеконференции строится в основном на использовании метода "малых групп". Этот метод вносит активный, творческий стиль в сотрудничество преподавателя и студентов, позволяет активизировать контроль за самостоятельной подготовкой и индивидуальной работой студентов.

К характерным особенностям использования этого метода в учебной телеконференции следует отнести деление академической группы в 20-25 человек на неформальные подгруппы в 2-3-5 человек. В такой подгруппе студент, как член неформального объединения, оказывается приближенным к социальной микросфере, которая сильнее воздействует на личность, чем среда академической группы. Малая группа более предметно требует от каждого студента активного индивидуального участия, независимо от его особенностей.

При групповой деятельности малыми коллективами наиболее существенным становится не успех отдельного студента, а успех, который достигается вследствие группового стиля деятельности и взаимопомощи. Одновременно это побуждает к активному участию каждого в работе малой группы[3].

Таким образом, в условиях современного этапа информатизации высшего образования при существующей тенденции к использованию активных методов обучения на основе телекоммуникационных технологий, учебная телеконференция является эффективной и экономичной формой организации процесса обучения. Она позволяет активизировать учебную деятельность и связанные с ней процессы мышления, и, следовательно, улучшить качество обучения студентов.

Литература

1. Лаврушина Е.Г., Моисеенко Е.В. Преподавание информатики в вузе. <http://www.ict.nsc.ru>
2. В. Б. Попов “Интернет-технологии и развитие образования” Воронеж, ВГПУ, 2001.
3. Дерешко Б.Ю. Новые технологии для учебного процесса // Телекоммуникация и информатизация образования. М., 2000. - № 1.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО НИКЕЛЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

Мухаметгалина А.А.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

В данной работе установлено влияние УЗО с высокой амплитудой (100 МПа) на структуру и механические свойства УМЗ никеля, полученного методом РКУП.

Изучено влияние ультразвуковой обработки (УЗО) на микроструктуру и механические свойства никеля, подвергнутого равноканальному угловому прессованию. Показано, что УЗО с амплитудой 100 МПа приводит к усовершенствованию структуры, упрочнению деформированного никеля, при этом происходит одновременное повышение пластичности и незначительное увеличение равномерного удлинения.

Введение

В последние десятилетия большое внимание специалистов, занимающихся созданием и исследованием новых материалов, вызвали наноструктурные материалы (НСМ). Эти материалы обладают уникальной структурой и свойствами, многие из которых имеют непосредственный практический интерес.

В то же время в области технологии получения перспективных материалов широкое применение находят методы интенсивной пластической деформации (ИПД), такие как равноканальное угловое прессование, кручение под квазигидростатическим давлением (КГД) и всесторонняя изотермическая ковка. Ультрамелкозернистые (УМЗ) и нанокристаллические (НК) материалы, полученные с использованием этих методов, обладают высокой прочностью, твердостью, износостойкостью, однако для них характерны значительные искажения кристаллической решетки, источниками которых являются неравновесные границы зерен. В результате пластичность материала резко падает. Стабилизация структуры осуществляется обычно путем отжига, однако этот способ не всегда может обеспечить необходимое улучшение механических свойств материала. Например, при наличии высоких внутренних напряжений в УМЗ и НК материалах рост зерен начинается при более низких температурах, что снимает эффект упрочнения. Поэтому большой интерес представляют иные способы физического воздействия на материалы с целью получения в них

оптимального комплекса свойств, необходимого для их эксплуатации, одним из которых является ультразвуковая обработка.

Ультразвук (УЗ) при определенных условиях оказывает воздействие на фазовые превращения в металлах и сплавах [1,2], рост кристаллов [3] и процессы пластической деформации [4]. В работе [5] установлено, что ультразвуковая обработка поверхности позволяет существенно повысить прочность крупнокристаллического титана. В работах [6,7] показано, что воздействие механических колебаний приводит к ускорению процесса релаксации остаточных напряжений в изделии. Также оказывается возможным локальное изменение субструктуры материала за счет воздействия сфокусированного УЗ - пучка [8]. С помощью моделирования в работе [9] было показано, что при УЗО может происходить усовершенствование структуры дислокационных субгранц, образующихся при пластической деформации.

Наноструктурные металлы, полученные ИПД и характеризующиеся неравновесной структурой границ зерен, обладают низкой термостабильностью структуры и свойств. В работе [10] было исследовано влияние ультразвука на структуру и термостабильность НК никеля, полученного КГД. Было установлено, что при воздействии УЗ умеренной интенсивности в наноструктурном никеле происходит релаксация внутренних напряжений и стабилизация его структуры. В связи с этим УЗО приводит к некоторому повышению термостабильности наноструктурированного никеля.

В работе [10] не были исследованы механические свойства УМЗ никеля, подвергнутого УЗО. Поэтому целью настоящей работы стало выяснение влияния УЗО на механические свойства материала.

Материалы и методика исследований

Исследования были выполнены на образцах технически чистого Ni (99,95%). Нанокристаллическую структуру формировали ИПД методом РКУП (12 проходов) при $T=350^{\circ}\text{C}$. Полутолловые образцы подвергали УЗО, ультразвуковым генератором УЗГ-1 с частотой 22 кГц. Амплитуда напряжения по длине образца изменялась от 0 до 100 МПа по синусоидальному закону.

Для исследования вырезали пластины из середины и с края образца, что соответствовало амплитудам 100 и 0 МПа, т.е. минимальной и максимальной амплитудам. Микроструктура образцов была исследована на просвечивающем электронном микроскопе JEM2000EX. Фольги для электронно-микроскопических исследований готовили стандартными методами на приборе для струйной полировки. Испытания на растяжение проводили при комнатной температуре со скоростью деформации $5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ на плоских образцах с рабочей частью 3Ч1.5Ч1 мм на испытательной

машине Instron. Для каждого исследуемого состояния испытания проводились не менее чем на трех образцах. Измерение микротвердости по Виккерсу осуществляли на установке Axiovert 100A с приставкой МНТ-10 при нагрузке индентора 10 г и времени выдержки 10 с.

Результаты исследования

На рис. 1а изображена микроструктура Ni после 12 проходов РКУП.

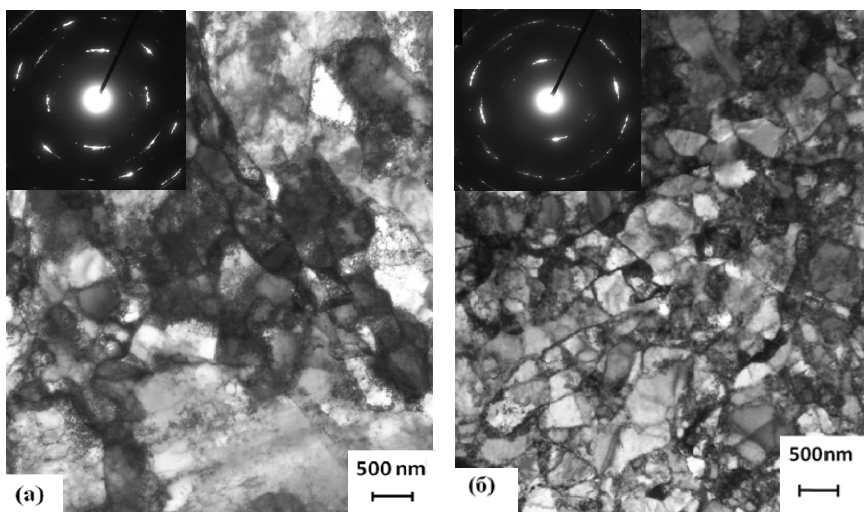


Рис. 1. Микроструктура Ni, (а)-полученного после РКУП, (б)-после РКУП и последующей УЗО с амплитудой 100 МПа

В результате интенсивной пластической деформации была сформирована УМЗ структура со средним размером зерен 460 нм, также встречаются отдельные крупные зерна размером до 2 мкм (рис.1а), что свидетельствует о неоднородном распределении деформации в образце. Также в микроструктуре встречаются отдельные зерна, ориентированные вдоль направления последнего прохода РКУП. Границы видимых зерен искривлены, многие зерна имеют плохо определяемые границы. Наблюдается высокая плотность дислокаций внутри зерен, что, наряду с неровными и нечеткими границами, свидетельствует о высоких внутренних напряжениях и искажениях кристаллической решетки. Все это характерно для неравновесных границ зерен, формирующихся в материале после ИПД.

В результате УЗО с амплитудой 100 МПа в образце сформировалась однородная мелкозернистая структура со средним размером зерен 370 нм (рис.1б). Высокая амплитуда ультразвука способствовала измельчению крупных зерен, наблюдавшихся в состоянии после РКУП. Плотность дислокаций заметно снизилась по сравнению с состоянием образца, необработанного ультразвуком. Границы зерен становятся более четкими и ровными, что является признаком более стабильной структуры. На ПЭМ-изображениях видно, что в этом состоянии сохраняется металлографическая текстура вдоль направления первоначальной деформации.

Азимутальное размытие рефлексов на электронограммах в обоих состояниях свидетельствует о наличии в структуре большого числа мелких зерен.

На рис. 2 и в таблице 1 приведены результаты механических испытаний образцов после РКУП и УЗО с амплитудой 100 МПа.

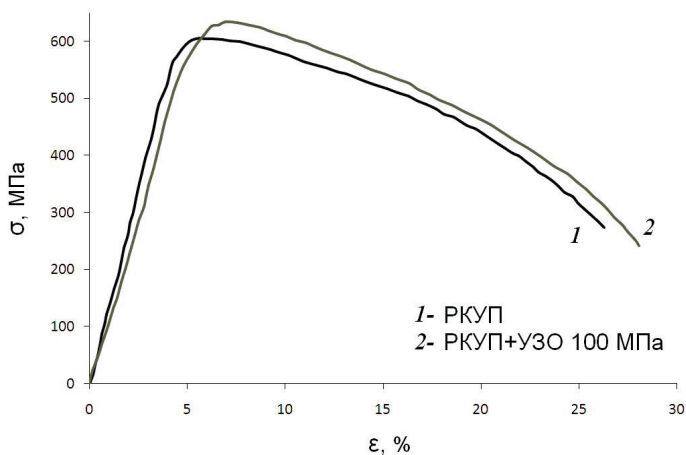


Рис. 2. Кривые растяжения никеля после РКУП и ультразвуковой обработки с амплитудой 100 МПа

Таблица 1. Свойства никеля после РКУП и УЗО с амплитудой 100 МПа

Состояние	H_v , МПа	$y_{0,02}$, МПа	y_b , МПа	d_p , %	d , %
После РКУП	2281	570±20	608±10	1,5±0,5	23±1
После УЗО (100 МПа)	2277	575±20	632±10	2±0,5	26±1

УЗО с данной амплитудой приводит к упрочнению деформированного никеля: предел прочности повышается при практически неизменном пределе текучести. При этом происходит одновременное повышение пластичности на 3% и незначительное увеличение равномерного удлинения.

Испытания показали, что после УЗО не происходит изменения микротвердости и предела текучести, но повышается предел прочности.

Упрочнение никеля, по-видимому, происходит из-за измельчения структуры в процессе УЗО с высокой амплитудой. Одновременное повышение пластичности, вероятнее всего, связано с тем, что границы зерен в этом случае, в отличие от состояния после РКУП, принимают равновесные конфигурации.

Заключение

Исследование, проведенное в данной работе, устанавливает влияние ультразвуковой обработки с высокой амплитудой на структуру и механические свойства ультрамелкозернистого никеля, полученного методом РКУП. Показано, что использование амплитуды переменного напряжения 100 МПа приводит к измельчению и одновременному совершенствованию структуры: уменьшению плотности дислокаций внутри зерен и равновесному состоянию границ зерен. Это оказывает влияние на механические свойства никеля: происходит повышение предела прочности и одновременное повышение пластичности.

Результаты данной работы дополняют ранее проведенные исследования [9, 10] и показывают, что ультразвуковая обработка наряду с отжигом является эффективным методом совершенствования структуры после интенсивной пластической деформации.

Литература

[1] Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Волочение и отжиг стальной проволоки с наложением ультразвуковых колебаний // Применение физических и физико-химических методов в технологических процессах. Научные труды МИСиС. М.: Металлургия, 1991. С. 98-102.

[2] Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Способ термической обработки проволоки перед волочением. Авт. свид. № 1453905 (СССР). 1990.

[3] Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Способ термической обработки проволоки перед волочением. Авт. свид. № 1453905 (СССР). 1990.

[4] Тяпунина Н.А., Найми Е.К., Зиненкова Г.М. Действие ультразвука на кристаллы с дефектами. М.: МГУ, 1999. 238 с.

[5] Колобов И.П., Кашин О.А., Дударев Е.Ф. и др. Влияние ультразвукового деформирования поверхности на структуру и механические свойства поликристаллического и наноструктурного титана // Изв. вузов. Физика. 2000. № 9. С. 45-50.

[6] Носкова Н.И., Вильданова Н.Ф., Дудоров Н.С. и др. Релаксация остаточных напряжений металлов в поле упругих колебаний // Проблемы прочности. 1986. № 9.

[7] Чарикова Н.И., Кетова В.П., Дудоров Н.С. и др. Релаксация внутренних напряжений и перераспределение атомов углерода в стальных образцах в поле упругих колебаний // ФММ. 1988. Т. 65. Вып. 2. С. 341-347.

[8] Клячин В.М., Николаев В.В., Носкова Н.И., Пономарева Е.Г. Локальное изменение субструктуры алюминия и сплава Al+11 вес. % Mg под воздействием сфокусированных ультразвуковых волн // ФММ. 1991. № 6. С. 186-196.

[9] Назаров А.А., Ханнанов Ш.Х. Ультразвуковая стимуляция процесса полигонизации // ФХОМ. 1986. № 4. С. 109-114.

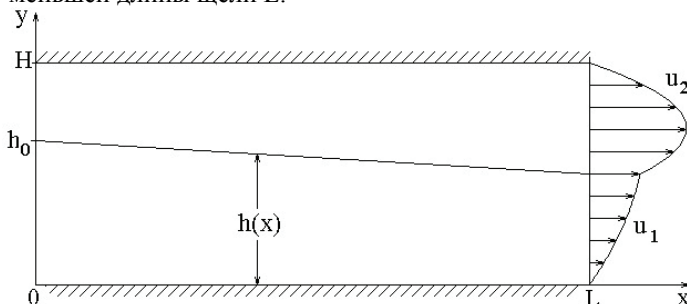
[10] А.А. Назарова, Р.Р. Мулюков, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко, А.А. Назаров. Влияние ультразвуковых колебаний на структуру и свойства ультрамелкозернистого никеля // ФММ. 2010. №. С. 600-607.

ОДНОМЕРНОЕ ДВОЙНОЕ ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА ЧЕРЕЗ УЗКУЮ ЩЕЛЬ

Назмутдинов Айдар Ф., Санкт-Петербургский
государственный университет

Назмутдинов Аскар Ф., Московский государственный университет

Рассматривается установившаяся плоская задача о ламинарном изотермическом течении жидкости и газа, имеющих постоянную вязкость, через щель постоянной ширины H , которая предполагается много меньшей длины щели L .



$$V_x = u, \quad V_y = v \quad (17)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (18)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (19)$$

Последнее предположение позволяет считать давление зависящим только от продольной координаты $p = p(x)$, пренебрегать поперечной составляющей скорости и решать задачу в квазиодномерном приближении, что явно следует из уравнения Навье-Стокса.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (18')$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (19')$$

На основе данных предположений упростили уравнение Навье-Стокса отдельно для жидкости и отдельно для газа.

$$p' = \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\mu_1 \frac{\partial u_1}{\partial y} = p' y + c_1 \quad (20)$$

$$\mu_2 \frac{\partial u_2}{\partial y} = p' y + c_2 \quad (21)$$

$$u_1 = \frac{y(y-c)}{2\mu_1} \frac{dp}{dx} \quad (22)$$

$$u_2 = \frac{(y-H)(y+H-c)}{2\mu_2} \frac{dp}{dx} \quad (23)$$

$$\begin{cases} \bar{f}_1 \frac{dp'}{dx} + p' \frac{\partial \bar{f}_1}{\partial \bar{h}} \frac{d\bar{h}}{dx} = 0 \\ p \bar{f}_2 \frac{dp'}{dx} + p p' \frac{\partial \bar{f}_2}{\partial \bar{h}} \frac{d\bar{h}}{dx} = -(p')^2 \bar{f}_2 \end{cases} \quad (24)$$

Эти 2 уравнения решаются с граничными условиями: равенство напряжений трения на граничном слое (жидкости и газа), равенство скорости на граничном слое, условия прилипания на стенках.

Получили распределения скоростей:

$$\text{где } C = \frac{H^2 - h^2 \left(1 - \frac{\mu_2}{\mu_1}\right)}{H - h \left(1 - \frac{\mu_2}{\mu_1}\right)}.$$

В силу постоянства расхода и с учетом уравнения состояния Клапейрона можно получить систему из 2-х дифференциальных уравнений:

Добавим в систему третье уравнение $\frac{dp}{dx} = p'$ и разрешим

относительно производных.

Обозначим

$$\Delta = p p' \bar{f}_1 \bar{f}'_2 - p p' \bar{f}'_2 \bar{f}_1 = p p' (\bar{f}_1 \bar{f}'_2 - \bar{f}'_2 \bar{f}_1) = p p' \delta.$$

$$\begin{cases} \frac{dp'}{dx} = \frac{(p')^2 \bar{f}'_1 \bar{f}_2}{p \delta} \\ \frac{d\bar{h}}{dx} = \frac{-p' \bar{f}_1 \bar{f}'_2}{p \delta} \\ \frac{dp}{dx} = p' \end{cases} \quad (25)$$

Следует заметить, что при изменении H дифференциальные уравнения и их решения не меняются. Меняются лишь скорости по H^2 и Re по H^3 .

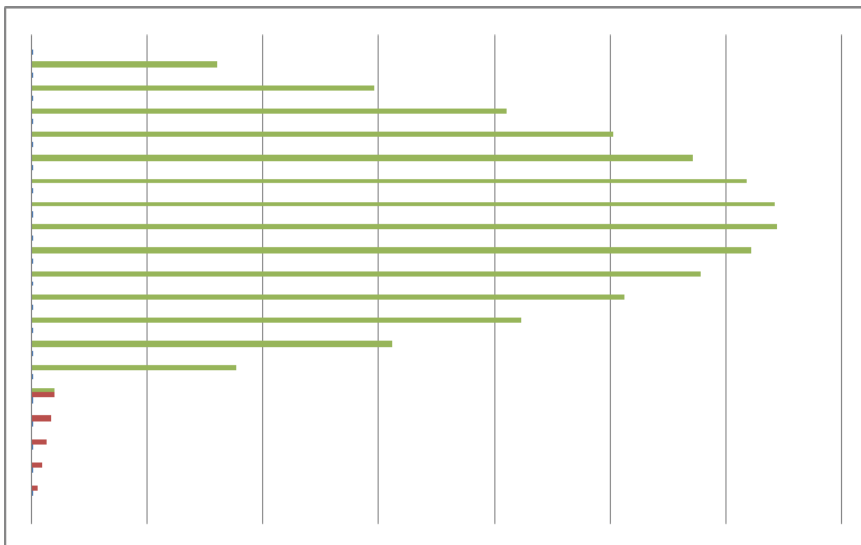
Решим эту задачу Коши для $\frac{\text{воздуха}}{\text{воды}}$ при $L = 10\text{ м}, H = 1\text{ мм}, p_0 = 2\text{ бар},$

$p_a = 1\text{ бар},$ методом Рунге – Кутты_4.

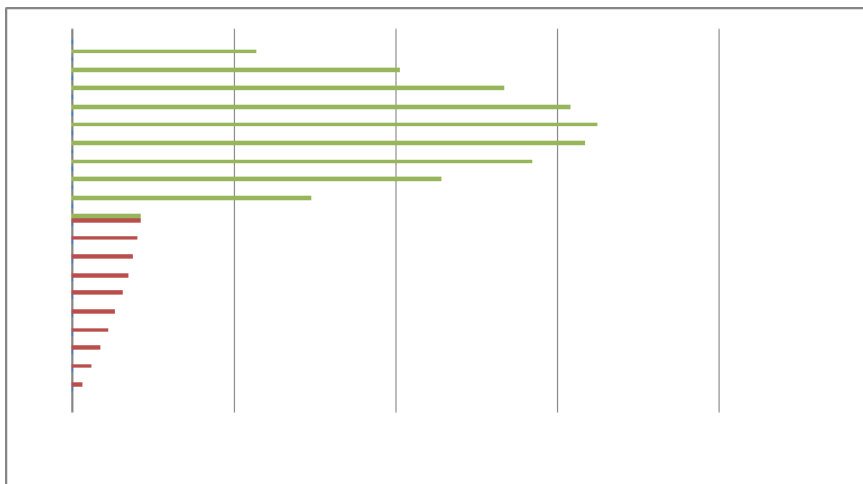
Приведем результаты вычислений для случаев:

1. Высота жидкости в начале щели $h_0 = 0.25$ от высоты щели,
 $p'_0 = -8141\text{ Па / м}.$
2. $h_0 = 0.5, p'_0 = -8727\text{ Па / м}.$
3. $h_0 = 0.75, p'_0 = -9257\text{ Па / м}.$

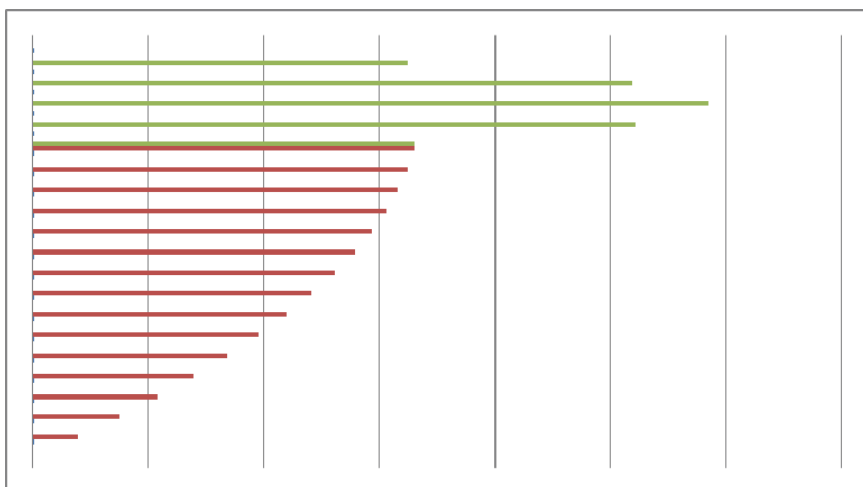
$h = 1/4.$ Начальная эпюра скоростей



$h = 1/2$. Начальная эпюра скоростей



$h = 3/4$. Начальная эпюра скоростей



Рассмотрим основную задачу, но теперь не будем пренебрегать величинами $u \frac{\partial u}{\partial x}, v \frac{\partial u}{\partial y}$ (инерционными силами), остальные предположения примем те же.

Уравнение неразрывности.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{V}) = 0 \Rightarrow \operatorname{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (26)$$

1. Для жидкость в силу несжимаемости:

$$\operatorname{div} \vec{V} = 0 \quad (27)$$

2. Для газа:

$$\operatorname{div}(\rho \vec{V}) = \rho \operatorname{div} \vec{V} + \vec{V} \nabla \rho = \rho \operatorname{div} \vec{V} + u_2 \rho' = 0 \quad (28)$$

Обобщенные уравнения Рейнольдса для смазочного слоя.

Следующий метод применяется в теории смазки. В нашем (ламинарном) случае используется для учета ускорений, которыми не пренебрегаем. Обозначим W^* :

$$W^*(x, y) = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \quad (29)$$

Тогда уравнение Навье-Стокса примет вид:

$$\rho W^* + p' = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (30)$$

В силу того, что толщина слоя много меньше, чем длина, то осреднения картину течения не исказят и вместо $W^*(x, y)$ будем использовать $W(x)$, среднее по сечению:

$$W_1(x) = \frac{1}{h(x)} \int_0^{h(x)} (u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial u_1}{\partial y}) dy \quad (31)$$

$$W_2(x) = \frac{1}{H-h(x)} \int_{h(x)}^H (u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial u_2}{\partial y}) dy \quad (32)$$

Тогда получаем такие системы, (33) - для жидкости и (34-35) - для газа.

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial \rho_1}{\partial y} = \frac{\partial \rho_1}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} (p' + \rho_1 W_1) \\ \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial v_1}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (33)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial \rho_{\Gamma}}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} (p' + \rho_{\Gamma} W_2) \\ p \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) + u_z p' = 0 \end{array} \right. \quad (34)$$

$$p = \rho_{\Gamma} RT \quad (35)$$

Где (35) - уравнение состояния Клапейрона.

Дважды проинтегрировав обобщенные уравнения Рейнольдса, получаем систему из 2-х уравнений, содержащих 4 константы (на самом деле, функций от x). Эти произвольные функции определяются из краевых условий: равенства скорости и напряжения трения на границе раздела жидкости и газа и условия прилипания на верхней и нижней стенках.

В силу условия постоянства расхода, получим два уравнения, продифференцировав которые, получим 2 уравнения искомой системы дифференциальных уравнений:

$$Q_1 = \rho_1 \int_0^{h(x)} u_1 dy = const \quad (36)$$

$$Q_2 = \rho_{\Gamma} \int_{h(x)}^H u_2 dy = const \quad (37)$$

Уравнения для W , с помощью формулы Лейбница (о дифференцировании интеграла с переменными пределами интегрирования), интегрирования по частям и уравнения неразрывности приводятся к виду $w_i = f_i(h, w_1, w_2, p, p', h', w_1', w_2', p'')$.

В этом случае возникает еще по 1-й произвольной функции, которые определяются из условия непротекания на стенках:

$$\frac{v_i}{u_i} (y - h) - \frac{dh}{dx}, i = 1, 2. \quad (38)$$

Полученная система достаточно громоздкая и численно решается методом Рунге-Кутты 4, на каждом шаге которого система разрешается относительно производных численно, прямым методом (Гаусс).

В результате, при сравнении полученных 2-мя способами результатов получается, что решения различаются не более чем на 4%, что, безусловно, является малой величиной и позволяет пользоваться первоначальным предположением о незначительности вклада инерциальных сил.

**ВЛИЯНИЕ ОСАЖДЕННЫХ СЛОЕВ KDP НА
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ**

Неустроев А.С., Захаревич Д.А.

Челябинский государственный университет, г.Челябинск, Россия

Материалы с протонной проводимостью представляют большой интерес благодаря их возможному применению в электрохимических устройствах, таких как батареи, топливные элементы, электрохромные устройства. Протонпроводящие твердые электролиты являются ключевым компонентом топливного элемента – основы водородной энергетики.

Авторами [1] экспериментально обнаружено увеличение протонной проводимости известного протонного проводника полисульфамной кристаллической кислоты $H_2Sb_2O_6 \cdot nH_2O$ (ПСКК) при ее гетерогенном допировании дигидрофосфатом калия KH_2PO_4 (KDP) на 1,5 порядка. При этом попытки описать концентрационную зависимость проводимости в рамках имеющихся моделей протонной проводимости композитов успеха не принесли.

Для выяснения механизма увеличения проводимости в этих композитах и вклада каждого из компонентов были проведены исследования композитов полученных осаждением KDP на поверхность инертных оксидов (TiO_2 (модификаций рутил, анатаз), SiO_2 , $KSbO_3$).

Экспериментальная часть

В качестве исследуемых были выбраны системы ПСКК/KDP, KDP/ SiO_2 , KDP/ TiO_2 , KDP/ $KSbO_3$ с массовой (объемной) долей KDP 0-60% (0-50%). Образцы получали осаждением KDP на поверхность частиц оксидов путем быстрого испарения суспензии оксидов в растворе KDP. Рентгеноструктурные исследования проводили по стандартным методикам для порошков на дифрактометре ДРОН – 3 (фильтрованное $CuK\beta$ излучение). Измерение сопротивления образца производили с помощью моста переменного тока RCL P5030, двухэлектродным методом с блокирующими графитовыми электродами.

Результаты и обсуждение

На рентгенограммах образцов систем ПСКК/KDP, SiO_2 /KDP, $KSbO_3$ /KDP дифракционные максимумы, относящиеся к KDP, появляются при объемной доле KDP более 30%.

Температурные зависимости проводимости всех приготовленных образцов имеют подобный вид, с локальным максимумом при нагревании

и аррениусовской или дугообразной зависимостью при охлаждении (рис. 1). Такое же поведение при изменении температуры наблюдается для протонной проводимости чистой ПСКК, при этом максимум проводимости при нагреве объясняется частичной дегидратацией образцов [2]. Термоциклирование образцов в диапазоне 293-420 К приводит к уменьшению проводимости для систем ПСКК/KDP, KDP/SiO₂ и KDP/KSbO₃ и не влияет на проводимость образцов системы KDP/TiO₂.

Концентрационные зависимости проводимости при температуре 350 К (охлаждение) для всех систем, за исключением KDP/KSbO₃, немонокотны, с максимумом, наблюдаемом при объемной доле KDP 10-30 % (рис. 2, табл. 1). Величина проводимости в максимуме для всех изученных систем превосходит величины проводимости для чистых компонентов.

Таблица 1. Характеристики образцов изученных систем с максимальной проводимостью

№	Система	Объемная доля KDP, %	Средняя толщина слоя KDP, Е	U_{max} , См/см
1	ПСКК/KDP	13	2	0,135
2	KDP/TiO ₂	16	2,5	⁶ 1,45·10 ⁻
3	KDP/SiO ₂	20	3	3,2·10 ⁻⁷

Методика приготовления образцов и данные рентгенофазового анализа позволяют предположить, что образцы изученных систем с объемной долей KDP менее 30% состоят из кристаллов оксида, покрытых пленкой KDP. При этом возможно образование на границе двух фаз переходного слоя, интерфейса. Именно в таких слоях возможно образование разупорядоченного и относительно устойчивого состояния, в котором может происходить быстрый ионный транспорт [3]. Структуры ПСКК, SiO₂, KSbO₃, TiO₂ и KDP не соразмерны, т.к. во-первых, принадлежат к разным структурным типам, во-вторых, параметры элементарных ячеек не являются кратными, что говорит о не возможности протекания процесса эпитаксии, вследствие чего можно говорить об аморфности слоя KDP. Возможность образования и устойчивости интерфейса определяется энергией адгезии между оксидом и KDP. В случае сильной адгезии может иметь место структурное превращение или образование метастабильного

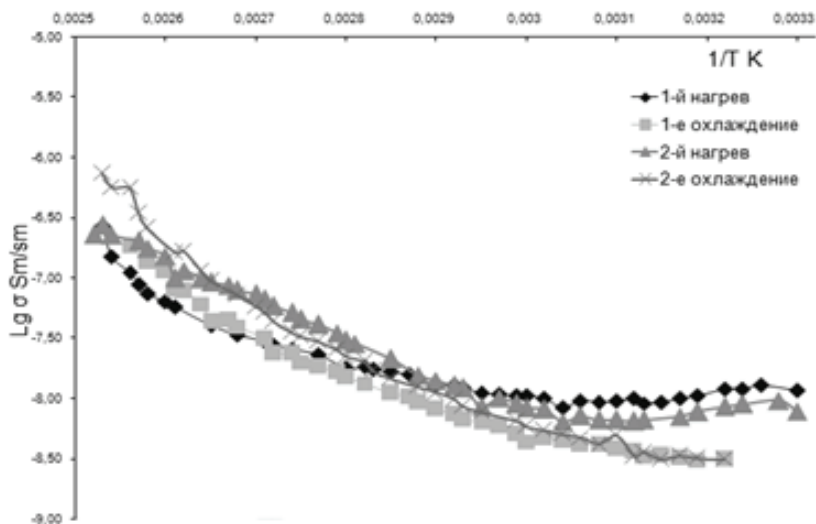


Рис. 1. Зависимость проводимости при термоциклировании для композита $\text{TiO}_{2(\text{rut})}/\text{KDP}$

интерфейса. При слабой адгезии происходит самостоятельная кристаллизация KDP. Наконец, при некоторой промежуточной адгезии может образоваться относительно устойчивый переходный слой. Существует критическое значение толщины такого слоя, выше которой становится выгодной кристаллизация компонентов с образованием резкой межфазной границы. Это значение равно отношению поверхностной энергии и удельной энергии интерфейса, и находится в пределах 1,5-6,5E [3,4], в которые попадают и оценочные средние толщины слоев KDP в образцах с максимальной проводимостью. Кроме того, значения объемной доли KDP в образцах с максимальной проводимостью близки к порогу перколяции. Поэтому можно предположить, что резкое увеличение проводимости при этой объемной доле связано с образованием интерфейсного кластера простирающегося на весь образец. При увеличении объемной доли KDP (толщины слоя) термодинамически выгодной становится кристаллизация KDP. Кристаллы KDP не являются проводниками и блокируют проводящие пути, что приводит к уменьшению проводимости композитов.

Таким образом, образцы композитов KDP/оксид полученные осаждением из раствора при объемной доле KDP около 15% обладают

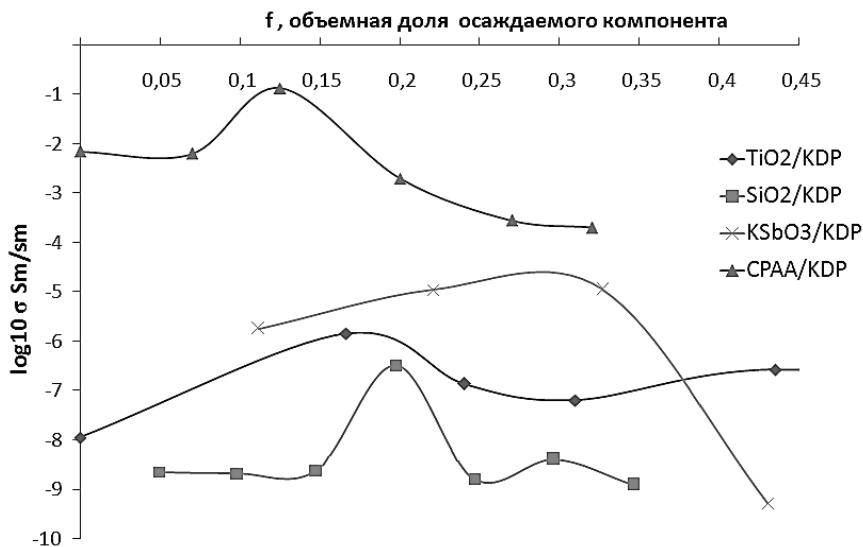


Рис. 2. Проводимость композитов в зависимости от объемной доли осаждаемого компонента

проводимостью на порядки величины превышающей проводимость чистых компонентов. Известно, что проводимость низкотемпературных протонных проводников сильно зависит от степени гидратации, т.е., содержания воды. При этом большую роль в обеспечении высоких значений протонного переноса играет поверхностная вода, обеспечивающая межзеренный транспорт протонов. Чистая вода обладает очень низкой протонной проводимостью, однако, является средой, в которой наблюдаются самые высокие значения подвижности протонов (водные растворы кислот). KDP также не является протонным проводником, однако, его тонкие слои, согласно представленным результатам, являются средой обеспечивающей значительное увеличение проводимости как протонпроводящих так и непроводящих оксидов. Таким образом, KDP можно рассматривать как аналог воды гидратации, «увлажняющий» агент. При этом в случае воды высокая подвижность протонов связана с высокой вращательной подвижностью молекул воды. По аналогии можно предположить, что высокая подвижность протонов в изученных композитах связана с вращательной подвижностью фосфатных групп. Второй компонент изученных композитов может служить донором подвижных носителей заряда. Это косвенно подтверждается изменением относительных интенсивностей дифракционных максимумов ПСКК при осаждении KDP, которое отмечалось авторами [1], связанным с частичным замещением протонов в структуре ПСКК ионами калия. Очевидно, замещаемые протоны

оказываются в интерфейсном слое и, при условии вращательной подвижности фосфатных группировок, способны обеспечить высокие значения протонной проводимости композитов.

Потеря гидратной оболочки порошковым протонным проводником при температуре, близкой к 100°C, приводит к значительному снижению проводимости в основном за счет блокирования носителей на границах зерен. Например, в случае чистой ПСКК частичная дегидратация в диапазоне температур 80-100°C приводит к падению проводимости почти на 2 порядка величины [2]. Как следует из результатов проведенных исследований (рис. 1) протонная проводимость композитов KDP/оксид при нагреве достигает максимума при существенно менее высоких температурах, а его величина значительно меньше. Таким образом, интерфейс оказывается более стабильным «увлажняющим агентом» чем вода, что позволяет использовать предложенный подход для синтеза протонпроводящих материалов с более широким температурным интервалом устойчивости.

Уменьшение проводимости при термоциклировании, наблюдаемое для некоторых систем можно объяснить протеканием химической реакции между компонентами композита, что было подтверждено экспериментально для системы ПСКК/KDP [1].

Выводы

1. В изученных композитах KDP/оксид наблюдается увеличение протонной проводимости на 1-2 порядка, по сравнению с исходными веществами, при объемной доле KDP 10-20%

2. Высокие значения проводимости связаны с образованием на границе двух фаз переходного слоя (интерфейса), в котором происходит быстрый протонный перенос.

Литература

1. Zakharyevich D.A., Neustroev A.S., Proton Conduction through Interface Phase of CPAA/KDP Composites // Functional Oxide Nanostructures and Heterostructures, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 1256E, 1256-N16-42 (2010).

2. Бурмистров В.А., Чернов В.М., Валеев Р.И., Адрианова Н.Е. Перенос протонов в гидрате пентаоксида сурьмы // Неорганические материалы, 1998, Т. 34, № 5, С. 1 - 4

3. Уваров Н.Ф. Композиционные твердые электролиты. СО РАН (2008)

4. L.P.H. Jeurgens, Z. Wang, E.J. Mittemeijer. Thermodynamics of reactions and phase transformations at interfaces and surfaces // International Journal of Materials research. 2009. V.100. N10. P.1281-1307.

**ВЛИЯНИЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ
НА МАРТЕНСИТНУЮ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

**Протасова Е.О., Киселева С.К., Абрамова М.М., Караваева М.В.
Уфимский государственный авиационный технический университет
г. Уфа, Россия**

Стали широко применяются в качестве конструкционных материалов благодаря их доступности и хорошим эксплуатационным свойствам. Разработка новых технологий обработки данных материалов дает возможность значительно расширить область их применения. Так, развитие методов интенсивной пластической деформации (ИПД) позволяет добиться уникальных свойств в результате формирования субмикро- и нанокристаллической структуры в объемных материалах [1-3]. Создание нанокристаллических (НК) материалов на сегодняшний день являются одним из перспективных направлений в области материаловедения. Это обусловлено их уникальными физико-механическими свойствами. Прежде всего, значительным увеличением прочностных характеристик.

Среди конструкционных материалов наибольшее распространение получили углеродистые стали. Это связано с их относительной дешевизной. Формирование в углеродистых сталях НК структуры позволит расширить их область применения и в ряде случаев заменить ими высоколегированные стали. Как известно, исходная микроструктура существенно влияет на формирование НК структуры в результате интенсивной пластической деформации (ИПД) [4-5]. Как правило, в качестве исходного состояния перед ИПД используют равновесную ферритно-перлитную структуру. Предполагается, что использование мартенситной структуры в качестве исходного состояния позволит существенно повысить прочностные характеристики стали в результате ИПД, так как в процессе деформации также будут протекать фазовые превращения.

В связи с этим целью данной работы было изучение влияния предварительной термической обработки стали 45 (закалка на мартенсит) на возможность получения высоких статических характеристик за счет последующей интенсивной пластической деформации.

В качестве материала исследования была выбрана конструкционная среднеуглеродистая сталь 45 стандартного химического состава (табл. 1).

Таблица 1

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.42-0.5	0.17-0.37	0.5-0.8	До 0.3	До 0.04	До 0.035	До 0.25	До 0.3	До 0.08

В качестве метода интенсивной пластической деформации была выбрана схема равноканального углового прессования (РКУП). Процесс РКУП реализовывался на базе Института физики перспективных материалов ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет». РКУП подвергались цилиндрические заготовки стали 45 диаметром 10 мм и длиной 60 мм. При РКУП заготовка неоднократно продавливается в специальной оснастке через два канала с одинаковыми поперечными сечениями, пересекающимися под углом 120° (рис. 1). Температура РКУП составила 350°C . Количество проходов $N=8$. Этот метод позволяет получать объемные заготовки с ультрамелкозернистой и нанокристаллической структурой [1].

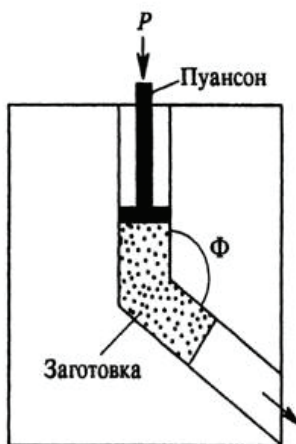


Рис. 1. – Принципиальная схема равноканального углового прессования

Исследования микроструктуры проводили на оптическом микроскопе OLYMPUS GX 51 и растровом электронном микроскопе JSM-6390. Микротвердость стали определяли на микротвердомере Struers DuraMin при приложении нагрузки $0,1\text{кг}$ в течении 10 секунд вдоль поперечного сечения образца с шагом $0,5\text{мм}$.

Механические свойства определяли на испытательной машине INSTRON 8801 на стандартных цилиндрических образцах с длиной рабочей части 15мм. Испытаниям подвергали не менее двух образцов в каждом состоянии.

В исходном состоянии сталь 45 имела ферритно-перлитную структуру (рис. 2, а). Среднее значение микротвердости составило 258 HV (рис. 3). Предварительная термическая обработка включала нагрев до аустенитного состояния с последующим охлаждением в воду. В результате закалки в прутке стали 45 была сформирована мартенситная структура по всему объему (рис. 2, б). Средняя микротвердость составила 695 HV (рис. 3).

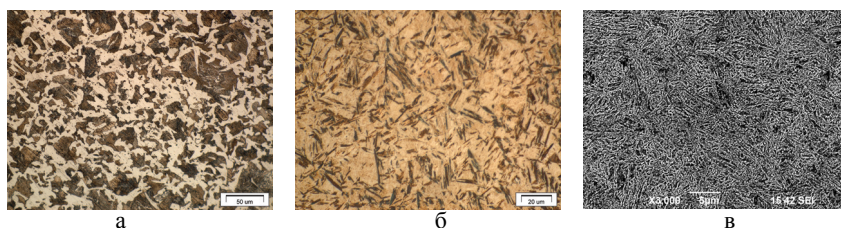


Рис. 2 –Микроструктура стали 45 в различных структурных состояниях: а – в состоянии поставки; б – после термической обработки; в – после РКУП

После РКУП на всех образцах не было обнаружено трещин, что говорит о достаточной пластичности материала в данных условиях деформации. В результате РКУП в материале образцов была сформирована нанокристаллическая структура (рис. 2, в). Средняя микротвердость образцов составила 410 HV (рис.3).

На рисунке 3 показано изменение микротвердости стали 45. Как видно, по сравнению с исходным состоянием микротвердость образцов после РКУП возросла на 58%.

Проведение механических испытаний на статическое растяжение позволило проанализировать изменение свойств в результате термического и деформационного воздействия на сталь. В исходном ферритно-перлитном состоянии были получены следующие характеристики: предел прочности $\sigma_B=1200$ МПа, относительное удлинение $\delta=7\%$ (рис. 4а).

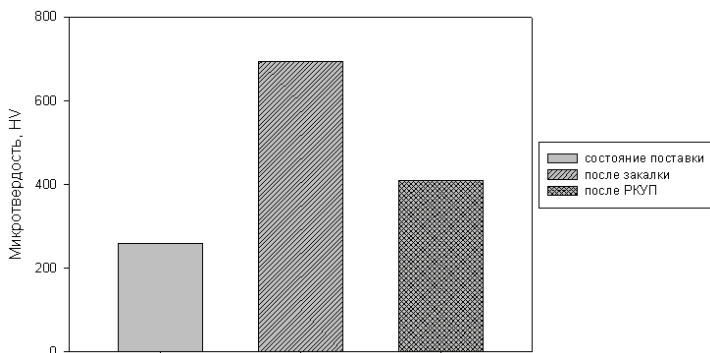


Рис. 3 – Изменение микротвердости стали 45 в различных состояниях

В закаленном состоянии предел прочности повышается до 1800 МПа, однако резко снижается пластичность (до 2%). После РКУП предел прочности составил $\sigma_B=1400$ МПа, но при этом пластичность снизилась до $\delta=5\%$ (рис. 4б).

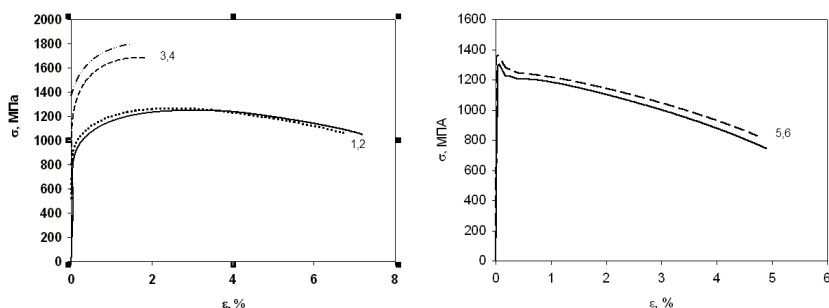


Рис. 4 – кривые растяжения образцов стали 45: 1,2 – в состоянии поставки; 3,4 – после закалки; 5,6 – после РКУП

По результатам механических испытаний можно сказать, что кривые растяжения образцов стали 45 в исходном, закаленном состоянии и после РКУП отличаются. В закаленном состоянии заметно сильное повышение прочности и малая пластичность, по сравнению с исходной структурой, где прочность невысока, а пластичность хорошая. Прочность повысилась на 25%, пластичность упала в 3,5 раза. В состоянии после РКУП появляется зуб текучести, что может быть связано с торможением дислокаций либо атмосферами элементов внедрения, либо дислокациями деформационного происхождения. После РКУП удается сохранить удовлетворительную пластичность: 5%. По сравнению с закаленным состоянием эта характеристика увеличилась на 33%.

Анализ изломов образцов показал определенные особенности после статического растяжения стали после РКУП. Излом имеет вид «чашка-конус», что характерно для статического растяжения (рис. 5, а).

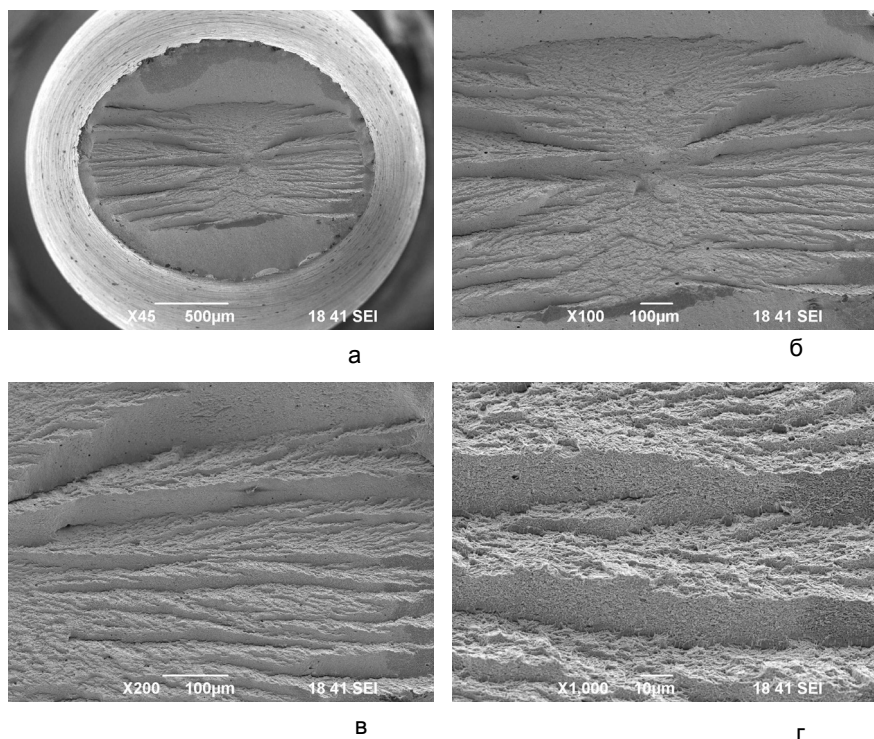


Рис. 5 – поверхность разрушения стали 45 после испытания на растяжение: а – панорамное изображение; б, в, г – радиальные рубцы

Очаг разрушения расположен вблизи оси образца (рис. 5, а, б). Необычной является эллиптическая центральная зона с радиальными рубцами, расположенными в одном направлении (рис. 5, б-г). Это может быть связано с формированием текстуры, получившейся в процессе РКУП и требует дальнейшего изучения.

Полученные результаты показывают, что в результате РКУП стали 45 в исходном мартенситном состоянии удалось повысить прочностные характеристики по сравнению с исходным ферритно-перлитным состоянием. При этом микротвердость повысилась на 60%. Такое повышение связано с формированием дисперсной структуры в результате ИПД.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 11-08-91330-ННИО_а и 11-08-00208 – а.

Литература

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
2. Добаткин С.В., Арсенкин А.М., Попов М.А. и др. Получение объемных нано- и субмикроструктурных материалов методом интенсивной пластической деформации // МиТОМ. 2005. №5. с. 29-34
3. Valiev R.Z., Islamgaliev R. Люб Alexandrov I.V. // Progress in Material Science. 2000. V.45, No. 2. P. 102-189
4. Yoshitaka Okitsu, Naoki Takata, Nobuhiro Tsuji // Scripta Materialia, Volume 60, Issue 2, January 2009, Pages 76-79
5. Киселева С.К., Караваева М.В., Зарипов Н.Г., Ганеев А.В., Валиев Р.З., Ганеев А.В. // МиТОМ, № 4, 2012, сс.3-8.

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ПОСТРОЕНИЕ 24 КАНАЛЬНОЙ DWDM ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Рямова А.Д., Лопатюк А.В.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

В работе выполнены основные расчеты, необходимые для построения 24 канальной DWDM волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) длиной 250 км, функционирующей со скоростью 10 Гбит/сек на один канал. Рассматриваемая линия передачи реализуется программно и является наиболее рентабельным методом повышения полосы пропускания современных ВОЛП.

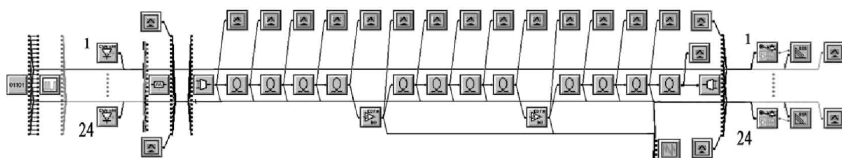


Рис. 1. 24 канальная ВОЛП, построенная в компьютерной программе LinkSim

Каждая длина волны в линии со спектральным мультиплексированием представляет отдельный оптический канал. При помощи мультиплексирования в едином световом потоке, пересылаемом по оптическому волокну, можно объединить от четырех до 80 и более информационных каналов с разной длиной волны. DWDM – технология плотного спектрального уплотнения, где для каждого канала служит своя частотная полоса, с разном центральных несущих (сеткой частот) от 100 до 12,5 ГГц (по длине волны от 0,8 до 0,1 нм) в третьем окне прозрачности (диапазоны 1530 - 1565 нм (С-диапазон) и 1570 - 1625 (L-диапазон)). При этом в одном оптическом волокне возможно передавать от 40 до 360 каналов в С-диапазоне и до 560 - в L-диапазоне, в зависимости от шага сетки частот, со скоростями до 10 и 40 Гбит/с.

Главное достоинство технологии WDM заключается в том, что она позволяет преодолеть ограничения на пропускную способность канала и существенно увеличить скорость передачи данных. Причем используются уже проложенный волоконно-оптический кабель.

Рассчитаем требуемые параметры волоконно-оптической линии передачи.

Регенерационная длина по дисперсии L_d определяется из выражения

$$L_{\text{д}} \leq \frac{0,25}{\sigma_{\gamma} \cdot B} \quad (1)$$

где: δ_{γ} – среднеквадратичное удельное уширение импульса, B – скорость передачи оптического сигнала в линии

Так как в одномодовых световодах межмодовая дисперсия отсутствует, уширение импульса определяется только хроматической дисперсией:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{хр}}^2 + \sigma_{\text{мех}}^2}{L}} = \sigma_{\text{хр}} \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{хр}} = \Delta\lambda \cdot L \cdot D(\lambda)$$

где: $\Delta\lambda$ – ширина спектра излучения лазера, равная 0,1 нм, ΔD – коэффициент хроматической дисперсии.

$$\sigma_{\gamma} = \frac{\sigma_{\text{хр}}}{L} = \frac{\Delta\lambda \cdot L \cdot D(\lambda)}{L} \quad (3)$$

$$L_{\text{д}} \leq \frac{0,25}{0,6 \cdot 10^{-12} \text{с/км} \cdot 10 \cdot 10^9 \text{бит/с}} = 41,7 \text{км}$$

$$\sigma_{\gamma} = \Delta\lambda \cdot D(\lambda) = 0,1 \text{нм} \cdot 6 \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} = 0,6 \frac{\text{пс}}{\text{км}}$$

Таким образом, регенерационная длина с заданной скоростью передачи для данной линии ограничена 41,7 км. Так как длина линии составляет 250 км, то необходимо установить 6 компенсаторов дисперсии.

Чтобы добиться компенсации накопленной дисперсии, должны выполняться следующие уравнения:

$$L_{\text{NZDSF}} \cdot D_{\text{NZDSF}} + L_{\text{DCF}} \cdot D_{\text{DCF}} = 0 \quad (4)$$

где L_{NZDSF} , L_{DCF} – длины передающего и компенсирующего волокон, D_{NZDSF} , D_{DCF} – дисперсия передающего и компенсирующего волокон

Получим длину компенсирующего волокна:

$$L_{\text{DCF}} = \frac{D_{\text{NZDSF}}}{D_{\text{DCF}}} \cdot L_{\text{NZDSF}} = \frac{3,4 \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}}}{-60 \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}}} \cdot 41,7 \text{км} = 2,38 \text{км}$$

В результате расчетов получаем для участка длиной 41,7 км с накопленной дисперсией 142 пс/нм длину компенсирующего волокна равной 2,4 км, при условии выбора волокна с коэффициентом хроматической дисперсии равным -60 пс/нм км.

Усилительную длину волокна определим из формулы рассчитывающей энергетический потенциал системы:

$$P_{\text{ит}} - N_p \cdot \alpha_p - \alpha_n \cdot (N_n + N_n(\text{DCF})) - \alpha \cdot L_s - \alpha_{\text{DCF}} \cdot L_{\text{DCF}} \geq P_{\text{вх.ус}} + \mathcal{E} \quad (5)$$

$$L_s \leq \frac{P_{\text{ит}} - N_p \cdot \alpha_p + \alpha_n - \alpha_{\text{DCF}} \cdot L_{\text{DCF}} - N_n(\text{DCF}) \cdot \alpha_n(\text{DCF}) - P_{\text{вх.ус}} - \mathcal{E}}{\left(\alpha + \frac{\alpha_n}{L_{\text{сд}}}\right)}$$

где $P_{\text{ит}}$ – уровень мощности излучателя, $P_{\text{вх.ус}}$ – минимальный уровень сигнала на входе фотодетектора, α_n – потери на неразъемном соединении, α_p – потери на разъемном соединении, N_p – количество разъемных соединений, N_n – количество неразъемных соединений, α – затухание в волоконном световоде, $L_{\text{сд}}$ – строительная длина кабеля, \mathcal{E} – энергетический запас системы.

Подставив данные получим:

$$L_s \leq \frac{0,02 \text{ Вт} - 5 \cdot 0,3 \text{ дБ} + 0,05 \text{ дБ} - 0,53 \frac{\text{дБ}}{\text{км}} \cdot 4,8 \text{ км} - \left(\frac{4,8 \text{ км}}{4 \text{ км}} - 1\right) \cdot 0,05 \text{ дБ} + 30 \text{ дБ} - 6 \text{ дБ}}{\left(0,22 \frac{\text{дБ}}{\text{км}} + \frac{0,05 \text{ дБ}}{4 \text{ км}}\right)} \leq 86 \text{ км}$$

В результате проделанных расчетов получаем длину регенерационного участка по дисперсии 41,7 км, по энергетическому потенциалу - 86 км. Количество необходимого компенсирующего оптического волокна для рассматриваемой линии с вышеуказанными длинами регенерационных участков составляет 2,38 км.

Используя расчетные данные, строим ВОЛП в специальном программном обеспечении (рис. 1).

Модель на рис. 1. представляет собой линию передачи состоящую из конкретно выбранных компонентов.

Передающая часть включает генераторы информационной последовательности и электрического сигнала, 24 передатчика, сигналы которых модулируются в электро-оптическом модуляторе и объединяются в мультиплексоре в один поток. Транзитная часть состоит из оптических усилителей и попеременно чередующихся волокон с положительно и отрицательной дисперсией. Приемная сторона содержит демультиплексор, разделяющий информационный поток на 24 канала и 24 приемника.

Результаты моделирования, полученные LinkSim, включают графики формы сигнала и глаз-диаграммы в любой точке оптической линии связи.

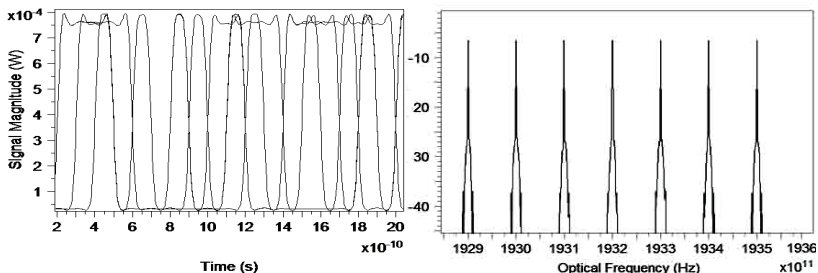


Рис. 2. Осциллограмма (слева) и спектрограмма (справа) сигнала на выходе мультиплексора

На спектрограмме мультиплексированного сигнала видна четкая разделяемость каналов, разнос частот между каналами составляет 100 ГГц, каналы расположены в соответствии со стандартным каналным планом.

Чтобы проверить работоспособность системы нужно выявить коэффициент ошибок, который определяется на выходе приемника BER-тестером.

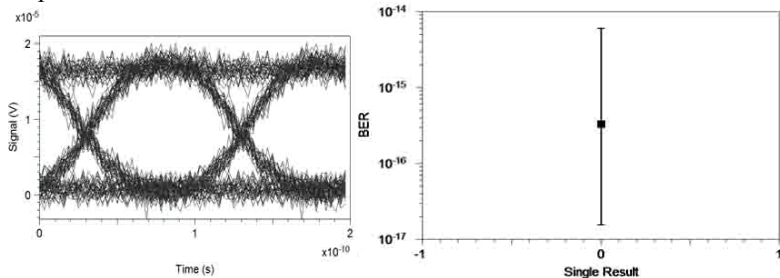


Рис. 3. Глаз-диаграмма сигнала на выходе ФП (слева) и график коэффициента ошибок (справа)

Уровень битовых ошибок составляет $BER=10^{-15}$, что говорит о том, что работа системы соответствует сетевым стандартам.

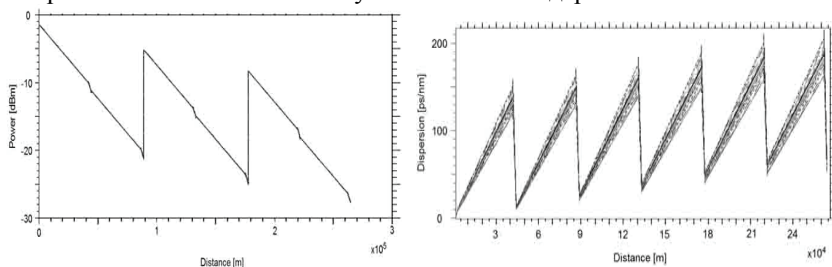


Рис. 4. Диаграмма изменения мощности (слева) и дисперсии (справа) сигнала на протяжении линии

Из представленных рисунков виден характер изменения мощности и дисперсии распространяемого сигнала по транзитной части смоделированной линии передачи. Из графика распределения мощности сигнала хорошо просматриваются участки усиления, соответствующие 17 дБм. По графику изменения дисперсии видны участки установленных компенсаторов и вносимые ими значения отрицательной дисперсии которые равны 144 пс/нм, что соответствует расчетным данным. Значение коэффициента дисперсии для разных длин волн отличается в связи с наклоном дисперсионной кривой на протяжении используемого диапазона длин волн 1535,82 нм – 1554,13 нм, вследствие чего наблюдается расхождение значений дисперсий для разных каналов по прошествии некоторого расстояния.

Используемый метод построения и исследования ОСП позволяет упростить задачу практической реализации линий передачи, создать предпосылки модернизации рассматриваемых линий и позволяет подобрать оптимальное по своим характеристикам оборудование.

Литература

1. Жирар А. Руководство по технологии и тестированию систем WDM. – М.: EXFO, 2001. / Пер. с англ. под ред. А.М. Бродниковского, Р.Р. Убайдуллаева, А.В. Шмалько. / Общая редакция А.В. Шмалько.
2. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
3. Лопатюк А. В. Методические указания по курсовой работе на тему «Расчет регенерационного участка ВОЛС». – Уфа: РИО БашГУ, 2004.
4. Микилев А. И. Компенсация дисперсии в ВОЛС — опыт OFS / Фотон-экспресс, №02, 2010, с. 36-38.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПУЗЫРЬКОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АКУСТИЧЕСКОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ

Саметов С.П., Хасанова А.А.

Башкирский государственный университет, центр «Микро- и наномасштабная динамика дисперсных систем», г. Уфа, Россия;
Институт механики УНЦ РАН, г. Уфа, Россия

При исследовании кавитационной устойчивости основное внимание, вплоть до настоящего времени, уделялось изучению динамики одиночного пузырька. Это связано, в первую очередь, с открытием явления однопузырьковой сонолюминесценции и появлением возможности регистрировать движение поверхности одиночного пузырька с помощью высокоскоростной фотографии. Прямых экспериментов по изучению динамики пузырьковых кластеров и по самоорганизации пузырьков на сегодняшний день насчитываются единицы: исследования новосибирской научной группы (Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН) и немецкой научной группы (Третий физический институт, Университет г. Гёттингена). Существующие теоретические исследования сводятся или к рассмотрению кластера как пузырьковой жидкости, без учета динамики индивидуального пузырька, или к рассмотрению одиночного пузырька, предполагая, что эффекты от индивидуальных пузырьков могут быть просуммированы, или к изучению нескольких (обычно – двух) взаимодействующих пузырьков, и не дают полного описания систем с пузырьковыми кластерами. Поскольку при течении жидкости в условиях кавитации кавитационные пузырьки могут группироваться (это явление называется самоорганизацией пузырьков), то исключительное значение приобретает математическое моделирование динамики пузырьков в кластере.

Самоорганизация пузырьков возникает в результате обоюдного влияния пузырек–акустическое поле. Фактически, это сложный и сильно нелинейный эффект, изучение которого сводилось к приближенным исследованиям, пренебрегающим рядом параметров. Например, Кобелев и Островский (1989) предлагали математическую модель движения пузырьковой жидкости под акустическим воздействием, которая принимала во внимание диссипацию и движение пузырьков в связи с первичными силами Бьеркнеса, Стокса и присоединенной массы. А в работах Ахатова (1994, 1996) была предложена модель, демонстрирующая неустойчивость двумерного однородного распределения пузырьков. Однако существующие модели рассматривают в основном одномерные и двумерные постановки с некоторыми

ограничениями. Задача является актуальной, так как на сегодняшний день нет четкого представления о механизме процесса, и для его детального понимания необходимо прибегнуть к компьютерному моделированию и результатам экспериментальных исследований. Актуальность исследования динамических процессов при акустической кавитации также обусловлена их широким распространением в природе и технике.

Акустическая кавитация – процесс образования, роста, периодических пульсаций и последующего схлопывания газового пузырька в жидкости под воздействием периодически изменяющегося давления. Частота пульсаций давления в жидкости может быть различной – от десятков герц до десятков мегагерц. В каждом частотном диапазоне используется специфический тип преобразователя электрических колебаний в акустические.

Для исследования динамики пузырьков под воздействием ультразвукового поля была собрана следующая установка (рис. 1).

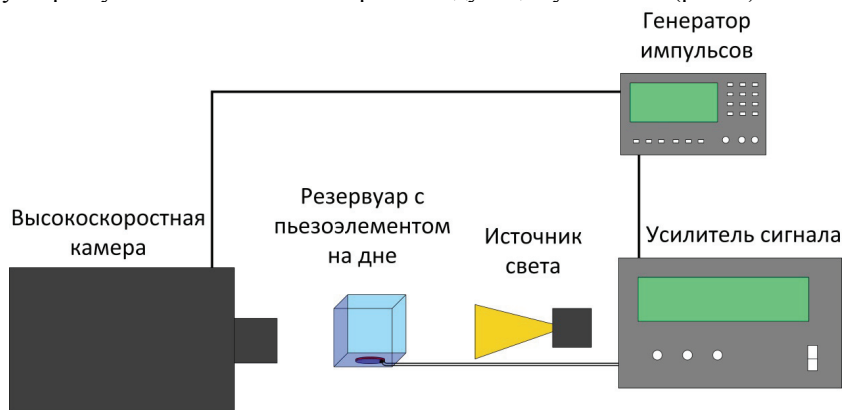
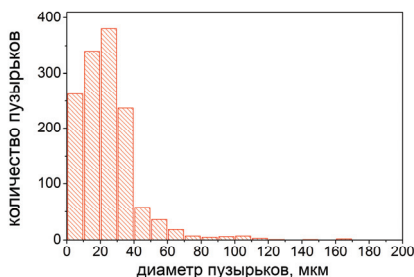
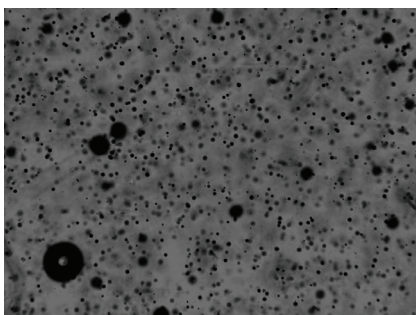


Рис. 1. Схематическое изображение экспериментальной установки для исследования кавитационных процессов в пузырьковой жидкости

Экспериментальная установка включает в себя выполненный из оргстекла прозрачный куб, в котором изучается динамика пузырьковой жидкости, ко дну куба при помощи эпоксидного клея приклеен керамический пьезоэлемент. От генератора импульсов Agilent 33522A на пьезоэлемент подается сигнал необходимой формы, частоты и амплитуды. Сигнал усиливается с помощью усилителя AG Series Amplifier T&C Power Conversion Inc. Процессы, происходящие в кубе, размеры которого 3x3x3 см, записываются с помощью высокоскоростной камеры Photron FastCam SA 5, максимальная частота кадров которой может составлять 775 000 кадров в секунду. Для более детального

наблюдения используется длиннофокусный микроскоп Infinity. Так как генерировать пузырьковую жидкость в кубе объемом 27 см^3 ($3 \times 3 \times 3 \text{ см}$) достаточно сложно, в отдельном сосуде при помощи трубки Вентури создается пузырьковая жидкость, которая заполняет куб до отметки 2,2 см, что соответствует 20 мл воды. Для того, чтобы пузырьки воздуха в воде не коалесцировали, в дистиллированную воду добавлена обычная поваренная соль в соотношении 300 мл воды к 20 г соли. Полученный раствор отфильтровывается через фильтровальную бумагу. Из проведенных экспериментов можно говорить, что пузырьки воздуха могут существовать в жидкости при таком соотношении воды и соли не меньше минуты. Размеры же пузырьков оцениваются в пределах 3 – 170 мкм, средний диаметр около 25 мкм.

Размеры пузырьков получены из наблюдений за всплыванием пузырьков в кубе без поля. Так как в начальный момент наполнения куба пузырьковой жидкостью, концентрация пузырьков велика, то получить удобную для анализа фотографию удалось только после 17 секунд (рис. 2а). фотография была сделана у самой стенки куба, так как только в этом случае пузырьки, находящиеся не в фокусе камеры, не ухудшают качество кадра.



а

б

Рис. 2. а) Фотография пузырьковой жидкости по истечению 17 секунд без воздействия ультразвукового поля; б) гистограмма распределения по размерам для пузырьков, изображенных на рис. 2а

Как видно из гистограммы, наибольшее количество пузырьков приходится на размеры от 20 до 30 мкм. В слое, который охватывает фокусное расстояние видеокамеры, находится около 1 370 пузырьков.

По приблизительным оценкам в момент действия ультразвукового сигнала в данном слое куба находится около 2 000 пузырьков. Если принять, что фокусное расстояние видеокамеры составляет 3 мм, то в результате получим около 20 000 пузырьков в 20 мл пузырьковой жидкости.

Необходимо знать какое распределение давления образуется для данной геометрии задачи. Куб выполнен из оргстекла, имеет стенки толщиной 4 мм, верхняя поверхность открыта, керамический пьезоэлемент находится посередине дна куба.

Для исследования поля давлений в кубе использовался гидрофон Onda HNR-1000. Следует отметить, что хотя нас интересовало поле давлений в пузырьковой жидкости, мы все же измерили распределение давления в жидкости без пузырьков (рис. 3), т.к. присутствие пузырьков на поверхности гидрофона в состоянии легко повредить его.

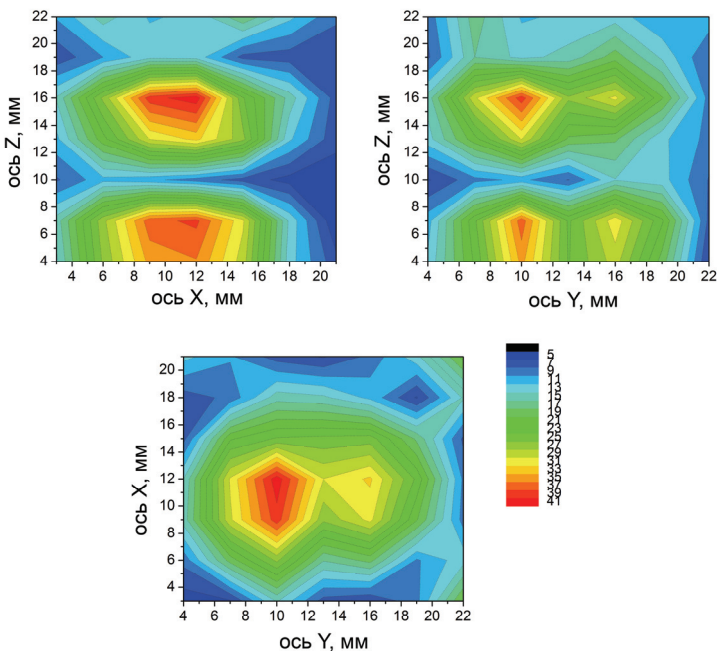
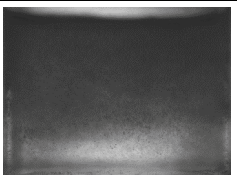

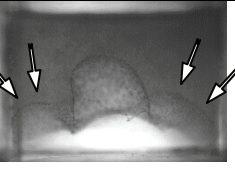


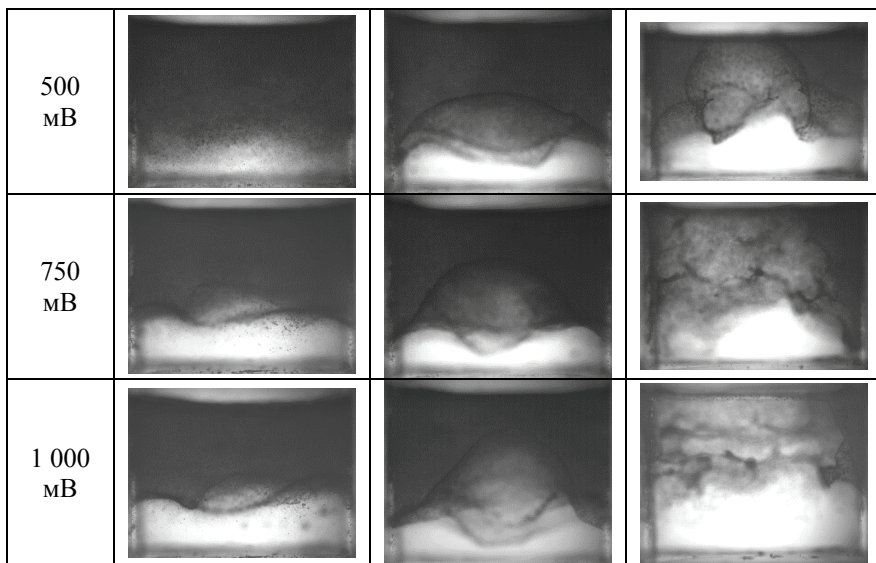
Рис. 3. Распределение давления в кубе, наполненном водным раствором соли (20 г на 300 мл) без пузырьков при воздействии сигнала от генератора частотой 100 кГц и амплитудой 100 мВ

С генератора сигналов подавалось поле частотой 100 кГц и амплитудой 100 мВ, с гидрофона на осциллограф проецировался сигнал, исходящий от пьезоэлемента. Таким образом, измерив в нескольких точках объема жидкости сигнал, детектируемый гидрофоном, получено распределение давления в кубе при частоте воздействия 100 кГц и амплитуде 100 мВ (рис. 3). Ожидалось, что вдоль оси Z максимум давления возникнет ровно в центре куба, появление второго меньшего по величине максимума вероятно связано с прочностью склейки стенок куба. То же самое можно сказать для плоскостей XZ и YZ: наблюдается небольшое смещение от центра в плоскости XZ и появление второго меньшего по величине максимума. Оценив длину волны и расстояние, на котором наблюдаются максимумы на XZ и YZ, установлено, что максимумы давления находятся на $\frac{1}{2}$ длины волны сигнала.

Динамика поведения пузырьков отчетливо наблюдается, если рассмотреть в зафиксированный момент времени положение пузырькового фронта при воздействии ультразвукового поля различной частоты и амплитуды (табл. 1). Частота воздействия изменялась в диапазоне 64,3 – 209,2 кГц, амплитуда сигнала от 250 до 1 000 мВ. Моментом времени, при котором отображены качественные различия формы и положения пузырькового фронта, было выбрано время 0,4 секунды.

Таблица 1. Положение пузырькового фронта в жидкости в момент времени 0,4 секунд при ультразвуковом воздействии различной частоты и амплитуды.

	64,3 кГц	89 кГц	209,2 кГц
250 мВ			



Как видно из табл. 1, с увеличением частоты и амплитуды воздействия положение фронта в один и тот же момент (0,4 сек) находится ближе к границе вода-воздух, что говорит о скорости распространения пузырькового фронта, то есть чем выше амплитуда и частота воздействия, тем выше скорость фронта. Отметим, что при высоких частотах измеренного диапазона фронт претерпевает изменения. Так, например, при 209,2 кГц у профиля фронта появляются дополнительные «бугры» (отмечены белыми стрелками на фото).

Подытоживая, хотелось бы отметить, что работа не является законченной и необходимо провести более подробный анализ полученных изображений с оценкой скоростей движения фронта, исследование движения пузырьков в меньшем масштабе, используя возможности микроскопа.

Тем не менее, на данный момент известны такие параметры как поле давления в кубе, размеры пузырьков, а также качественное различие поведения пузырьков при воздействии различной частоты и амплитуды, что позволит провести дополнительные исследования. На основании полученных результатов получены выводы: 1) при воздействии поля в воде без пузырьков возникают максимумы давления в точках, соответствующих $\frac{1}{2}$ длины волны; 2) средний размер пузырьков до воздействия поля составляет 20 – 30 мкм, а плотность пузырьков 1 000 пузырьков на 1 мл пузырьковой воды; 3) с увеличением частоты и амплитуды воздействия поля скорость пузырькового фронта увеличивается.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 11-01-97013-р_поволжье и гранта Министерства образования и науки РФ Federation (11.G34.31.0040).

ИЗУЧЕНИЕ ИОННОГО ПЕРЕНОСА В СОЕДИНЕНИЯХ $Cu_xAg_{1-x}CrS_2$ **Суфиянова А.А., Акманова Г.Р., Абдрахманова Л.Р.****Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия**

Изучение сплавов халькогенидов переходных и одновалентных металлов представляют большой интерес [1-3]. Особенностью подобных систем является то, что одновалентные ионы обладают высокой подвижностью в базисных плоскостях гексагональной решетки и явление суперионной проводимости в них имеет двумерный характер. Типичными представителями данного класса систем являются соединения $CuCrS_2$ и $AgCrS_2$, обладающие гексагональной структурой (пространственная группа $R3m$)[4,5] и смешанной ионно-электронной проводимостью.

Низкотемпературная модификация исследуемых систем может быть представлена как слегка деформированная кубическая упаковка ионов халькогена, в октаэдрических пустотах которой находятся ионы хрома, а в тетраэдрических – ионы одновалентных металлов. Подрешетка для одновалентных ионов состоит из двух подрешеток α и β , смещенных по отношению друг к другу в направлении оси «с». При комнатной температуре заполнена только одна из подрешеток, а другая – полностью свободна. С повышением температуры происходит перераспределение ионов, и выше температуры фазового перехода в состоянии полного разупорядочения обе подрешетки заняты с равной вероятностью. Температуры фазового перехода были определены методами рентгенографии и при исследовании теплоемкости: 675 К – для $CuCrS_2$, 670 К – для $AgCrS_2$ [6].

Изучение температурной зависимости параметров элементарной ячейки a и c показало, что на зависимости параметра $a(T)$ имеется излом при температуре 673 К (рис.1), а параметр c изменяется монотонно. Различный характер температурной зависимости параметров решетки a и c обусловлен тем, что в исследуемых соединениях $CuCrS_2$ и $AgCrS_2$ изменение параметров элементарной ячейки определяется двумя процессами: обычным термическим расширением и разупорядочением подрешетки ионов меди (серебра). Разупорядочение подрешетки одновалентных ионов на изменение c не влияет, поэтому на всем температурном интервале наблюдается монотонная зависимость. На изменение температурной зависимости параметра a до температуры 673 К влияют и процесс разупорядочения ионов меди (серебра) и процесс термического расширения. Выше 673 К наблюдается только процесс термического расширения. Такой характер изменения параметра a от температуры и, соответственно, объема элементарной ячейки V позволяет

сделать вывод о том, что при температуре 673 К происходит фазовый переход II рода.

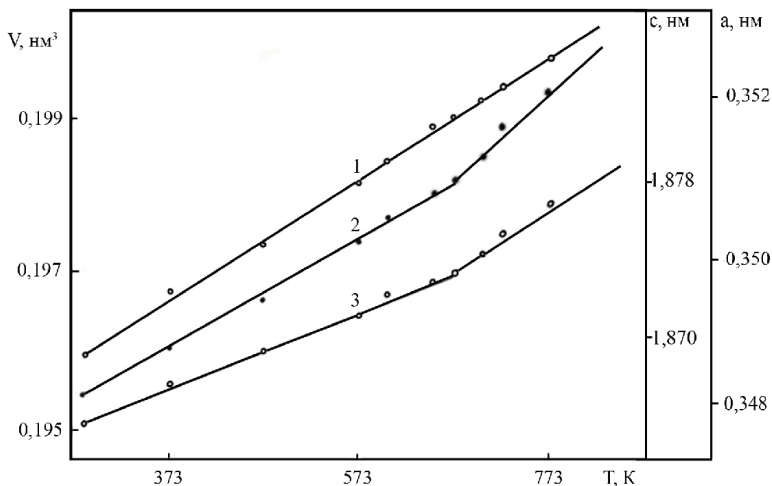


Рис. 1. Температурные зависимости параметров c (1), a (2) и объема V (3) элементарной ячейки соединения CuCrS_2

Исследование структуры сплавов $\text{Cu}_x\text{Ag}_{1-x}\text{CrS}_2$ в интервале составов от

$x=0$ до $x=1$ показало, что до 673 К они существуют как смесь двух фаз CuCrS_2 и AgCrS_2 , а выше 673 К – как твердый раствор на основе матричной структуры. На рис.2 представлены участки дифрактограмм для соединения $\text{Cu}_{0.5}\text{Ag}_{0.5}\text{CrS}_2$ при двух температурах 293 и 673 К. Сравнение дифрактограммы, снятой при комнатной температуре, с дифрактограммами соединений CuCrS_2 и AgCrS_2 показывает, что на ней присутствуют линии обоих соединений. Подобная закономерность обнаруживается и для других составов. Таким образом, в системе CuCrS_2 - AgCrS_2 выше температуры фазового перехода в разупорядоченном состоянии существует неограниченная растворимость.

На рис.3 представлены температурные зависимости ионной проводимости для исследуемых систем. Величины ионной проводимости определялись по установившимся значениям разности потенциалов V_i^i из кривых установления и спада концентрационной поляризации по формуле:

$$\sigma_i = \frac{I_i L}{S V_i^i} \quad , \quad (1)$$

где I_i - величина ионного тока, L - длина образца между ионами зондами, S - площадь сечения образца.

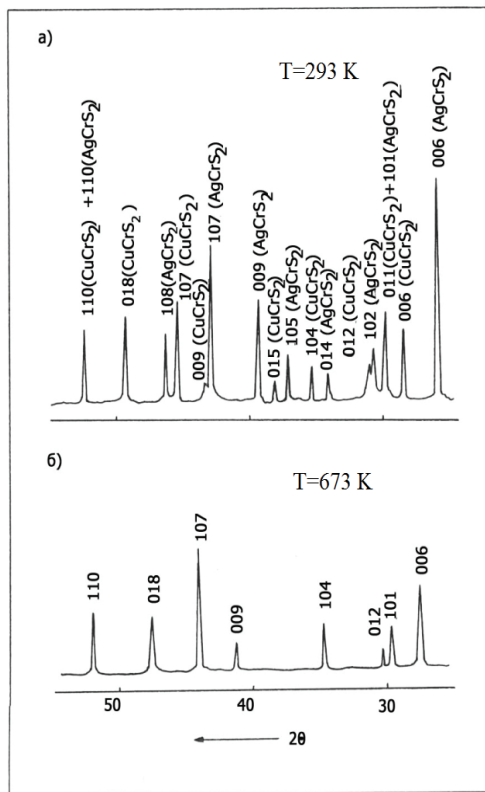


Рис. 2. Участки дифрактограмм для соединения $\text{Cu}_{0.5}\text{Ag}_{0.5}\text{CrS}_2$ при различных температурах

В координатах $\ln(\sigma_i T) = f(1/T)$ экспериментальные результаты по ионной проводимости обнаруживают линейный характер зависимости. В точке фазового перехода T_c , соответствующей температуре полного разупорядочения подрешетки одновалентных ионов, для всех систем скачкообразно изменяется величина энергии активации ионной проводимости. Величина ионной проводимости для CuCrS_2 при 678 К равна $0.093 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ энергия активации $(0.81 \pm 0.10) \text{ эВ}$ и $(0.31 \pm 0.03) \text{ эВ}$ до и после фазового перехода, соответственно. Для системы AgCrS_2 , ниже точки фазового перехода энергии активации равна $(0.90 \pm 0.10) \text{ эВ}$ и выше – $(0.22 \pm 0.03) \text{ эВ}$. Величина ионной проводимости равна 0.35 Ом^{-1}

см⁻¹ при 673 К. Измеренные нами значения σ_i и E_a для AgCrS₂ согласуются с данными работы [7]. Промежуточные значения σ_i и E_a получены нами также и для сплавов Cu_xAg_{1-x}CrS₂ (рис.3). Интересным является то, что значения, измеренные в двухфазном состоянии (ниже точки фазового перехода), и значения σ_i в твердых растворах (выше точки фазового перехода) хорошо стыкуются в точке фазового перехода. Это, по-видимому, обусловлено близостью параметров ионного переноса двух систем.

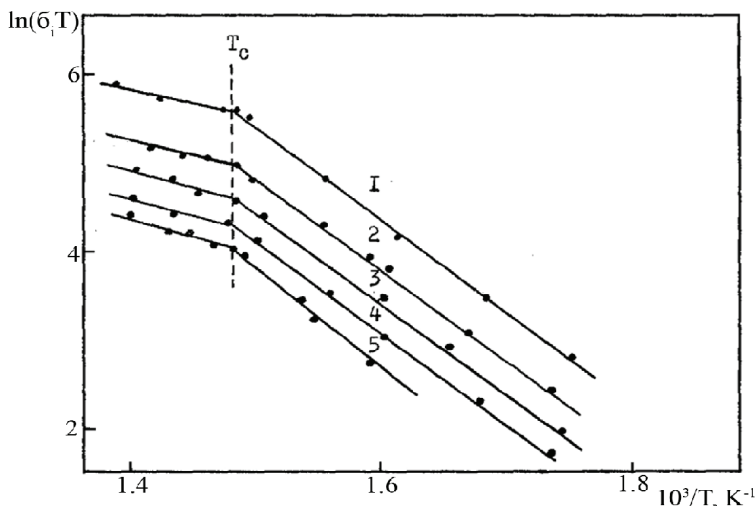


Рис. 3. Температурные зависимости ионной проводимости для сплавов Cu_xAg_{1-x}CrS₂ (x=0 (1); x=0.25 (2); x=0.5 (3); x=0.75 (4); x=1 (5))

Для изучения процессов химической диффузии в соединениях CuCrS₂ и AgCrS₂ и их сплавах использовался метод подавления электронной составляющей путем подбора токовых электродов.

В образце длиной L временная зависимость разности потенциалов между двумя ионными зондами имеет вид:

$$V_i^r = \frac{IL}{\sigma_i} [1 - t_c \psi(t)] \quad (2)$$

при установлении и

$$V_i^r = \frac{IL}{\sigma_i} t_c \psi(t) \quad (3)$$

при спаде концентрационной поляризации,

где

$$\psi(t) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 \tilde{D}t}{L^2}\right]$$

(4)

σ_i - удельная ионная проводимость, t_e - число переноса электронов, \tilde{D} - коэффициент химической диффузии.

При достаточно больших временах ряд (4) аппроксимируется первым членом

$$\psi(t) \approx \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 \tilde{D}t}{L^2}\right] \quad (5)$$

Используя соотношения (2)-(5) и временные зависимости установления и спада концентрационной поляризации, были построены графики зависимостей $\ln V_i^i = f(t)$ и рассчитаны значения коэффициентов химической диффузии для исследуемых систем, которые представлены в таблице.

Таблица. Значения коэффициентов химической диффузии, чисел переноса ионов при температуре 673 К

Состав	$\tilde{D} \cdot 10^{-4},$ см ² /с	$t_i = 1 - t_e \frac{V_i^i(0)}{V_i^i(\infty)}$	$t_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_0}$
CuCrS ₂	1.8	0.07	0.10
Cu _{0,5} Ag _{0,5} CrS ₂	20	0.36	0.45
Cu _{0,25} Ag _{0,75} CrS ₂	17	0.66	0.73
AgCrS ₂	15	0.90	0.92

Как видно из таблицы, процессы установления равновесного состояния характеризуются достаточно высокими значениями коэффициентов химической диффузии. Из соотношения (2) при $t=0$ и $t=\infty$ легко можно получить для числа переноса ионов выражение

$$t_i = 1 - t_e \frac{V_i^i(0)}{V_i^i(\infty)} \quad (6)$$

Определенные таким образом значения чисел переноса при 673 К хорошо согласуются со значениями, полученными из прямых измерений общей и ионной составляющих проводимостей, что показывает правомерность использования для подобных систем теории смешанной ионно-электронной проводимости, разработанной для соединений группы халькогенидов меди и серебра.

Литература

1. Васильева И.Г., Кардаш Т.Ю., Малахов В.В. Фазовые превращения CuCrS_2 : структурное и химическое исследование // Журнал структурной химии. 2009. Т.50. №2. С. 302-310.
2. Tewari Girish C., Tripathi T.S., Rastogi A.K. Thermoelectric Properties of Layer-Antiferromagnet CuCrS_2 // J.Electronic Mat. 2010. V. 39. P. 1133.
3. Иванов-Шиц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела. Т.2. СПб.: Изд-во С.-Петербург.ун-та. 2010. 1000 с.
4. Bongers P.F., van Bruggen C.F., Kooptra J., Omloo W.P.F.A.M., Wiegers G.A., Jellinek F. Structures and magnetic properties of some metal (I) chromium (III) sulphides and selenides // J.Phys.Chem.Solids. – 1968. – V.29, № 6. – P.977-984.
5. Hahn H., De Lorent Ch. Uber ternare Chalcogenide der Chroms mit einwertigen Kupfer und Silber // Z.Anorg.Allg.Chem. -1957. –B. 290, № 1.2. – S.68-81.
6. Engelsman F.M.R., Wiegers G.A., Jellinek F., van Laar B. Crystal structures and magnetic structures of some metal (I) chromium (III) sulphides and selenides // J.Solid State Chem. – 1973. – V.6, № 4. – P.574-582.
7. Hibma T. Structural aspects of monovalent cation intercalates of layered dichalcogenides // Intercalation Chemistry, edited by M.S. Vohhling and A.J. Jacobson. – Academic, New York, 1982. – P. 285-345.

**ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН НА ИОННУЮ ПРОВОДИМОСТЬ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО СЕЛЕНИДА МЕДИ**Усманов И.¹, Халилова Г.Г.¹, Ишембетов Р.Х.¹, Нурахметов Т.Н.²¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия²Евразийский национальный университет, г. Астана, Казахстан

В суперионных проводниках ионная проводимость имеет порядок 10^1 Ом⁻¹см⁻¹ при комнатной температуре, что близко к проводимости концентрированных растворов жидких электролитов. Халькогениды меди обладают одновременно с рекордно высокой для твердых тел катионной проводимостью (4 Ом⁻¹см⁻¹) высокой электронной проводимостью и интересными полупроводниковыми свойствами [1]. В исследовании суперионных проводников в последние годы были достигнуты большие успехи. Однако влияние размеров зерен на электронную и ионную проводимость изучено слабо. Обзор как отечественной, так и зарубежной (доступной нам) литературы по данной тематике показывает, что обычно исследовались образцы с размерами зерен порядка 50-100 мкм в лучшем случае до нескольких микрон, т.е. область меньше микрона оставалась не изученной.

Тема исследований является актуальной в связи с перспективами практического применения подобных материалов в термоэлектрических и фотоэлектрических преобразователях энергии. В крупнозернистых составах наблюдается достаточно высокая ионная проводимость, что ведёт за собой раннее старение материала. Нами исследована зависимость ионной проводимости от температуры наноструктурированного состава и проведено сравнение с той же зависимостью в крупнозернистых составах.

Образцы для исследований получались методом холодного прессования под давлением $4 \cdot 10^4$ Н/см² в виде параллелепипедов размером 0.5x3.0x0.2 см. Таким образом, был приготовлены образцы Li_{0.25}Cu_{1.75}Se и Cu_{1.75}Se. Соединения Li_{0.25}Cu_{1.75}S готовили методом высокотемпературного ампульного синтеза спеканием эквимольных количеств меди марки (ОСЧ-11-4), серы и лития марки (ОСЧ) в вакуумированных до давления $\sim 10^{-3}$ Па ампулах. Также по методу холодного прессования под давлением $2 \cdot 10^4$ Н/см² в виде параллелепипедов получали фильтры из твердого электролита CuVg.

Для получения нанокристаллитов селенида меди использовался метод седиментации. Измельченный порошок был высушен при комнатной температуре и исследован на атомно-силовом микроскопе Solver P-47. Из фракции порошка со средним размером зерен около 50 нм были спрессованы образцы для исследования электрофизических свойств. Для измерений были взяты два одинаковых по составу образца,

полученных холодным прессованием, со средними размерами зерен примерно 100 мкм и 50 нм соответственно. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами 2,5×0,5×0,3 см. Размеры зерен оценивались на электронном сканирующем микроскопе Solver P-47, а также на атомно-силовом микроскопе и до измерений транспортных свойств составляли примерно 50 нм.

Измерения проводили по методу, разработанным Вагнером применительно к проводникам со смешанной ионно-электронной проводимостью, одна из составляющих тока подавляется соответственно подобранными электродами. Для исследования использовалась следующая ячейка:

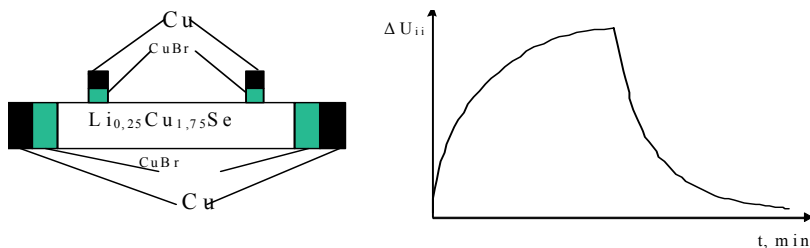


Рис. 1. Компонка ячейки и типичный вид кривой поляризации для измерения ионной проводимости методом подавления электронной составляющей тока

При использовании ячейки (I) ток через образец в стационарном состоянии переносится только ионами Cu^+ , так как электронный ток блокируется на Cu / CuBr зондах, что приводит к явлению концентрационной поляризации. Плотность тока не превышает 1 mA/cm^2 , чтобы падение напряжения на длине образца не превышало потенциала разложения фазы (около 100 мВ).

Зная ионную разность потенциалов ΔU_i^i , можно рассчитать величину ионной проводимости:

$$\sigma_i = \frac{IL}{S\Delta U_i^i} \quad (2)$$

где L-расстояние между зондами; S-поперечное сечение образца; I-сила тока.

На рис. 2. показаны температурные зависимости ионной проводимости твердого раствора $\text{Li}_{0,25}\text{Cu}_{1,75}\text{Se}$. для крупнозернистого раствора и наноструктурированного. Сразу видно, что измельчение зерен

до наноразмеров приводит к значительному снижению ионной проводимости.

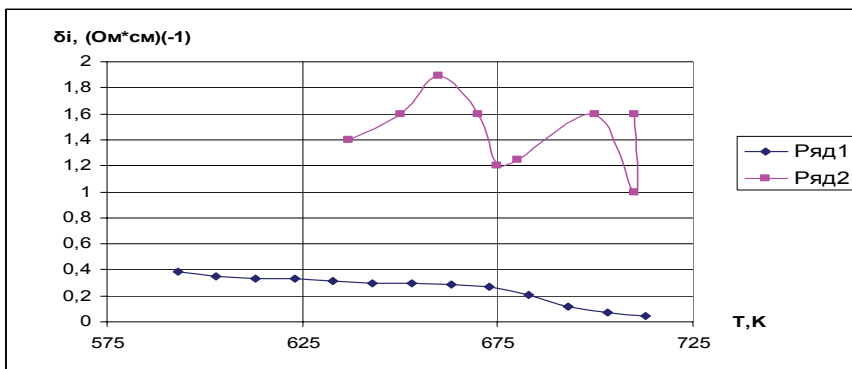


Рис. 2. Зависимость ионной проводимости от температуры для образца $\text{Li}_{0,25}\text{Cu}_{1,75}\text{Se}$. 1- для размеров порядка 50нм, 2- 100мкм.

Объяснением снижения проводимости может служить снижение подвижности ионов меди за счет роста рассеяния на границах зерен. Сопротивление межкристаллитных прослоек больше сопротивления объема зерен, и увеличение числа межкристаллитных прослоек при уменьшении размеров зерен должно приводить к снижению проводимости в наноструктурированном образце.

Литература

1. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Под ред. .Н.Х.Абрикосова, В.Ф.Банкиной, Л.В.Порецкой и др. - М.: Наука, 1975. - 219 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВВОДА И НАГРЕВА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОДУКТИВНЫЕ ПЛАСТЫ

Фатыхов Л.М., Нагаев Ф.А., Шагиев Н.Р., Фатыхов М.А.
Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В работах [1, 2] описан экспериментально обнаруженный эффект, названный туннельной электромагнитной интерференцией, характерной особенностью которого является наличие незатухающего интерференционного потока энергии с амплитудой, пропорциональной мнимой части волнового вектора. Результатом этого эффекта является просветление диссипирующей среды при интерференции встречных электромагнитных волн (ЭМВ). Прохождение потока электромагнитной энергии через металлическую пластину, в определенной степени аналогична обычной интерференции в диэлектрических пластинках, однако оно оказывается бездиссипативной и обьязано как бы эффекту интерференционного туннелирования [6].

В настоящей работе исследуется явление туннельной электромагнитной интерференции падающей и отраженной волн в диэлектрическом слое, возникающие за счет диссипации энергии волн. Рассмотрим распространение плоских электромагнитных волн в двухслойной поглощающей немагнитной среде ($0 < x < l$ и $l < x < \infty$) с комплексными значениями диэлектрической проницаемости $\varepsilon_i = \varepsilon'_i + i\varepsilon''_i$ ($i = 1, 2$). Будем считать, что ЭМВ падают под некоторым углом φ к границе раздела сред l . На поверхности раздела сред происходит частичное отражение падающей волны. С учетом типичных граничных условий на этой поверхности выражения для комплексных амплитуд электрического и магнитного полей в первой и второй средах можно представить в виде [3]

$$\dot{E}_1 = E_0 e^{-i\alpha x} \left[e^{ik_1 x} + \rho e^{ik_1(2l-x)} \right], \quad \dot{H}_1 = \frac{E_0}{Z_1} e^{-i\alpha x} \left[e^{ik_1 x} - \rho e^{ik_1(2l-x)} \right] \quad (1)$$

$$\dot{H}_2 = \frac{E_0}{Z_2} e^{-i\alpha x} \tau e^{i(k_1 - k_2)l + ik_2 x}, \quad \dot{E}_2 = E_0 e^{-i\alpha x} \tau e^{i(k_1 - k_2)l + ik_2 x},$$

В первой и во второй области комплексные коэффициенты Френеля на поверхности $x = l$ связаны соотношениями [3]

$$\begin{aligned}
\dot{\tau} &= 1 + \dot{\rho}, \\
\dot{\rho} &= \frac{\dot{Z}_2 \cos \varphi - \dot{Z}_1 \cos \theta}{\dot{Z}_2 \cos \varphi + \dot{Z}_1 \cos \theta}, \quad \dot{\tau} = \frac{2\dot{Z}_2 \cos \varphi}{\dot{Z}_2 \cos \varphi + \dot{Z}_1 \cos \theta}, \\
\dot{Z}_i &= Z_0 \sqrt{\frac{1}{\dot{\epsilon}_i}}, \quad Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}, \quad \dot{k}_i = \beta_i + i\alpha_i, \\
\beta_i &= \frac{\bar{k}_i}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \frac{1}{\cos \delta_i}}, \quad \alpha_i = \frac{\bar{k}_i}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\cos \delta_i} - 1}, \quad \bar{k}_i = \frac{\omega}{\vartheta_0} \sqrt{\epsilon'_i}, \\
\delta_i &= \arctg \frac{\epsilon''_i}{\epsilon'_i}, \quad \vartheta_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}.
\end{aligned} \tag{2}$$

Следует заметить, что подобная задача решена в работе [4 - 6] для случая нормального падения электромагнитных волн к границе раздела сред.

Для получения зависимостей потока электромагнитной энергии P и плотности тепловых источников Q от угла падения φ , следует в (2) выразить угол преломления θ через φ ($\theta = f(\varphi)$). Известно, что синусы угла преломления θ и угла падения φ подчинены соотношению:

$$\frac{\sin \theta}{\sin \varphi} = \frac{n_1}{n_2} = n_{12}, \tag{3}$$

С точки зрения электродинамики этот закон – следствие уравнений Максвелла, причем

$$n = \sqrt{\epsilon \mu}$$

для всякой среды с данными проницаемостями. В нашем случае $\dot{n}_i = \sqrt{\dot{\epsilon}_i}$. Подставляя последнее выражение в (3), имеем:

$$\frac{\sin \theta}{\sin \varphi} = \frac{\sqrt{\dot{\epsilon}_1}}{\sqrt{\dot{\epsilon}_2}}.$$

Из (2) следует, что, $\frac{\sqrt{\dot{\epsilon}_1}}{\sqrt{\dot{\epsilon}_2}} = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1} = \dot{Z}_{21}$ следовательно, выражение (3)

переписывается в виде $\frac{\sin \theta}{\sin \varphi} = \dot{Z}_{21}$. После некоторых преобразований,

имеем

$$\cos \theta = \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2), получим комплексные коэффициенты Френеля в виде:

$$\dot{\rho} = \frac{\dot{Z}_{21} \cos \varphi - \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi}}{\dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi}}, \quad \dot{\tau} = \frac{2\dot{Z}_{21} \cos \varphi}{\dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (5)$$

Поток электромагнитной энергии определяется средним значением комплексного вектора Пойнтинга

$$P = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[\dot{E}\dot{H}^*] \quad (6)$$

Подставляя (1) в (6), после некоторых преобразований, имеем:

$$\begin{aligned} P_1 = & \frac{E_0^2 \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{2|\dot{Z}_{21}|} \left[e^{-2\alpha_1 x} + \frac{2e^{-2\alpha_1 l} \operatorname{tg}\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\left| \dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2} \left[\left(|\dot{Z}_{21}|^2 - 1 \right) \sin(2\beta_1(x-l)) + \right. \right. \\ & \left. \left. + 2|\dot{Z}_{21}| \left| \sin\left(\frac{\delta_2 - \delta_1}{2}\right) \cos \varphi \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \cos(2\beta_1(x-l)) \right| - \frac{\left| \dot{Z}_{21} \cos \varphi - \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2}{\left| \dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2} \right] \times \\ P_2 = & \frac{\times e^{-2\alpha_1(2l-x)}}{\left| \dot{Z}_2 \left| \dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right| \right|^2} E_0^2 \left| \dot{Z}_{21} \right| \cos \varphi \left(\left| \dot{Z}_{21} \right| \cos \varphi \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) + \cos\left(\delta_2 - \frac{\delta_1}{2}\right) \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right) \times \\ & \times e^{-2l(\alpha_1 - \alpha_2) - 2\alpha_2 x} \end{aligned} \quad (7)$$

Из (7) следует, что при отражении ЭМВ от границы раздела поглощающих сред, в первой среде образуется незатухающий и осциллирующий по координате интерференционный поток энергии P^\pm . Этот поток существует и тогда, когда вторая среда прозрачная ($\delta_2 = 0$), однако он исчезает, если первая среда является прозрачной, т.е. $\delta_1 = 0$.

Примечательно еще следующее обстоятельство. Если на поверхности l ввести, как это принято, энергетические коэффициенты отражения и преломления по формулам

$$H = |\dot{\rho}|^2 = \frac{P_1^-}{P_1^+} \text{ и } T = |\dot{t}|^2 = \frac{P_2}{P_1^+},$$

то следует, что в рассматриваемом случае $H + T > 1$, а именно

$$H + T = 1 + \frac{P_1^\pm}{P_1^+} = 1 + \frac{4|\dot{Z}_{21}| \cos \varphi \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \left[\cos\left(\frac{\delta_2}{2}\right) - \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2}\right) \right]}{\left| \dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2}$$

Отсюда видно, что $H + T = 1$, только тогда, когда первая среда прозрачная ($\delta_1 = 0$). Отметим, что в курсах электродинамики этот факт, как правило, не уточняется, что приводит иногда к недоразумениям.

Плотность тепловых источников за счет диссипации энергии ЭМВ определяется известным соотношением

$$Q = -\frac{\partial P}{\partial x}, \quad (8)$$

Из выражений (7) и (8) следует

$$Q_1 = K[-2\alpha_1 e^{-2\alpha_1 x} + A[B \cos(2\beta_1(x-l)) + C \sin(2\beta_1(x-l))] - D e^{-2\alpha_1(2l-x)}]$$

$$Q_2 = \frac{2\alpha_2 E_0^2 |\dot{Z}_{21}| \cos \varphi}{\left| \dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2 |\dot{Z}_2|} \left(|\dot{Z}_{21}| \cos\left(\frac{\delta_2}{2}\right) \cos \varphi + \cos\left(\delta_2 - \frac{\delta_1}{2}\right) \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right) \times$$

$$\times e^{-2(\alpha_1 - \alpha_2) - 2\alpha_2 x},$$

$$\text{где } K = -\frac{E_0^2 \cos\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{2|\dot{Z}_1|}, \quad A = \frac{2e^{-2\alpha_1 l} \operatorname{tg}\left(\frac{\delta_1}{2}\right)}{\left| \dot{Z}_{21} \cos \varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2},$$

$$B = 2\beta_1 \left(|\dot{Z}_{21}|^2 - 1 \right), \quad (9)$$

$$C = 4\beta_1 |\dot{Z}_{21}| \sin\left(\frac{\delta_2 - \delta_1}{2}\right) \cos\varphi \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi},$$

$$D = 2\alpha_1 \frac{\left| \dot{Z}_{21} \cos\varphi - \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2}{\left| \dot{Z}_{21} \cos\varphi + \sqrt{1 - |\dot{Z}_{21}|^2 \sin^2 \varphi} \right|^2}.$$

В работе представлены результаты численных исследований зависимостей (9) при широком наборе параметров.

Рассматривается двухслойная среда в двух случаях:

а) в области I ($0 < x < l$) находится вода, в области II ($l < x < \infty$) - водонасыщенная пористая среда.

б) в области I - водонасыщенная пористая среда, в области II находится вода.

При этом принимались следующие значения параметров:

$$\varepsilon'_1 = 77; \operatorname{tg}\delta_1 = 0,06; \varepsilon'_2 = 4; \operatorname{tg}\delta_2 = 10^{-5}.$$

Индексы 1 и 2 относятся соответственно к воде и материалу матрицы пористой среды.

$$\varepsilon'_I = \varepsilon'_1; \operatorname{tg}\delta_I = \operatorname{tg}\delta_1;$$

$$\text{В случае а) } \varepsilon'_{II} = \varepsilon'_1 m + (1 - m)\varepsilon'_2; \operatorname{tg}\delta_{II} = m \operatorname{tg}\delta_1 + (1 - m)\operatorname{tg}\delta_2.$$

$$\varepsilon'_I = \varepsilon'_1 m + (1 - m)\varepsilon'_2; \operatorname{tg}\delta_I = m \operatorname{tg}\delta_1 + (1 - m)\operatorname{tg}\delta_2;$$

$$\text{В случае б) } \varepsilon'_{II} = \varepsilon'_1; \operatorname{tg}\delta_{II} = \operatorname{tg}\delta_1.$$

m - коэффициент пористости. α и β - коэффициенты поглощения ЭМВ и волновое число, определяются по следующим формулам:

$$\alpha_I = \frac{\bar{k}_I}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\cos\delta_I} - 1}; \quad \alpha_{II} = \frac{\bar{k}_{II}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\cos\delta_{II}} - 1};$$

$$\beta_I = \frac{\bar{k}_I}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\cos\delta_I} + 1}; \quad \beta_{II} = \frac{\bar{k}_{II}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\cos\delta_{II}} + 1};$$

$$\text{где } \cos \delta_I = \sqrt{\frac{1}{\text{tg}^2 \delta_I + 1}}; \quad \cos \delta_{II} = \sqrt{\frac{1}{\text{tg}^2 \delta_{II} + 1}}; \quad \bar{k}_I = \frac{\omega}{v_0} \sqrt{\varepsilon'_I};$$

$$\bar{k}_{II} = \frac{\omega}{v_0} \sqrt{\varepsilon'_{II}}. \text{ Частота } \omega \text{ определялась из формулы } \omega = 2\pi f, \text{ где}$$

$f = 915$ МГц, скорость ЭМВ в вакууме $v_0 = 3 \cdot 10^8$ м/с. А также при этом принимались $E_0 = 10^5$ В/м, $Z_0 = 120\pi$ Ом, $l = 0,1$ м.

В случае a первая среда ($0 < x < l$) - оптически более плотная. Из (3) следует, что угол преломления θ в данном случае больше угла падения φ . Следовательно, при некотором остром угле $\varphi = \varphi^*$, который называется *предельным углом внутреннего отражения*, окажется, что угол θ - прямой. Преломленный луч при этом как бы скользит вдоль границы раздела сред l . Полагая в (2.4) $\theta = 90^\circ$, для $\varphi = \varphi^*$ получаем $\sin \varphi^* = \frac{1}{|\dot{Z}_{21}|}$. При дальнейшем увеличении угла

падения ($\varphi > \varphi^*$) $\sin \theta > 1$. Это значит, что углам φ , лежащим в пределах $\varphi^* < \varphi < 90^\circ$, не соответствуют какие-либо вещественные θ : преломленного луча нет, происходит *полное отражение*.

Очевидно, что угол φ^* зависит от $|\dot{Z}_{21}|$, а $|\dot{Z}_{21}|$ - от коэффициента пористости m второй среды. Следовательно, в случае большей оптической плотности первой среды ($|\dot{Z}_{21}| > 1$) областью определения функции $\theta(\varphi)$ будет решение системы из трех неравенств

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi \leq \arcsin \left(\frac{1}{|\dot{Z}_{21}|} \right) \\ 0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \\ 0 < m < 1 \end{array} \right. \quad (10)$$

Интересны результаты исследований модуля вектора Пойнтинга P и плотности тепловых источников Q в зависимости от расстояния при различных значениях угла падения φ ЭМВ на границу раздела сред

Из рис. 1, *a* видно, что в первой среде с увеличением угла падения φ убывает значение вектора Пойнтинга P_1 , но при этом возрастает амплитуда осцилляций P_1 . Во второй среде большему значению φ соответствует большее значение P_2 (рис. 1, *б*). Рис. 2, *a* показывает, что в первой среде с увеличением значения φ увеличивается амплитуда осцилляций плотности тепловых источников Q_1 . Во второй среде наибольшему значению φ соответствует наибольшее значение плотности тепловых источников, причем Q_2 убывает экспоненциально (рис. 2, *б*).

На рис. 3,4 представлены результаты исследований P и Q в зависимости от координаты x для случая *б*.

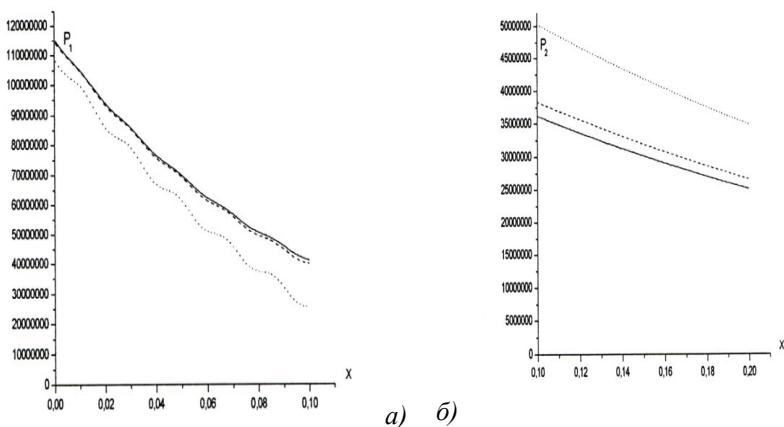


Рис. 1. Изменение модуля вектора Пойнтинга с расстоянием в первой (*a*) и во второй (*б*) средах при различных углах падения ЭМВ φ : сплошная линия – $\varphi = 15^\circ$; штриховая – $\varphi = 30^\circ$; пунктирная – $\varphi = 45^\circ$ ($m=0,5$)

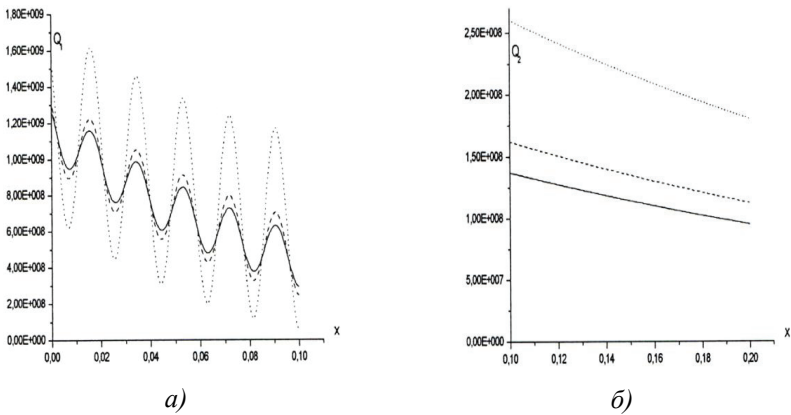


Рис. 2. Изменение плотности источников тепла с расстоянием. Обозначения соответствуют рис. 5

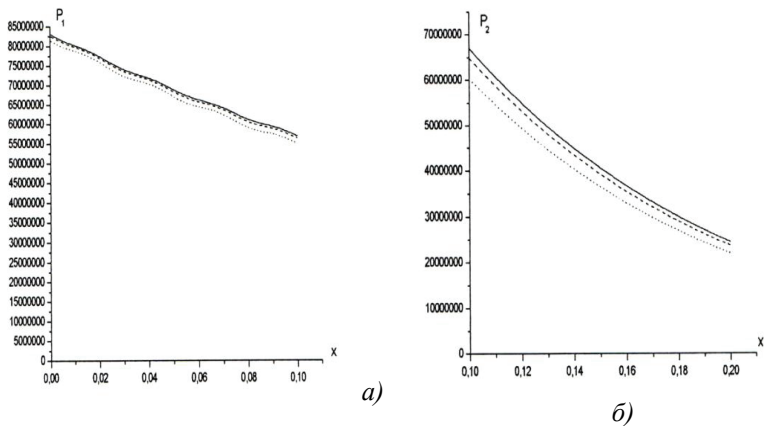


Рис. 3. Изменение модуля вектора Пойнтинга с расстоянием в первой (а) и во второй (б) средах при различных углах падения ЭМВ φ : сплошная линия – $\varphi = 15^\circ$; штриховая – $\varphi = 30^\circ$; пунктирная – $\varphi = 45^\circ$ ($m=0,5$)

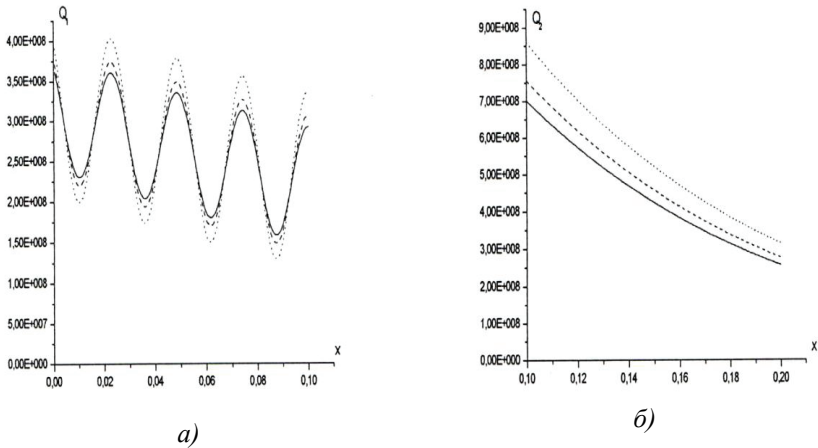


Рис. 4. Изменение плотности источников тепла с расстоянием. Обозначения соответствуют рис. 9

Рис. 3,а свидетельствует о том, что с увеличением значения φ значение вектора Пойнтинга P_1 убывает, но не сильно. На амплитуду осцилляций изменение угла падения φ влияет слабо. Во второй среде, в отличие от случая *a* (см. рис. 1, б), с увеличением угла падения φ значение вектора Пойнтинга P_2 убывает (рис. 3, б). Между тем, с увеличением φ амплитуда осцилляций плотности тепловых источников Q_1 увеличивается, но это увеличение происходит плавно, нежели в случае *a* (рис.2, а). Во второй среде, как и в случае *a* (см. рис. 2, б), с увеличением значения φ значение плотности тепловых источников Q_2 возрастает (рис. 4, б).

Явление отражения влияет также на режим ввода энергии в пласт. Исследования – предмет отдельных исследований.

Обозначения

\dot{E}_i, \dot{H}_i - комплексные напряженности электрического (В/м) и магнитного полей (А/м), $i = 1$ и $i = 2$ - первая и вторая среды, l - граница раздела сред, \dot{Z}_1 и \dot{Z}_2 , \dot{k}_1 и \dot{k}_2 - комплексные волновые сопротивления (Ом) и волновые вектора (1/м), φ - угол падения электромагнитных волн на границу раздела двух сред, (рад); θ - угол преломления, рад; ϵ_0, μ_0 - электродинамические постоянные, Ф/м и Гн/м

соответственно; E_0 - амплитуда электрического поля при $x = 0$, n_1 и n_2 - коэффициенты преломления сред, n_{12} - относительный коэффициент преломления, Q - интенсивность распределенных источников тепла, Вт/м³; P - модуль вектора Пойнтинга, Вт/м²; H и T - коэффициенты отражения и преломления волн, x - расстояние, м.

Литература

1. Сидоренков В.В., Толмачев В.В. Просветление диссипирующей среды при интерференции встречных электромагнитных волн //Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15, Вып. 21. С. 34 – 36.
2. Сидоренков В.В., Толмачев В.В. Просветление диссипирующей среды при интерференции встречных электромагнитных волн //Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16, Вып. 20. С. 5 – 8.
3. Никольский В. В., Никольская Т. И. Электродинамика и распространение радиоволн: Учеб. пособие для вузов. М.: Наука, 1989. 544 с.
4. Некрасов Л.Б., Рикенглаз Л.Э. Отражение энергии электромагнитного поля от полубесконечной диэлектрической среды при наличии в среде фазового перехода //ЖТФ. 1972. Т. 42. Вып. 7. С. 1339 – 1342.
5. Семенцов Д.И., Ефимов В.В. Диссипация энергии в условиях интерференции встречных волн в поглощающем слое //ЖТФ. 1997. Т. 67. № 2. С. 118 – 120.
6. Хабибуллин И.Л. Электромагнитная термогидродинамика поляризующихся сред. Уфа: Изд. Башкирск. Ун – та, 2000. 246 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ
МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ
ВИДЕОТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА MPLS**

Хабибуллина Э.Б.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

В эпоху информации связь стала важнейшим инструментом в руках человечества. Она развивается, видоизменяется и проникает во все области жизнедеятельности человека, параллельно адаптируясь к ним.

Связью пользуются различные слои населения и разнообразные организации: соответственно, все они предъявляют разнящиеся требования и пожелания к связи. Таким образом, современный оператор и провайдер услуг должны иметь многофункциональную, гибкую сеть, способную предоставлять разные классы и уровни обслуживания и пропускать разнотипный и приоритетно-дифференцированный трафик. Также необходима возможность развивать сеть в области предоставления услуг без значительных капиталовложений и реорганизаций.

В настоящей работе пойдёт речь о технологии *MPLS*. Задуманная как средство для сопряжения сетей и ускорения процесса маршрутизации в сети, она приобрела массу приложений и расширений, включающих виртуальные частные сети, управление трафиком, дифференцированное обслуживание и даже обслуживание с гарантированным уровнем *QoS*. Излишне говорить, что и по сей день не смолкают споры и прения по поводу будущего этой технологии, а в это время она продолжает своё совершенствование и распространение.

Наибольшей проблемой для поставщика услуг при обеспечении сквозного качества обслуживания (*quality of service* — *QoS*) является неспособность определить точный путь, по которому будут передаваться *IP*-пакеты. Поэтому мы рассматриваем механизм управления трафиком в сети *MPLS* (*MPLS TE*). Этот механизм определяет коммутируемый с помощью меток путь (*Label Switched Path* — *LSP*) для передачи трафика по явным образом заданному пути, который может отличаться от обычного пути, основанного на адресе пункта назначения. Известное высказывание Майка О'Делла (Mike O'Dell) из UUNET "Эффективность производственной деятельности компании и стоимость ее инфраструктуры напрямую за висит от эффективности, с которой используется доступная полоса пропускания в среде передачи данных" — как можно более точно выражает необходимость в применении механизма управления трафиком [1].

Жесткая конкуренция на современном рынке телекоммуникаций требует от всех его участников постоянно следить за технологическим прогрессом, но в то же время использовать его результаты очень

осмотрительно и аккуратно. Именно поэтому в последнее время наблюдается повышенный интерес к аналитическим и исследовательским публикациям, посвящённым новым технологиям и разработкам. Особую ценность они представляют, если освещают с той или иной степенью объективности спорные и вызывающие сомнение моменты исследуемых инноваций.

Подобные моменты как раз присутствуют в технологии *MPLS*. А отсутствие наряду с этим русскоязычных источников, посвящённых данной теме, и субъективное или недостаточно подробное рассмотрение в иностранных публикациях определили выбор темы публикации.

Для реализации *MPLS* была разработана схема и топология сети, настроена адресация, выбраны типы узлов и их функции. Было проведено исследование влияния выбора параметров *MPLS QoS* на передачу данных и исследование влияния дифференцированного обслуживания и управление трафиком (*DS-TE – Differential Service Traffic Engineering*) в сети *MPLS*.

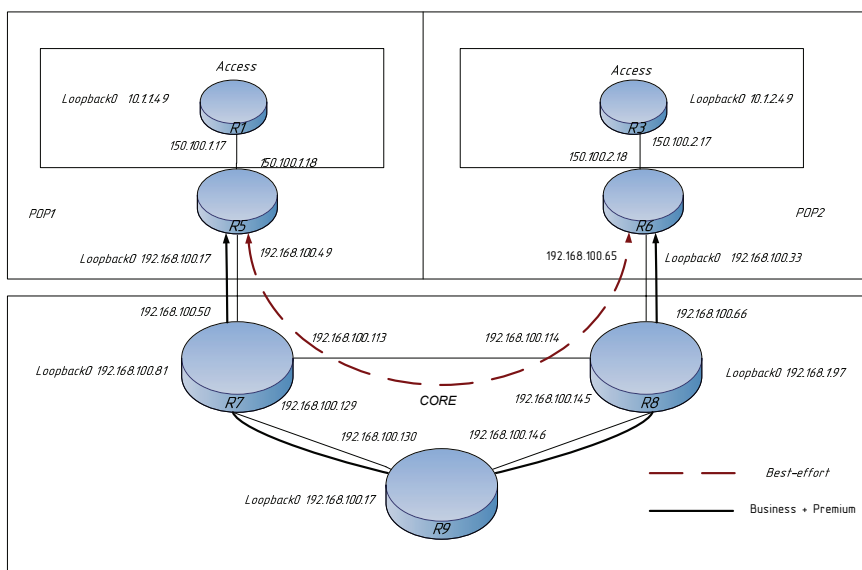


Рис. 1. Топология сети

Обеспечиваем три класса обслуживания: *premium*, *business*, и *best-effort*. У *premium* трафика гарантирована минимальная полоса пропускания, низкое время ожидания, низкий джиттер и нет потерь пакета, поэтому видео мы будем передавать в качестве *premium*

трафика, т.к. он имеет наилучшие параметры. Через оконечные узлы сети пропусканем данные – не происходит дифференцирования обслуживания и видеотрафик получает ту же полосу пропускания, что и остальные, таким образом другие типы данных агрессивно вытесняют видеотрафик.

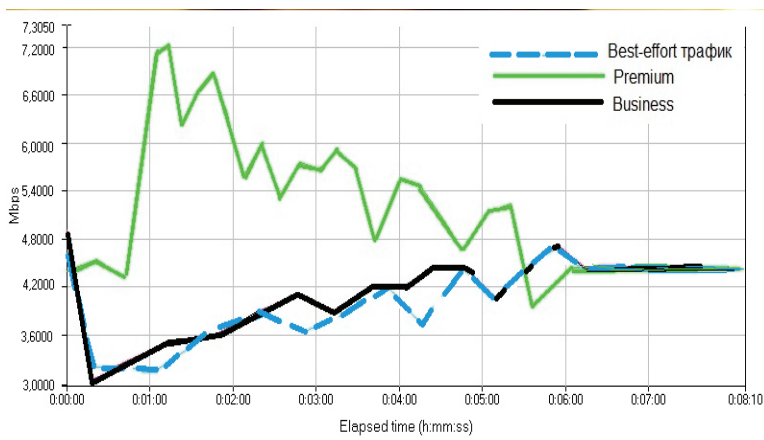


Рис. 2. Полоса пропускания данных без разделения на типы трафика

Нужна большая полоса пропускания и приоритетное обслуживание для видео. Для этого мы производим настройку MPLS QoS. При настройке MPLS важно настроить классы обслуживания и обеспечить маркировку трафика, чтобы пакеты из IP передавались правильным образом. Объем полосы пропускания распределяется следующим образом: при передаче трафика от поставщика к пользователю гарантируем, по крайней мере, 50 процентов полосы пропускания для *premium* трафика и, по крайней мере, 25 процентов для *business* трафика. В случае перегрузок *best-effort* трафик должен отбрасывать пакеты случайным образом.

Улучшаем параметры сети, путем разделения данных на типы трафика:

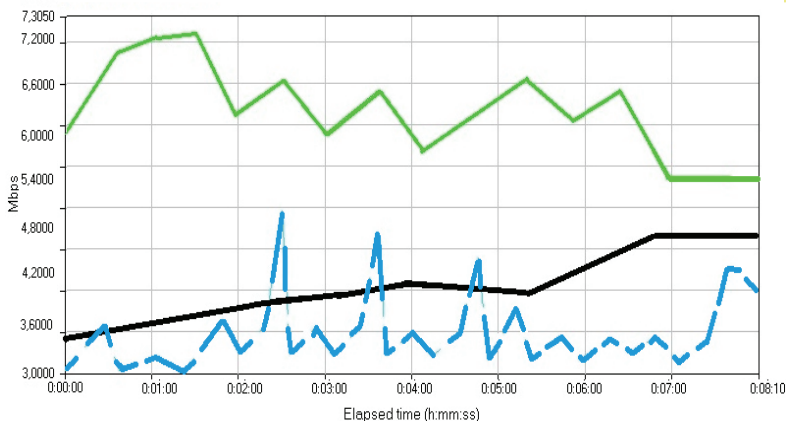


Рис. 3. Полоса пропускания данных с разделением на типы трафика

В результате исследования, становится понятным, что внедрение качества обслуживания существенно улучшает передачу предпочтительного типа данных для нас это премиум трафик. В случае, когда нет разделения данных на типы трафика, происходит скапливания всех типов данных в одной полосе пропускания, что существенно ухудшает качество обслуживания, происходят потери пакетов, у видеотрафика нет приоритета, время отклика велико. При разделении данных по типам трафика, наилучший приоритет имеет видео, что позволяет передавать его с большей полосой пропускания, меньшим временем отклика и, соответственно, с лучшим качеством, так как другие типы трафика имеют меньший приоритет и для них зарезервировано меньше канальных ресурсов. Голосовые данные передаются с меньшим качеством, для трафика с отсутствием приоритета, передача осуществляется предоставлением ресурсов по возможности.

Наибольшей проблемой для поставщика услуг при обеспечении сквозного качества обслуживания (*quality of service — QoS*) является неспособность определить точный путь, по которому будут передаваться IP-пакеты. Поэтому мы рассматриваем механизм управления трафиком в сети MPLS (*MPLS TE*). Этот механизм определяет коммутируемый с помощью меток путь (*Label Switched Path — LSP*) для передачи трафика по явным образом заданному пути, который может отличаться от обычного пути, основанного на адресе пункта назначения[2]. Таким образом мы выбираем такие маршруты, чтобы уменьшить вероятность перегрузки и улучшить качество обслуживания.

В случае обрыва нам необходимо предоставить одинаковое качество обслуживания, для этого мы создаем резервный туннель.

Исследуем два типа передачи, с организацией туннеля и без организации. Параметром, необходимым для сравнения будет время отклика.

В первом случае, передача данных без организации короткого пути в виде туннеля выглядит следующим образом:

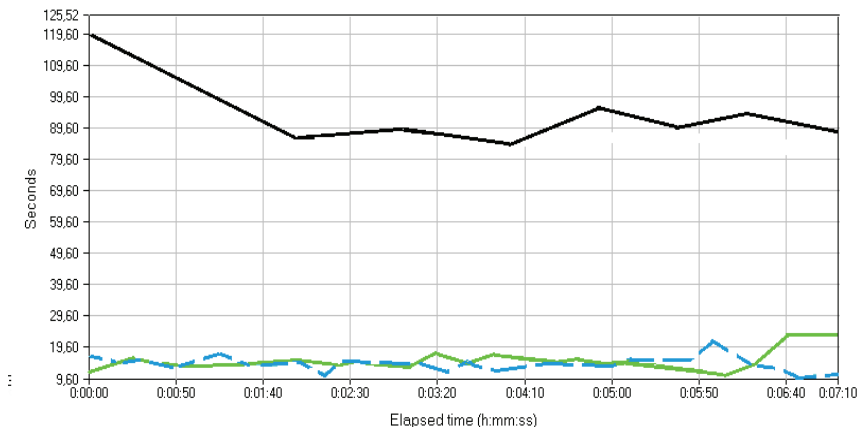


Рис. 4. Передача данных без организации туннеля

В случае передачи данных с организацией туннеля время отклика меняется следующим образом:

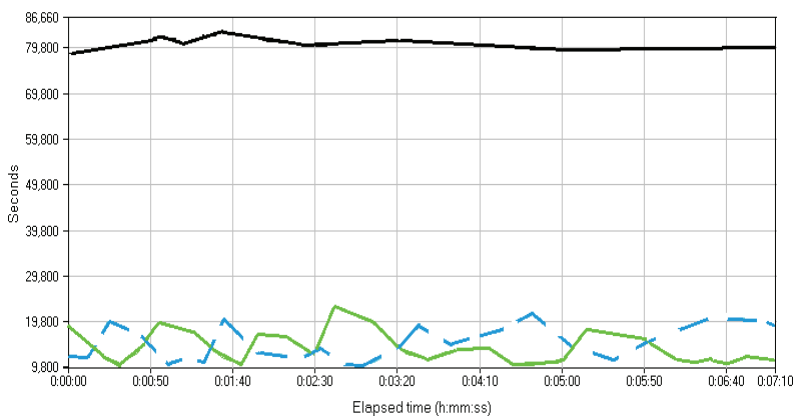


Рис. 5. Передача данных с организацией туннеля

В результате, при перенаправлении трафика *best-effort*, время отклика на запрос уменьшилось, а следовательно, увеличилась скорость передачи, а время отклика видео и аудиоданных не изменилось.

Таким образом, внедрение качества обслуживания существенно улучшает передачу предпочтительного типа данных, для нас это видеотрафик. При разделении данных по типам трафика, наилучший приоритет имеет видео, что позволяет передавать его с большей полосой пропускания, меньшим временем отклика и, соответственно, с лучшим качеством, так как для других типов трафика зарезервировано меньше канальных ресурсов. Голосовые данные передаются с меньшим качеством, для трафика с отсутствием приоритета, передача осуществляется предоставлением ресурсов по возможности.

При перенаправлении трафика *best-effort*, увеличилась скорость передачи, а повторные измерения по времени отклика для видео и аудио не испытывают сильных изменений, за счет того, что протоколом MPLS зарезервированы ресурсы и качество им гарантируется.

С помощью *MPLS QoS* и *DS-TE* мы существенно улучшили качество передачи данных в нашей сети, наилучшие параметры получил видеотрафик, т.к. он был предметом наших основных интересов.

Литература

[1] Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях *IP*. – М.: Вильямс, 2003. – 368 с.

[2] John Willey, *MPLS Traffic Engineering and Enhancements*, Cisco Systems, Inc., 2007 – 326 с.

**ВЛИЯНИЕ КОНИЧЕСКОГО ДЕФЕКТА НА СВЕТОВОЙ ИЗГИБ В
ГАЛО ГАЛАКТИКИ****Хайбуллина А.Р., Измаилов Р.Н.****Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г.Уфа, Россия**

В данной работе мы исследуем влияние конического дефекта на световой изгиб в области гало галактики. Особый интерес представляет модель, в основе которой лежит конформная теории гравитации Вейля. Рассчитывается наблюдаемый предел дефекта.

Хорошо известна гипотеза о существовании темной материи в гало галактики. Доплеровское излучение стабильных круговых орбит облаков нейтрального водорода в гало позволяет измерить их тангенциальную скорость $v_{tg}(r)$, рассматривая их в качестве пробных частиц. В соответствии с законами Ньютона, центростремительное ускорение v_{tg}^2/r уравновесилось бы гравитационным притяжением, которое непосредственно дается как $v_{tg}^2 = GM(r)/r$. То есть, можно ожидать уменьшение величины $v_{tg}^2(r)$ с увеличением r . Наблюдения же указывают, что $v_{tg}(r)$, приблизительно выравнивается с увеличением r в отдаленной области гало. Единственным способом проверить такой результат наблюдения является предположение, что масса линейно возрастает с расстоянием r . Распределение видимой массы в галактики не следует из такого поведения. Следовательно, можно заключить, что в гало должно быть спрятано огромное количество невидимой материи. Эта субстанция получила название «темная материя» (по-английски «dark matter») и она до сих пор остается самой интригующей загадкой в астрофизике. Помимо космологических данных, в пользу существования темной материи говорят измерения гравитационного поля в скоплениях галактик и в галактиках. Имеется несколько способов измерения гравитационного поля в скоплениях галактик, один из которых - гравитационное линзирование. Предварительные расчеты показывают, что примерно 23% материи во всей вселенной состоит из темной материи находящихся в гало галактик.

Для объяснения темной материи в литературе имеются много моделей, у каждой из которых есть собственные достоинства и недостатки. Есть также модели, которые пытаются объяснить кривые вращения без темной материи. Один из таких моделей, существующих в рамках конформной гравитации, является гравитационная теория Вейля, для которой существует частное решение в метрике Мангейма-Казанаса-

де Ситтера. Соответствующая метрика в этой теории дана Мангеймом и Казанасом, которые показывали изменения метрики Шварцшильда двумя параметрами γ и k . Небольшие отклонения от точной сферической симметрии часто необходимы для удовлетворения практической случаев, таких как сплюснутость Солнца и т.д.

В данной работе мы введем одно небольшое отступление от метрики Мангейма-Казанаса в виде термина конического дефекта $b \equiv 1 - \epsilon$, рассчитаем его влияние на отклонение света, когда лучи проходят через край галактики.

Внешний вид метрики в статично сферическо-симметричном распределении в конформной гравитационной теории Вейля получен Мангеймом и Казанасом. Недавно, решение использовалось чтобы установить вращающиеся кривые многих галактических образцов[2].

Метрика задана в следующем виде ($G = 1$, $c = 1$):

$$d\tau^2 = -B(r)dt^2 + \frac{1}{B(r)}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2),$$

$$B(r) = \alpha - \frac{2M}{r} + \gamma - kr^2$$

где $\alpha = (1 - 6M\gamma)^{1/2}$ постоянная, M видимая масса, γ и k произвольные постоянные, которые могут быть приблизительно зафиксированы при соответствии кривым вращения. Для всех значений кроме предельных мы берем $\alpha = 1$, следовательно введем параметр конического дефекта b следующим образом:

$$d\tau^2 = -B(r)dt^2 + \frac{1}{B(r)}dr^2 + r^2d\theta^2 + b^2r^2\sin^2\theta d\varphi^2),$$

$$B(r) = 1 - \frac{2M}{r} + \gamma - kr^2$$

При $u = \frac{1}{r}$, траектория фотона дается в виде

$$\frac{d^2u}{d\varphi^2} = -ub^2 + 3Mu^2b^2 - \frac{\gamma b^2}{2}$$

Как видно k исчезает из приведенного выше уравнения. Используя метод возмущений до первого порядка M , получим

$$u = \frac{1}{r} = \frac{\sin b\varphi}{R} - \frac{\gamma}{2} + \frac{M}{4R^2} [6 + 3R^2\gamma^2 - 3R\gamma(\pi - 2b\varphi)\cos b\varphi + 2\cos 2b\varphi]$$

где параметр R , примерно равен r_0 при $\varphi = \pi/2$. Отметим, что известное уравнение орбиты Шварцшильда

$$u = \frac{1}{R} \sin \varphi + \frac{M}{2R^2} (3 + \cos 2\varphi)$$

получается при $\gamma = 0, b = 1$.

Угол между двумя асимптотами дает полный угол отклонения $\delta\varphi$ который для малых ϵ дается в виде:

$$\delta\varphi = \frac{1}{b} \left(\frac{4M}{R} - \gamma R \right) \approx \left(\frac{4M}{R} - \gamma R \right) (1 + \epsilon)$$

Таким образом, разница отклонения между случаям при $\epsilon \neq 0$ и $\epsilon = 0$ имеет следующий вид:

$$\delta\varphi|_{\epsilon \neq 0} - \delta\varphi|_{\epsilon=0} = \left(\frac{4M}{R} - \gamma R \right) \epsilon$$

Таким образом, влияние на отклонение является крошечной частью отклонения при чисто сферической симметрии. Верхний предел ϵ по порядку величины может быть получен из ошибки при измерении отклонения. Как правило, для галактик

$$M \approx 10^{15} \text{ см}, R \approx 10^{22} \text{ см}$$

и принимая $\gamma \approx 10^{-30} \text{ см}^{-1}$ [2] мы имеем $\delta\varphi|_{\epsilon=0} \approx 10^{-7}$

и таким образом, на галактический масштаб, если измерение включает в себя, например, ошибку в 10%, конический параметр дефекта будет ограничен

$$\epsilon < 10^{-8}$$

Эта оценка совпадает с оценкой, полученной из измерения отклонения света Солнцем.

Мы благодарим профессора К.К.Нанди за постановку задачи.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 08X18N10T ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЕМ ПО РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ

Халитова А.В., Абрамова М.М., Александров И.В.

Уфимский государственный авиационный технический университет
г. Уфа, Россия

Создание в металлах и сплавах ультрамелкозернистых (УМЗ) структур представляется наиболее эффективным путем их упрочнения. Особенно перспективен этот метод для термонеупрочняемых материалов, в частности, хромистых и хромоникелевых нержавеющей сталей с матричной структурой. Поэтому тема данной работы, посвященная формированию УМЗ состояний в коррозионнотойкой стали 08X18N10T, является весьма актуальной.

В процессе интенсивной пластической деформации (ИПД) в исследуемой стали происходит $\gamma \rightarrow \beta$ превращение [1,2]. При данном превращении наряду с повышением сопротивления пластической деформации происходит снижение пластичности и сопротивления хрупкому разрушению. Основная причина резкого охрупчивания – малая подвижность дислокаций мартенсита, что, в первую очередь, связано со значительными искажениями кристаллической решетки [3], которые вызывают находящиеся в твердом растворе атомы углерода. Низкая подвижность дислокаций не обеспечивает релаксации локальных напряжений у вершины трещины, что и обуславливает низкое сопротивление распространению хрупких трещин.

Материалом исследования являлась однофазная сталь 08X18N10T – аустенитного класса с ГЦК решеткой. Химический состав данной стали приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав стали 08X18N10T, % (вес.)

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
основа	0,08	0,8	1,0- 2,0	17,0- 19,0	9,0- 11,0	0,4- 0,6

Сталь поставлялась в виде прутков, полученных в процессе холодной деформации, диаметром 20 мм. Впоследствии перпендикулярно продольной оси из прутков были вырезаны диски толщиной 1,4 мм.

С целью растворения карбидных фаз, снятия внутренних напряжений и гомогенизации γ -твердого раствора была проведена закалка с температуры 1050°C в воду, с предварительной выдержкой в течение часа. Полученное таким образом состояние принято как исходное.

Исследованиям подвергались исходное закаленное состояние, состояние 1, полученное по режиму, обеспечивающему образование мартенсита деформации ($\gamma \rightarrow \beta$ превращение); состояние 2, полученное по режиму, при котором не происходит мартенситного превращения и сохраняется $\gamma + \beta$ смесь фаз; состояние 3, полученное по режиму, обеспечивающему $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ превращения.

ИПД осуществлялась методом кручения под высоким давлением (ИПДК). Для реализации вышеуказанных состояний были выбраны следующие режимы деформации:

- 1) $T = 20^\circ\text{C}$, $n = 10$ оборотов – состояние 1;
- 2) $T = 490^\circ\text{C}$, $n = 10$ оборотов – состояние 2;
- 3) $T = 20^\circ\text{C}$, $n = 5$ оборотов + $T = 490^\circ\text{C}$, $n = 5$ оборотов – состояние 3.

Деформация проводилась под гидростатическом давлением, равном 6 ГПа, со скоростью вращения нижнего бойка 1 об/мин.

Микроструктура в исходном состоянии представляет собой равноосные зерна аустенита, средний размер которых 28 мкм, с выделениями карбидов Ti преимущественно по границам зерен (рис. 1).

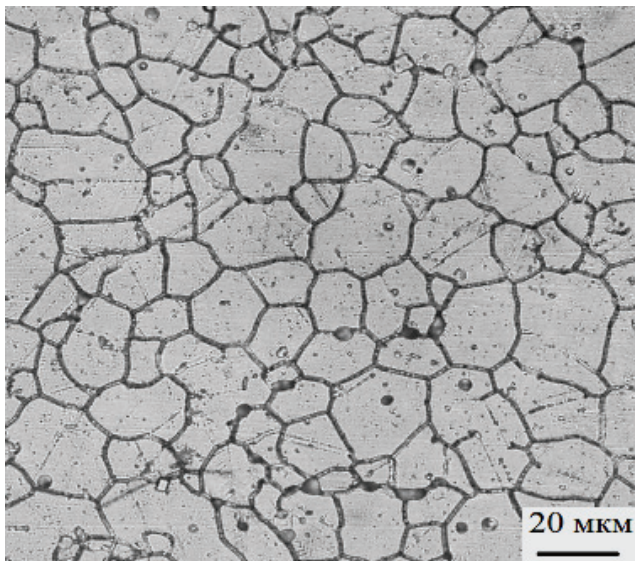


Рис. 1. Микроструктура стали 08X18N10T после закалки

Сталь в исходном состоянии характеризуется пределом прочности 540 МПа и высокой пластичностью $d = 75\%$ (рис. 2). Образец разрушается с образованием шейки.

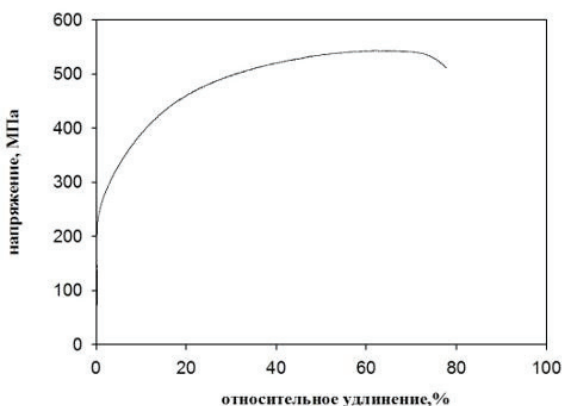


Рис. 2. Зависимость напряжения течения от относительного удлинения для исходного состояния

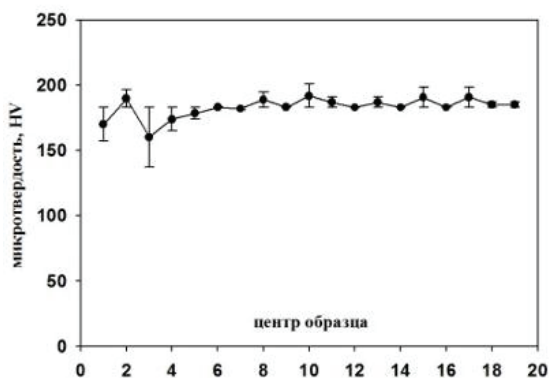


Рис. 3. Распределение микротвердости вдоль диаметра образца в исходном состоянии

Значения микротвердости в состоянии после закалки практически одинаковы по диаметру образцов (рис. 3). Среднее значение составляет 180 НВ.

Рассмотрим структуру стали после деформации при $T=20^{\circ}\text{C}$ (рис. 4). Сложный дифракционный контраст затрудняет наблюдение деталей структуры, различия лучше всего заметны на темнопольных изображениях. Средний размер структурных элементов 100 нм.

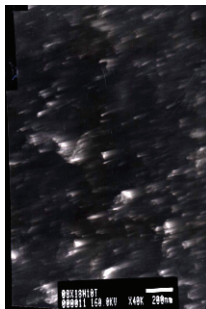
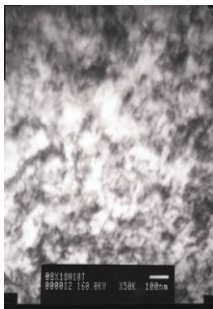


Рис. 4. Светлопольное и темнопольное изображения стали после ИПДК по режиму: $T=20^{\circ}\text{C}$, $n=10$ оборотов

При температуре деформации 490°C средний размер структурных элементов стали составил 195 нм (рис. 5).

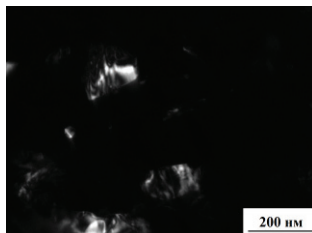
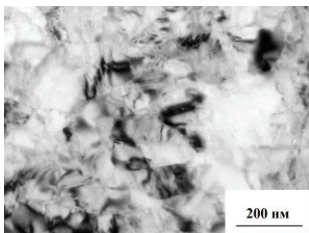


Рис. 5. Светлопольное и темнопольное изображения стали после ИПДК по режиму: $T=490^{\circ}\text{C}$, $n=10$ оборотов

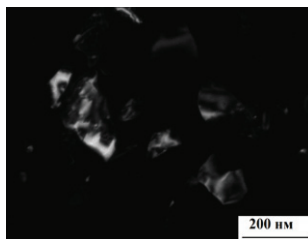
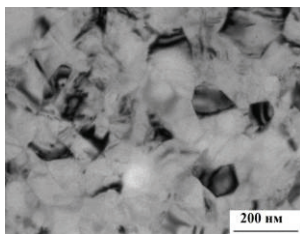


Рис. 6. Светлопольное и темнопольное изображения стали после ИПДК по режиму: $T=20^{\circ}\text{C}$, $n=5$ оборотов + $T=490^{\circ}\text{C}$, $n=5$ оборотов

После деформации по комбинированному режиму (рис. 6) средний размер структурных элементов составил 110 нм.

Средние значения микротвердости для образцов после ИПДК при 20°C, 490°C и комбинированном режиме составляют 570, 470, 570 МПа соответственно.

Анализ кривых на рис. 7 указывает на то, что формирование УМЗ структуры приводит к резкому росту прочностных и снижению пластических характеристик.

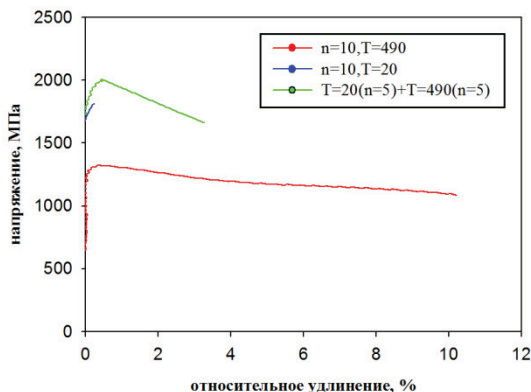


Рис. 7. Зависимость напряжения течения от относительного удлинения для образцов после деформации

Для образцов, подвергшихся деформации при комнатной температуре, характерно хрупкое разрушение. В то же время предел прочности увеличился до 1800 МПа, что в 3 раза превышает соответствующее значение для стали после закалки. Столь низкое значение относительного удлинения 0,3% и высокое значение прочности, вероятнее всего, связаны с образованием мартенсита деформации, который значительно прочнее аустенита, но менее пластичен.

При температуре деформации 490°C сталь характеризуется пределом прочности 1310 МПа и более высоким показателем пластичности ($d = 9\%$) по сравнению с предыдущим состоянием ($d = 0,3\%$).

Для комбинированного режима предел прочности и относительное удлинение составляют 1990 МПа и 3,3% соответственно.

По результатам исследования микроструктуры и механических свойств были сделаны следующие выводы:

- после закалки без деформации сталь имеет низкий предел прочности $y_b = 540$ МПа и высокую пластичность $d = 75\%$,

- состояние 1 характеризуется высоким пределом прочности $y_b = 1800$ МПа (увеличение более чем в 3 раза), но пластичность резко снизилась до 0,3%,

- состояние 2 характеризуется увеличением прочности по сравнению с соответствующим значением для исходного состояния более чем в 2 раза ($\sigma_{\text{в}} = 1310$ МПа),

- наиболее интересными представляются результаты для состояния 3, которое характеризуется максимальным значением прочности $\sigma_{\text{в}} = 1990$ МПа при сохранении некоторой пластичности ($\delta = 3,3\%$).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №12-02-31025.

Литература

1. Закирова А.А., Зарипова Р.Г. Термическая стабильность УМЗ структуры стали 12Х18Н10Т, сформированный при ИПД кручением под высоким давлением // Перспективные материалы. – 2011. - №12

2. Литовченко И.Ю., Тюменцев А.Н., Шевченко Н.В., Корзников А.В. Эволюция структурно-фазовых состояний при больших пластических деформациях аустенитной стали 17Cr – 14Ni – 2Mo // Физика металлов и металловедение. – 2011. – Т.112, №4. – С. 436-448.

3. Смирнов М.А., Счастливцев В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали: Учебное пособие. Екатеринбург: УрО РАН, 1999.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОБАЛЬТИТА ЛИТИЯ LiCoO_2** **Халиуллина Р.Г., Курбангулов А.Р., Кутов А.А., Акманова Г.Р.,
Латыпов К.Ю., Кашкаров И.Ю.****Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия**

Химические источники тока на основе лития являются малогабаритными, легкими и высокоэнергоемкими. Кобальтит лития LiCoO_2 широко используется в качестве катодного материала в химических источниках тока. Это соединение имеет ромбоэдрическую структуру (пространственная группа $(R\bar{3}m)$ с параметрами элементарной ячейки $a=2,82 \text{ \AA}$, $c=14,05 \text{ \AA}$. Об измерениях электрических свойств кобальтита лития сообщается в работах

[1-6]. Удельная электропроводность тонких пленок LiCoO_2 , выращенных при различных температурах подложки, была измерена с помощью стандартного четырехзондового метода в температурном диапазоне 180-500 К [5]. При повышении температуры наблюдается увеличение удельной электропроводности пленок LiCoO_2 . Удельная электропроводность LiCoO_2 изменяется от 10^{-9} до 10^{-4} См/см в температурном диапазоне от 180 до 500 К. Увеличение удельной электропроводности связано либо с повышением эффективной концентрации носителей, либо с уменьшением энергии активации при повышении температуры. Энергия активации уменьшается от 0,36 эВ до 0,26 эВ в температурном диапазоне 250 - 500 К. В работе [6] была представлена температурная зависимость электронной проводимости спрессованного поликристаллического образца LiCoO_2 , отожженного при температуре 950 °С. Измерения проводимости были проведены в продольном и перпендикулярном направлении образца. Обе зависимости имеют полупроводниковый характер. Величины проводимости при 300 К имеют значения $1,68 \cdot 10^{-3}$ См/см (перпендикулярного направления) и $8,97 \cdot 10^{-6}$ См/см (продольного направления).

Известны несколько методик получения кобальтита лития LiCoO_2 [1-4]. В настоящей работе мелкокристаллический LiCoO_2 был получен из водных нитратных растворов с использованием в качестве комплексообразователей нитратов аминов.

Для выявления характера взаимодействия нитратов кобальта и лития с нитратами аминов нами были исследованы фазовые равновесия в тройных водно-солевых системах при двух температурах 25 и 50 °С нитрат кобальта (III) (лития) – нитраты пиридина, хинолина – вода. Для раскрытия характера взаимодействия нитрата никеля с нитратами аминов в водных растворах их совместная растворимость при температурах 25 и 50° С изучалась методом сечений.

Как показали экспериментальные данные, все системы относятся к системам с химическим взаимодействием исходных солевых компонентов и диаграммы трехкомпонентных систем описываются полями кристаллизации исходных нитратных солей – нитрата кобальта (лития), нитратов аминов, вновь обнаруженных продуктов взаимодействия и гомогенной областью растворов.

Составы комплексных соединений, установленные графоаналитическим способом, подтверждены химическим анализом. Аттестация образцов кобальтита лития LiCoO_2 проводилась на дифрактометре ДРОН 4-07 на излучении $\text{Cu-K}\alpha$. (рис. 1 и 2). Дифрактограммы соединений, синтезированные с помощью хинолина и пиридина показывают, что соединения являются однофазными. Рассчитанные параметры кристаллической решетки находятся в хорошем соответствии с литературными данными (таблица 1).

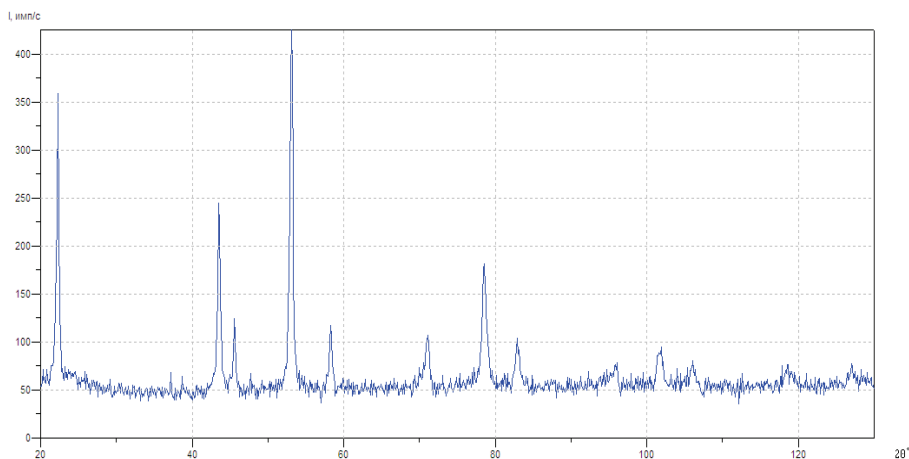


Рис. 1. Рентгенограмма кобальтита лития (пиридин), отожженного при 500 °С

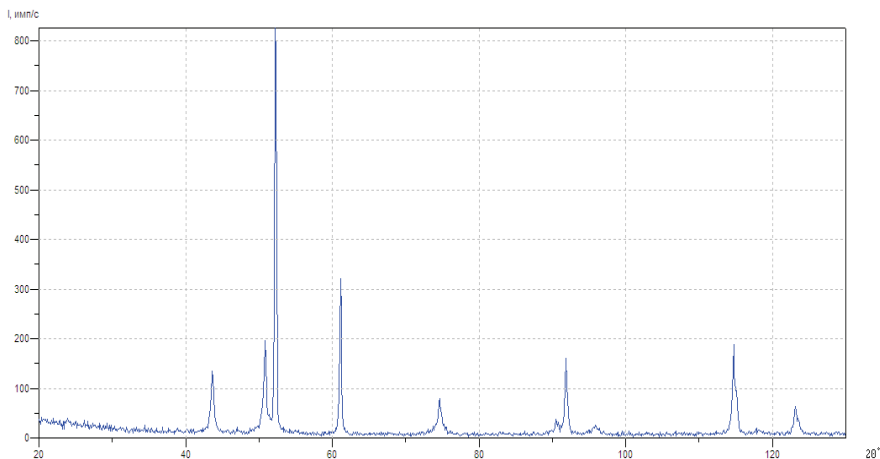


Рис .2. Рентгенограмма кобальтита лития (хинолин), отожженного при 500 °С

Параметры кристаллической решетки кобальтита лития

Таблица 1

Образец	a, Å	c, Å
LiCoO ₂ (на хинолине)	2,802 ±0,003	14,0695 ±0,04
LiCoO ₂ (на пиридине)	2,8171±0,003	14,0180±0,04
LiCoO ₂ [1]	2,8103±0,0002	14,027 ± 0,004

Порошки, полученные после разложения нитратных комплексных соединений, были обожжены в муфельной печи при температуре 500, 700, 800 и 1000°C. Изучение распределения частиц по размерам было произведено на анализаторе SALD-7101 фирмы «Shimadzu» Японии. Показано, что размеры частиц образцов, синтезированных с помощью хинолина и пиридина находятся в диапазоне (2÷100) мкм.

Электрофизические свойства кобальтита лития LiCoO_2 были измерены на установке, состоящей из термостата и измерителя RLC (емкости, сопротивления, индуктивности и тангенса угла диэлектрических потерь). Нагрев осуществлялся внутри рабочей камеры термостата, куда помещалась кассета с исследуемым образцом. Измерения проводились в интервале температур от 20° С до 100 °С при двух различных частотах.

Диэлектрическая проницаемость ϵ определялась по формуле:

$$\epsilon = \frac{Ch}{\epsilon_0 S},$$

где C - емкость образца; h - толщина образца; S - площадь образца; ϵ_0 - диэлектрическая постоянная.

На рис. 3 и 4 представлены температурные зависимости диэлектрической проницаемости кобальтита лития, измеренные при двух частотах: 120 Гц (рис. 3) и 1000 Гц (рис. 4).

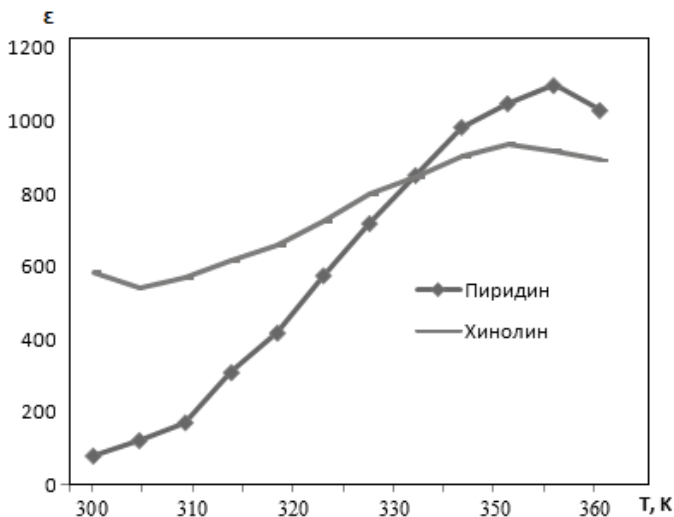


Рис. 3. Зависимость диэлектрической проницаемости LiCoO_2 от температуры при 120 Гц

Как видно из графиков, величина диэлектрической проницаемости растет с увеличением температуры. Различный характер зависимости диэлектрической проницаемости объясняется несколькими факторами: во-первых, неодинаковый стехиометрический состав полученных образцов влияет на величину диэлектрической проницаемости и ее зависимости от температуры; во-вторых, на характер температурной зависимости влияет неоднородный гранулометрический состав, известно, что уменьшение размера частиц ведет к увеличению величины ϵ [7]; в-третьих, различная плотность

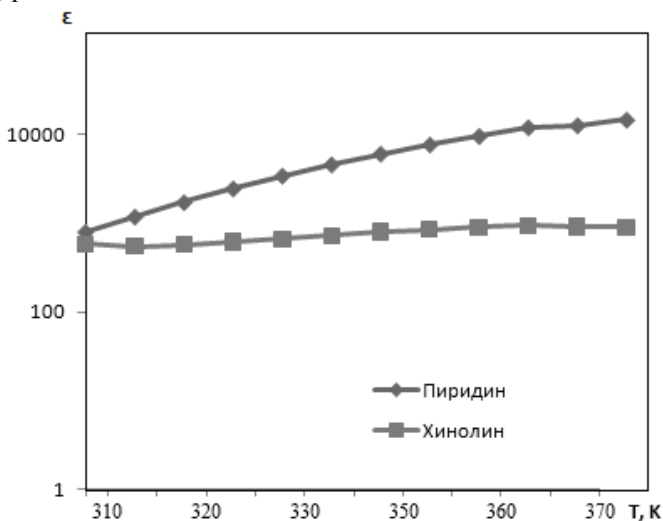


Рис. 4. Зависимость диэлектрической проницаемости LiCoO_2 от температуры при 1000 Гц

спрессованных таблеток ведет к существенному отличию изменения величины диэлектрической проницаемости ϵ от состава и от температуры. Для выявления существенного фактора влияния на величину диэлектрической проницаемости необходимо дальнейшее исследование образцов с различным гранулометрическим составом, но с одинаковой стехиометрией и с одинаковой плотностью спрессованных образцов.

Литература

1. Галахов В.Р., Карелина В.В., Келлерман Д.Г., Горшков В.С., Овечкина Н.А., Нойманн М. Электронная структура, рентгеновские спектры и магнитные свойства нестехиометрических оксидов $\text{LiCoO}_{2-\delta}$ и Na_xCoO_2 // ФТТ – 2002. Т.44, в.2, с.257-264.

2. Емелина А.Л., Быков М.А., Ковба М.Л., Сенявин В.М., Голубина Е.В. Термохимические свойства кобальтата лития//Журнал физической химии- 2011. Т.85, в.3, с.420-426.
3. Скундин А.М. Литий-ионные аккумуляторы: современное состояние, проблемы и перспективы// Электрохимическая энергетика-2001. Т.1, №1,2, с.5-15.
4. Косова Н.В., Ануфриенко В.Ф., Ларина Т.В., Девяткина Е.Т. Синтез LiCoO_2 - катодного материала для литий ионных аккумуляторов-с использованием механической активации // Химия в интересах устойчивого развития-2001. в.9, с.235-242.
5. Rao M.C., Hussain O.M. Optical and electrical properties of laser ablated amorphous LiCoO_2 thin film cathodes //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering - 2009. V.2
6. Zhang H., Baker P. J., Grant P.S. Fabrication and Electrical Properties of Bulk Textured LiCoO_2 //J.Am. Ceram. Soc. - 2010. V.93 (7), P.1856-1859.
7. Бацанов С.С. Поярков К.Б., Гаврилкин С.М., Влияние атомной структуры на диэлектрические свойства наноматериалов //Доклады Академии наук. 2009. Т.428. № 3, с.322-324.

© Халиуллина Р.Г., Курбангулов А.Р., Кутов А.А.,
Акманова Г.Р., Латыпов К.Ю., Кашкаров И.Ю., 2012 г.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЛЕРАНТНОСТИ У УЧАЩИХСЯ
В СЕЛЬСКИХ И ГОРОДСКИХ ШКОЛАХ****Хаматов И.Д., Даутова К.В.****БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия**

В последнее время усилилось противостояние Запада и Востока, выражающееся в многочисленных конфликтах, уличных беспорядках, политических акциях. Мы считаем, что этому способствует и клерикализация общества. С одной стороны, это радикальные исламистские партии и движения в восточных странах, с другой – усиление роли РПЦ в жизни российского общества. Как те, так и другие считают, что любое действие граждан «оскорбляющее чувства верующих», направлено против страны и нации. Мы видим это на последних примерах, как в восточных странах, так и в России. Смысл существования стран при этом сводится к содержанию и обслуживанию религиозных институтов. Такая идеология приводит к полному неприятию понятия «толерантность», разделению граждан по взглядам и мировоззрениям, взаимозлобленности народов. Она приводит к тому, что понятие патриотизма размывается, заменяясь на разделение народов по вероисповеданию. Нами проведен педагогический эксперимент среди учащихся старших классов по выяснению их отношения к толерантности в обществе.

Целями констатирующего эксперимента были:

1. Выяснение понимания дефиниции «толерантность», признания универсальных прав и индивидуальности человека,
2. Определение социального поведения школьников к людям другой этнической принадлежности, в частности, выходцам из Ближнего Востока и Средней Азии, отношения к маргинализации социально незащищенных групп,
3. Отношение школьников к межнациональным конфликтам,
4. Определение уровня информированности и знаний о восточной цивилизации, культуре, науке, в частности, физике.

Анкета состояла из 16 как прямых, так и косвенных вопросов с выборочным ответом и открытыми вопросами, на которые учащиеся должны были в свободной форме сформулировать ответы. Вопросы анкеты были направлены на решение главных задач исследования, касались мотивов, мнений и оценок. Респондентами были учащиеся 9-11 классов.

Для анкетирования мы выбрали два типа школ: городскую - с устоявшимися традициями, сильным учительским коллективом, находящуюся в центральной части города Уфы, МОБУ СОШ №45 г. Уфы с углубленным изучением отдельных предметов и сельскую, которая

находится в районном центре села Благовар Благоварского района. Выбор определился тем, что городские и сельские дети имеют разный менталитет и уровень воспитания. Они находятся в различной социальной среде, которая влияет на их поступки, отношение к людям и себе, и что немаловажно – в различии влияния родителей городской и сельской семей с более патриархальными традициями, которые также формируют особенности поведения у подростков. В МОБУ СОШ 45 действует республиканская комплексная программа "Поликультурное воспитание в многонациональной городской школе" начиная с 2004 года. Село Благовар является многонациональным и поликультурным. В районе проживают люди более 30 национальностей. По национальному составу в районе преобладают башкиры – 48,4%, татары составляют 23,1%, русские – 19,8%, украинцы – 3,9%, немцы – 2,4%.

Вопросы анкеты были скомпонованы в произвольном порядке, а не по целям, что позволяет, по нашему мнению, более объективно их оценить. Приведем примеры вопросов и ответов для выяснения цели 2:

1. Как Вы считаете, националист – это тот, кто:

- считает представителей своей национальности лучше всех других людей;

- досконально знает свою национальную культуру;

- пишет книги о достоинствах и недостатках представителей своей национальности;

- затрудняюсь ответить.

2. Мигранты и беженцы – это в первую очередь:

- люди, готовые на все ради переезда;

- преступники, скрывающиеся в бегах;

- люди, вынужденные по политическим или экономическим причинам покинуть свое постоянное место жительства;

- попрошайки на улицах;

- затрудняюсь ответить.

3. Как Вы обычно относитесь к тому, что в Вашем доме/ городе живут люди другой национальности или религии:

- это плохо;

- это хорошо;

- мне все равно;

- затрудняюсь ответить.

Анкетирование показало, что ученики правильно понимают значение слова «толерантность» - от 90 до 95%. Каждый из них лично редко подвергался насилию по национальному, имущественному или другим признакам, лишь 8% городских учащихся и 4% сельских подвергались насилию. Однако, 45% сельских и 20% городских учеников были свидетелями проявления нетерпимости, унижения достоинства человека и общественной агрессии на практике, в том числе и экстремистского

фашистского толка и исламского – 54% и, соответственно, 8% городских ребят и 16% и 16% - сельских. И, наконец, знают о них из СМИ 50% городских и 25% сельских школьников. Интересными были результаты анкетирования относительно отношения подростков к выходцам с Востока, к цивилизации Востока. Сельские ребята проявили больше уважения к ее цивилизации и культуре. От 40 до 50% всех респондентов признают уникальность ее исторической культуры, 20% городских ребят считают, что сейчас на Востоке нет развитой цивилизации и науки, есть ответы, утверждающие, что с Востока идет враждебная нам культура, а мигранты, являются попрошайками.

Понятию толерантности противостоит национализм. В России согласно государственной идеологии он имеет ярко выраженный негативный оттенок и по смыслу приближается к шовинизму и ксенофобии. Национализм заявляет о необходимости открытой борьбы против мультикультурализма и насаждения общечеловеческих ценностей, которые размывают межнациональные различия. Национализм как явление свойственно обществу в период становления нации, национализм всегда создаёт объект своего поклонения — нацию, а нация в свою очередь является сообществом, имеющая общую этничность, историю, культуру. Ученики понимают национализм согласно общепринятому в российском обществе смыслу, 70% сельских и 54% городских школьников. Разброс ответов на вопрос «Что объединяет нацию?» очень широк, и мы его не приводим. В ее характеристику включали общую религию, язык, обычаи и т.п. Подростки, в основном, индифферентны к национализму, и только четверть всех респондентов хотела бы при случае иногда принять участие в действиях против национализма, включаться в борьбу против нее. Так же школьникам безразлично, представители какой нации и кто живет около них (соответственно ответили 66% сельских и 87% городских школьников).

Большую тревогу вызывает полное незнание учениками истории естественных наук других наций, в частности, мы проверяли их информированность по культуре и науке Востока. Они не знают ни создателей науки, ни ее современного состояния, ни персоналий. Например, на самый, казалось бы легкий вопрос, «Кто является создателем алгебры?» только около 40% всех учеников выбрали Аль-Хорезми, 41% назвали Пифагора или Архимеда, были даже выбраны Ньютон, Омар Хайям и Авиценна. Мы дали перечисление ученых-физиков разных времен, в том числе и современных на предмет знания их принадлежности к Ближнему или Среднему Востоку. Ответ практически нулевой. На вопрос: «Каких поэтов, мыслителей и ученых, (математиков, физиков, астрономов) средневекового Востока, вы знаете?» - 70%

сельских и 90% городских учащихся ответили, что никого. Среди единичных ответов были Будда, Конфуций, Менделеев.

Анализ ответов свидетельствует, что ученикам не свойственны враждебность, неприятие чужих, агрессивность. Их не интересуют политические платформы, разделяющие народ на нации, религии, этнические большинство или меньшинство. Они толерантны ко всему, что их окружает естественно, несмотря на национальные раздоры и противоречия в обществе на всякой почве.

В этом отношении подрастающее поколение в нашем регионе является благодатным материалом для воспитания мультикультурализма на основе знания истории и культуры своей страны, воспитания базовых ценностей человечества. В данном случае под мультикультурализмом мы понимаем идеологию и политику, направленную на развитие и сохранение в стране и мире культурных различий и общечеловеческих ценностей. Основным звеном объединения народов являются общие взгляды и то, что накапливалось веками совместно. Между культурами связывающим звеном, мы считаем, является наука, так как в науке нет разделения на субкультуры.

Однако, у учеников низок интерес к национальной культуре других народов и к ним самим, в частности. На вопрос с открытым ответом: «Какие факторы, по-вашему, связывает нашу культуру с культурой Ближнего Востока?» 80% учеников не ответили. Это свидетельствует, что уровень подготовленности учеников к ответу низок. Среди единичных ответов были такие «участие в войне», «вера», «многонациональность», «географическая близость» и даже «строительство коммунизма».

Констатирующий эксперимент включал в себе и беседы с учениками по выяснению этих целей. Они дали такой же результат.

Включение в обучение физике вклада восточных ученых, взаимосвязь их работ с европейской по хронологии, содержанию, методологии будет являться частью мультикультурного образования на уроках физики. Об актуальности мультикультурного образования, формирования толерантности в системе образования говорили ученые на IV Международной научно-практической конференции (22-23.09.2011.) «Идеалы и ценности ислама в образовательном пространстве XXI века». Критерии отбора содержания мы связываем с необходимостью формирования научного мировоззрения, знаний особенностей европейской и восточной науки и культуры, что будет способствовать сохранению и развитию культурного разнообразия многонационального народа Российской Федерации. Учащиеся должны также уметь проводить анализ и оценку взаимодействующих наук и культур.

ФУНКЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ

Хамматова Р.Р., Изергин Э.Т.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа

Эксперимент в школьной физике является отражением метода исследования, присущего науке физике. Изучение физических понятий на основе эксперимента способствует формированию научного мировоззрения учащихся, более глубокому усвоению физических законов, повышает объективность и доказательность получаемых выводов, повышает интерес школьников к изучению физики.

В ходе демонстрации опытов учитель руководит ощущениями и восприятиями учащихся и на их основе формирует определенные понятия и убеждения.

Демонстрационный эксперимент по физике может преследовать различные цели:

- Демонстрируемый прибор является **объектом** изучения. Это может быть физический **прибор** (амперметр, вольтметр, реостат, барометр, термометр и т.п.), а также **модель** технического устройства (модель двигателя внутреннего сгорания, паровой машины, водяного насоса и т.п.). Модель может быть действующей, например модель электрического звонка, электромагнитного реле, детекторный радиоприёмник на панели, счётчик ионизирующего излучения и т.д. В ряде случаев демонстрацию некоторых элементов электрической цепи (резисторов, конденсаторов, электронных ламп, гальванических элементов и т.д.) целесообразно использовать в качестве раздаточного материала.

- **Знакомство учащихся с физическими явлениями.** С рядом явлений дети встречаются постоянно, например, с явлением инерции. Другие явления проявляются только в определённых специально созданных условиях. Приступая к изучению явления, это явление необходимо продемонстрировать.

- **Проверка справедливости** изученной закономерности. Например, на основе представлений об электронной проводимости металлов приходим к выводу, что при одной и той же силе тока количество теплоты, выделяемой в проводнике при прохождении тока, тем больше, чем больше сопротивление проводника (закон Джоуля-Ленца). Чтобы проверить этот вывод, пропустим ток через цепочку соединённых последовательно проволок: никелиновых и медных. При этом бумажные лепестки, подвешенные на никелиновых кусках проволоки, дымятся и падают, а лепестки, подвешенные на медных

кусках проволоки, не претерпевают никаких изменений. Сделанный вывод подтверждается. Кстати, эта функция эксперимента – подтверждение теоретических выводов – указывается в качестве единственной в целом ряде работ по педагогике.

- **Выявление физической закономерности.** Учитель собирает демонстрационную установку и находит вместе со школьниками зависимости одной физической величины от ряда других. Это одна из важнейших функций. В этом случае эксперимент выступает как **источник знаний**: учитель использует при объяснении научный метод – метод экспериментального исследования. Надо сказать, что научный метод используется не в чистом виде: происходит своеобразная трансформация научного метода, при которой упрощаются используемые приборы, огрубляются измерения, уменьшается число экспериментов, на основе которых строится график и формулируется вывод. Однако, учитывая важность рассматриваемой функции, ей надо уделить самое пристальное внимание. На основе эксперимента могут быть установлены законы колебаний математического маятника, закон Ома для участка цепи, второй закон Ньютона, закон Бойля-Мариотта. Совершенствование выпускаемого промышленностью школьного оборудования может обеспечить введение на основе эксперимента закона Кулона, закона Ампера, законов фотоэффекта и др.

- **Выдвижение учебной проблемы.** Так, урок физики на тему «Поверхностное натяжение жидкости» можно начать с демонстрации плавления лезвия безопасной бритвы на поверхности воды. Плотность стали в 7,8 раза больше плотности воды, а лезвие плавает. Ученики не могут объяснить это явление – возникает проблемная ситуация. Учитель говорит детям, что объяснение наблюдаемому явлению они смогут дать после изучения новой темы : «Поверхностное натяжение жидкости».

Ещё пример. Учитель сначала уточняет, от каких факторов зависит результат действия силы. Это модуль силы, точка её приложения и направление. А результатом действия силы на тело может быть либо ускорение этого тела, либо его деформация. Далее учитель показывает детям прямоугольную деревянную пластинку, через которую по углам пропущены четыре гвоздя. Если поставить этот «столик» на песок шляпками гвоздей вниз, и на столик поставить небольшую гирю, то на песок будет действовать сила – вес «столика» вместе с гирей. Результат этого действия – некоторая деформация поверхности песка.

Если теперь перевернуть «столик», поставив его на песок острыми концами гвоздей, гвозди глубоко проникнут в песок. Почему? Ведь и модуль силы, действующей на песок, и направление и точка приложения – всё осталось прежним, а результат совершенно иной. Так мы подводим учащихся к восприятию новой физической величины «давление».

- **Опытная проверка** выдвинутой гипотезы. Учитель предлагает школьникам предсказать результат опыта. Это всегда значительно труднее, чем объяснить наблюдаемое явление, поскольку результат не известен, и это же всегда вызывает активную деятельность мысли школьника, порождает борьбу различных мнений, повышает наблюдательность школьников.

Приведём пример. Учитель соединяет шлангом насос Комовского и холодную колбу, закрытую пробкой. Через пробку пропущена трубка, вставленная в другой конец шланга. Далее учитель задаёт вопрос: «какое явление мы сможем увидеть, если будем интенсивно накачивать в колбу воздух?». Способы изменения внутренней энергии тела уже изучены, поэтому не трудно догадаться, что сначала внутренняя энергия воздуха и давление воздуха внутри колбы будут увеличиваться. Потом сжатый воздух вытолкнет пробку. Далее очень трудное умозаключение: поскольку воздух при расширении совершит работу, его внутренняя энергия уменьшится. На этом фантазия детей, как правило, заканчивается. Сможем ли мы увидеть какое-либо физическое явление, позволяющее нам сказать: «Да, действительно, температура воздуха в колбе понизилась, значит внутренняя энергия уменьшилась».

Демонстрация опыта после такой беседы оказывается значительно эффективнее: ученики с усиленным вниманием наблюдают за всеми действиями экспериментатора и за результатом эксперимента. Результат опыта вызывает эмоциональный подъём, ибо он был предвосхищён теоретическим анализом.

- Физический эксперимент является **основой для овладения школьниками методом** экспериментального исследования. Если в первых пяти случаях эксперимент выступал как средство приобретения новых знаний, то в этом случае он сам выступает как новое знание, как объект познавательной деятельности ученика. Из всех видов эксперимента (демонстрационный физический эксперимент, фронтальные лабораторные работы, работы физического практикума) этой цели в наибольшей степени служат лабораторные работы исследовательского типа. Например, вместо работы «опытная проверка законов преломления света» полезнее поставить работу «Исследование зависимости синуса угла преломления от синуса угла падения света». Вместо работы «опытная проверка закона Ома для участка цепи» провести работу «Исследование зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах».

В процессе выполнения работ исследовательского типа учащиеся овладевают видами практической и умственной деятельности, характерными для научного исследования, и, следовательно, экспериментальным методом исследования в целом.

- **Демонстрация исторических опытов.** К таким опытам относят те, которые сыграли большую роль в становлении и развитии научных знаний. Например, опыт Кавендиша по нахождению гравитационной постоянной, опыт Штерна, опыт Мандельштама, опыт Эрстеда, опыты Кулона и т.д. Далеко не все исторические опыты можно продемонстрировать учащимся, однако можно продемонстрировать модели этих опытов. Например, модель опыта Резерфорда, можно продемонстрировать с помощью двух керамических магнитов: маленького (α -частица) и большого (ядро атома золота). Если лёгким щелчком послать маленький магнит в сторону большого, то траектория его движения будет зависеть от расстояния, на котором « α -частица» проходит от «ядра».

УДК 373.5.016:53

КУБОК ПО ФИЗИКИ КАК ФОРМА РАБОТЫ С ОДАРЁННЫМИ ДЕТЬМИ

Чиглинцева Н.Н., Изергин Э.Т.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акмуллы, г.Уфа

В течение пяти лет кафедра общей и теоретической физики нашего педуниверситета проводит конкурс «Кубок г.Уфы по физике» с учащимися 8-9 классов. В нашей работе мы использовали опыт физиков Башгосуниверситета, около 20 лет проводящего кубок г. Уфы и РБ для учащихся старших классов.

Одним из условий обеспечения глубоких и прочных знаний у учащихся является организация их **самостоятельной деятельности** по решению задач. 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. Решение задач – это условие предупреждения формализма в знаниях учащихся и условие выработки у них умения применять знание на практике. Умение решать задачи следует отнести к сложному познавательному умению, усвоение которого, с одной стороны, предполагает усвоение большого количества операций и частных умений, с другой стороны выступает как критерий усвоения различных элементов знаний. Степень овладения этим умением определяет качество знаний учащихся, возможность осуществления **самостоятельной** познавательной деятельности.

Кубок города Уфы по физике проводится в 3 этапа:



- в феврале проходит 1 этап по разделу «Механика»,
- в марте - 2 этап - «Тепловые явления. Гидростатика»,
- в апреле - 3 этап – «Электричество и магнетизм»

Участниками являются учащиеся 8-9 классов школ города Уфы, по одной команде, в количестве 3 человек, от общеобразовательного учреждения. Место проведения Кубка города по физике - лекционные залы физико-математического факультета Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акумуллы.

После приветственного слова председателя жюри, представления членов жюри, знакомства с правилами проведения Кубка, на экране появляется условие задачи.

На решение каждой задачи, в зависимости от сложности, выделяется от 5 до 10 минут. После удара гонга работы учащихся быстро собираются. В это время на экране показывается решение этой задачи, а затем критерии оценок.

Пока команды решают следующую задачу, члены жюри тут же проверяют работы команд, оценивая их по десятибалльной системе, а ассистенты заносят баллы в таблицу, начерченную на доске для всеобщего обозрения и в протоколы олимпиады.

I этап – отборочный (в течении пяти лет на первых этапах участвовало от 53 до 70 команд из школ города Уфы и одна команда из села Бакалы Республики Башкортостан).

На II этап допускаются 30 команд, набравших наибольшее количество баллов, на III этап – 20 команд.

По результатам трех этапов производится награждение команд-призеров. Команде-победителю Кубка города Уфы по физике среди учащихся 8-9 классов общеобразовательных школ вручается **кубок**.

По отдельным этапам командами-призерами являлись учащиеся из следующих учебных заведений:

- гимназии №93 - 10 раз, учителя физики Антонов Валерий Арсеньевич и Жилияева Татьяна Михайловна,
- гимназии №3 – 7 раз, учитель физики Уракова Гузель Иршатовна,
- лицея №62 – 4 раза, учитель физики Лукьянова Флора Анваровна,
- лицея №83 – 4 раза учителя физики Кузнецова Ольга Анатольевна, Кузякин Василий Васильевич,
- гимназии №82 – 3 раза - учителя физики Чижева Валентина Михайловна, Калиничева Ольга Леонидовна,
- лицея №153 -3 раза - учитель физики Лукманова Сакина Нуруллоевна,

- Бакалы №2 – 3 раза – учитель физики Немов Алексей Владимирович.

Принципы подбора задач для кубка города:

- Решение не должно быть громоздким, требующих очень сложных вычислений.

- Сюжет задачи должен быть интересным, развивающим воображение и образное мышление: сталкиваются два козла или барана, по ступеньке эскалатора бежит жук, по мосту бежит собака, настигаемая автомобилем и т.д.

- Задачи-картинки. Например, нарисован лев перед забором со щелью. Надо на рисунке показать область, из которой этот лев будет виден целиком. Или, например, два мальчика по разные стороны канавы, у каждого мальчика имеется доска, длина которой немного меньше ширины канавы. Показать с помощью рисунка, как можно каждому из мальчиков перебраться на противоположную сторону канавы.

- Качественные задачи типа: почему ожёг паром опаснее ожёга кипятком?

- Задачи с избыточными данными.

- Задачи по истории физики: на фамилии учёных, сделавших открытия, на очерёдность открытий и т.д.

По нашей просьбе учителя физики, подготовившие детей к участию в кубке города, сформулировали те компетенции, те прогрессивные изменения у детей, которые сформировались в процессе подготовки к кубку и участия в нём:

- умение членов команд работать в коллективе, их сплоченность;
- командный дух;
- умение слушать и прислушиваться к мнению других;
- умение отстаивать свой ход решения;
- умение добывать дополнительные знания самостоятельно;
- умение ребят концентрироваться и за малый интервал времени найти ответ на поставленный вопрос;

- вырабатывается четкость в ответах, логика в цепочках умозаключений;

- проверяется степень усвоения материала по школьной программе учащимися;

- проявление ответственности, решительности, воли к победе, стремления побеждать;

- возможность самореализации своих способностей, саморазвития;

- получения навыка и умения в решении задач повышенной сложности;

- отличная подготовка к ГИА и ЕГЭ

- привитие уважения и любви к предмету;
- не бояться задач – «они (задачи) не кусаются».

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОЙ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ
РАЗДЕЛА ЖИДКОСТЬ-ПАР ДВУХФАЗНОЙ
ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ**

Шарифуллина А.Ш.

БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

1. Методика проведения компьютерного эксперимента

С целью исследования параметров фазового равновесия на плоской границе жидкость-пар двухкомпонентной смеси, определения поверхностных свойств и установления молекулярных механизмов, ответственных за поведение смеси при изменении ее термодинамического состояния методом молекулярной динамики исследована двухкомпонентная система аргон-криптон.

Двухфазная двухкомпонентная система с плоской границей раздела жидкость-пар содержала 4096 моделируемых частиц аргона и криптона, взаимодействующих посредством усеченного парноаддитивного потенциала Леннард-Джонса, адекватно описывающего взаимодействие сферически симметричных молекул:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \begin{cases} 4\varepsilon_{\alpha\beta} \left[\left(\frac{\sigma_{\alpha\beta}}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{\alpha\beta}}{r} \right)^6 \right], & r \leq r_c, \\ \varphi_0, & r > r_c \end{cases} \quad (1.1)$$

где индексы α, β указывают сорт взаимодействующих частиц (аргон, криптон), r — расстояние между центрами сферических частиц, $\varepsilon_{\alpha\beta}$ и $\sigma_{\alpha\beta}$ — энергетический и размерный параметры потенциала, определяемые для перекрестных взаимодействий по правилу Берглю-Лоренца, r_c — радиус обрезания потенциала, φ_0 — константа, компенсирующая энергию взаимодействия частиц, находящихся на расстоянии $r > r_c$.

Параметры потенциала аргона: $\varepsilon_{Ar}/k_B = 119,8 K$, где k_B — постоянная Больцмана, $\sigma_{Ar} = 0,3405$ нм, $m_{Ar} = 6,6336 \times 10^{-26}$ кг; криптона: $\varepsilon_{Kr}/k_B = 167,0$, $\sigma_{Kr} = 0,3633$ нм, $m_{Kr} = 13,9155 \times 10^{-26}$ кг.

Радиус обрезания потенциала составлял $r_c = 6,78\sigma_{Ar}$. Далее все величины приводятся в безразмерных единицах. В качестве параметров приведения использованы параметры аргона и постоянная Больцмана k_B .

Базовая ячейка представляла собой прямоугольный параллелепипед с периодическими граничными условиями объемом $L_x \times L_y \times L_z = 13,56 \times 13,56 \times 58$. Двухфазная система в базовой ячейке представляла собой жидкую пленку с двумя плоскими границами жидкость-пар, параллельными плоскости xOy .

Расчеты проводились методом молекулярной динамики в NVE ансамбле в интервале приведенных температур 0,751-1,586. Свойства двухфазной системы исследованы в 35 состояниях, отличающихся значениями температуры и концентрации компонентов смеси. При этом значение температуры, при которой удалось получить последнее устойчивое состояние равновесия жидкой и газовой фазы в зависимости от концентрации компонентов смеси лежит в пределах 1,169-1,503. Это связано с тем, что в результате моделирования при более высоких температурах вследствие возрастания локальных флуктуаций плотности жидкая пленка разрывалась на несколько фрагментов.

Неравномерность испарения частиц с межфазных границ могла приводить к смещению жидкой пленки вдоль оси z и искажению равновесных распределений плотности и компонент тензоров давления в переходном слое. Для устранения этого в ходе компьютерного эксперимента положение жидкой пленки в ячейке контролировалось и корректировалось. С этой целью через каждые 10^{-11} с определялась z -координата центра масс, и координаты частиц переопределялись таким образом, чтобы z -координата центра масс совпадала с геометрическим центром ячейки.

Уравнения движения частиц интегрировались с помощью алгоритма Бимона с шагом по времени $\Delta t = 10^{-14}$ с. Система приводилась к состоянию термодинамического равновесия на протяжении не менее чем 4×10^5 временных шагов. Статистические данные накапливались по 1×10^6 шагам после уравнивания.

2. Результаты расчетов и их анализ

Профили плотности $\rho(z)$ и тензоров давления $p_N(z)$, $p_N(z)$ получены разбиением ячейки на 580 слоев толщиной $0,1\sigma$, параллельных плоскости xOy , и расчетом искомым функций для каждого слоя с их

последующим усреднением по времени. Следует отметить существенное возрастание времени расчета парциальных профилей плотности в смеси по сравнению с чистыми компонентами. Это связано в первую очередь с диффузионными процессами в жидкой фазе и переходном слое. Время выхода на равновесие существенно зависело и от того, насколько удачно была выбрана начальная конфигурация (концентрация компонентов) частиц в системе. На рисунке 2.1 показана фазовая диаграмма исследованной системы в координатах T^* , ρ^* для различных концентраций.

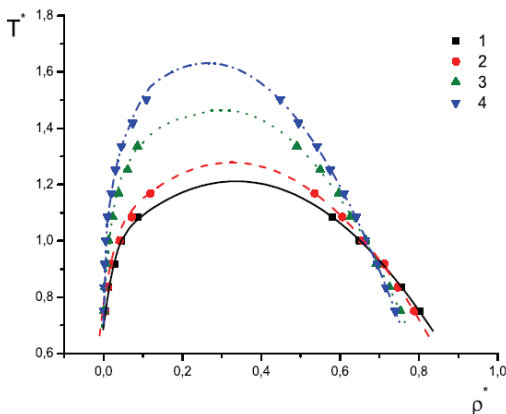


Рис. 1. Кривая сосуществования жидкость-пар:

1- $c_{Kr} = 5\%$, 2- $c_{Kr} = 25\%$, 3- $c_{Kr} = 75\%$, 4- $c_{Kr} = 95\%$.

Во всем исследованном температурном интервале плотности равновесно сосуществующих фаз могут быть описаны уравнением вида

$$\rho_l^* - \rho_g^* \sim (T_c^* - T^*)^\beta. \quad (2.1)$$

Величина температуры в критической точке T_c^* и показателя β зависят от радиуса обрезания потенциала. Аппроксимация температурной зависимости разности ортобарических плотностей формулой (2.1) дает значение критической температуры для всех концентраций существенно ниже, чем дает уравнение состояния. Величина показателя β увеличивается с ростом мольной доли криптона.

На рисунках 2.2-2.5 приведены профили плотности для аргона и криптона, полученные при различных концентрациях криптона в смеси в интервале температур 0,751-1,002.

При концентрациях криптона в смеси больших 0,5 на парциальных профилях плотности аргона в переходной имеются максимумы, которые свидетельствуют об избыточной адсорбции более легкого компонента в межфазном слое.

При использовании молекулярного подхода адсорбцию можно определить по рассчитанным в ходе компьютерного эксперимента профилям числовой плотности компонент бинарного раствора. Адсорбция представляет собой избыточную плотность аргона в поверхностном слое криптона. Поверхность, относительно которой рассчитывается адсорбция аргона, абстрагируется до четко локализованной, не имеющих переходного слоя, сосуществующих фазы — жидкость и газ. Для модельного профиля эту границу устанавливают таким образом, чтобы сумма частиц в полученных жидкой и газообразной фазах, имеющих расчетную плотность, совпала с полным числом частиц в системе, и называют эквимолекулярной z_g^{Kr} . Положение z_g^{Kr} определяется как

$$z_g^{Kr} = \frac{N^{Kr} - \rho_g^{Kr} D^*}{\rho_l^{Kr} - \rho_g^{Kr}}. \quad (2.2)$$

Относительная адсорбция аргона на эквимолекулярной поверхности криптона z_g^{Kr} рассчитывалась по формуле Гиббса

$$\Gamma_{Ar(Kr)} = N^{Ar} - \rho_l^{Ar} V_l^{Ar} - \rho_g^{Ar} V_g^{Ar}, \quad (2.3)$$

где V_l^{Ar} , V_g^{Ar} — объем аргона в жидкой и газовой фазах, разграниченных эквимолекулярной поверхностью z_g^{Kr} .

Эффективная толщина переходного слоя D^* определена как расстояние, на котором плотность в межфазной зоне изменяется от значения $\rho_g^* | 0,1(\rho_l^* \rho_g^*)$ до $\rho_g^* | 0,9(\rho_l^* \rho_g^*)$. Полученные при

компьютерном моделировании значения эффективной толщины переходного слоя в пределах суммарной погрешности расчетов согласуются с результатами ее определения по экспериментальным данным о коэффициенте эллиптичности аргона в первом приближении капиллярно-волновой теории. Согласие имеет место не только в абсолютных значениях D^* , но и в температурной зависимости

эффективной толщины переходного слоя, представленной на рисунке 2.6. Увеличение концентрации криптона в смеси уменьшает эффективную толщину переходного слоя по данной компоненте и сдвигает переходной слой в сторону жидкой фазы (рисунки 2.2-2.5).

Поверхностное натяжение рассчитывалось согласно выражению

$$\sigma = \int_{-\infty}^{\infty} [p_N(z) - p_T(z)] dz$$

Были рассчитаны компоненты тензоров давления в форме Кирквуда-Баффа и Ирвинга-Кирквуда. Температурная зависимость $\sigma^*(T^*)$ для различных концентраций компонентов смеси и экспериментальные данные для чистого аргона [2] представлены на рисунке 2.7. Откуда можно сделать вывод о согласии между результатами моделирования и эксперимента в температурной зависимости $\sigma^*(T^*)$. Температурную зависимость $\sigma^*(T^*)$ хорошо аппроксимирует формула

$$\sigma^* \sim (T_c^* - T^*)^\mu. \quad (2.4)$$

Величина критической температуры оказывается несколько завышенной относительно ее значения по данным о плотностях сосуществующих фаз (таблица 1). Величина показателя $\mu=1,3$ для всех значений концентраций компонентов смеси.

Концентрационная зависимость поверхностного натяжения раствора представлена на рисунке 2.8. Рост мольной доли криптона в растворе приводит к увеличению поверхностного натяжения.

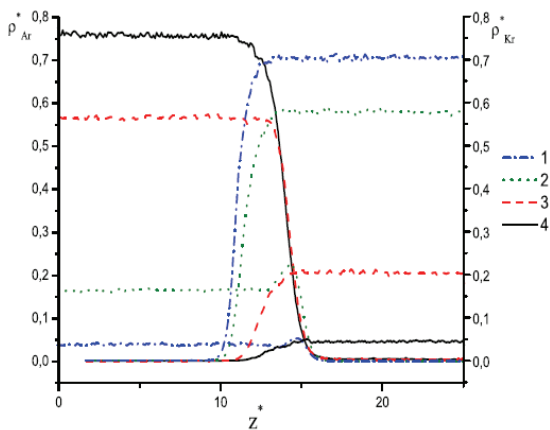


Рис. 2. Парциальные профили плотности аргона и криптона при $T^* = 0,751$. 1 — $c_{Kr} = 5\%$, 2 — $c_{Kr} = 25\%$, 3 — $c_{Kr} = 75\%$, 4 — $c_{Kr} = 95\%$

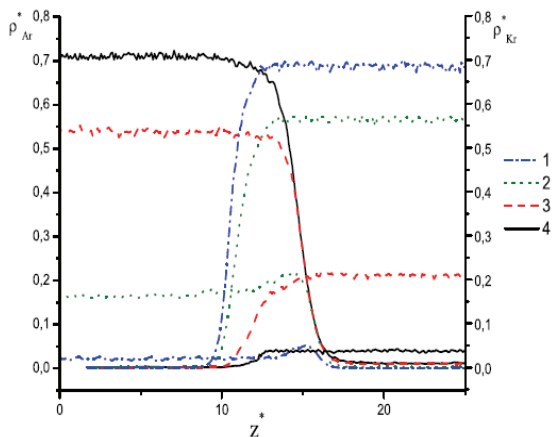


Рис. 3. Парциальные профили плотности аргона и криптона при $T^* = 0,835$. 1 — $c_{Kr} = 5\%$, 2 — $c_{Kr} = 25\%$, 3 — $c_{Kr} = 75\%$, 4 — $c_{Kr} = 95\%$

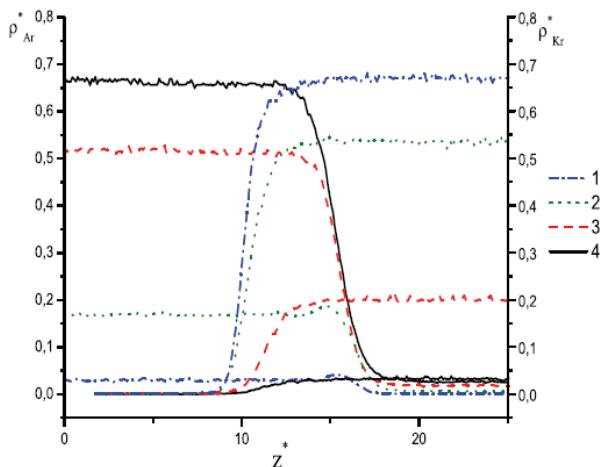


Рис. 4. Парциальные профили плотности аргона и криптона при $T^* = 0,918$. 1 — $c_{Kr} = 5\%$, 2 — $c_{Kr} = 25\%$, 3 — $c_{Kr} = 75\%$, 4 — $c_{Kr} = 95\%$

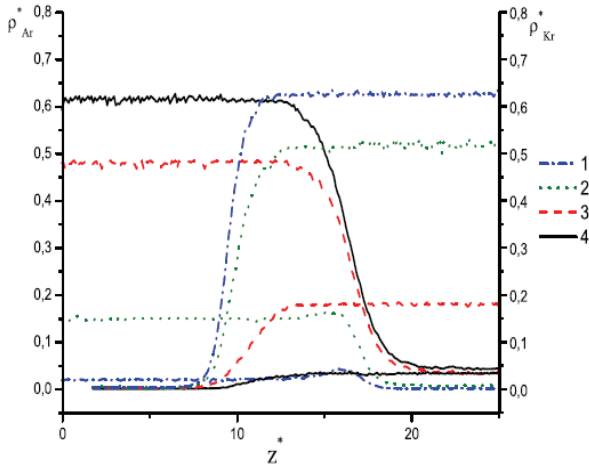


Рис. 5. Парциальные профили плотности аргона и криптона при $T^* = 1,002$. 1 — $c_{Kr} = 5\%$, 2 — $c_{Kr} = 25\%$, 3 — $c_{Kr} = 75\%$, 4 — $c_{Kr} = 95\%$

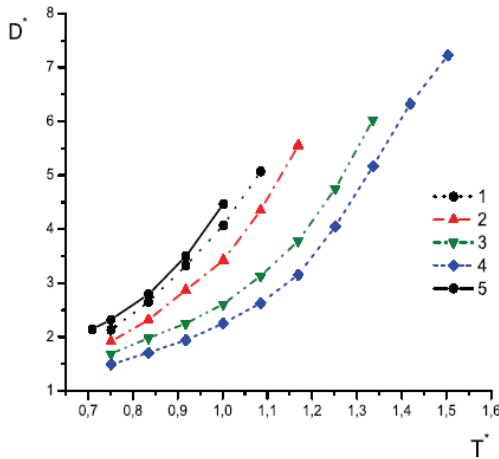


Рис. 6. Зависимость эффективной толщины переходного слоя D^* от температуры T^* . 1 — $c_{Kr} = 5\%$, 2 — $c_{Kr} = 25\%$, 3 — $c_{Kr} = 75\%$, 4 — $c_{Kr} = 95\%$, 5 — расчет по экспериментальным данным

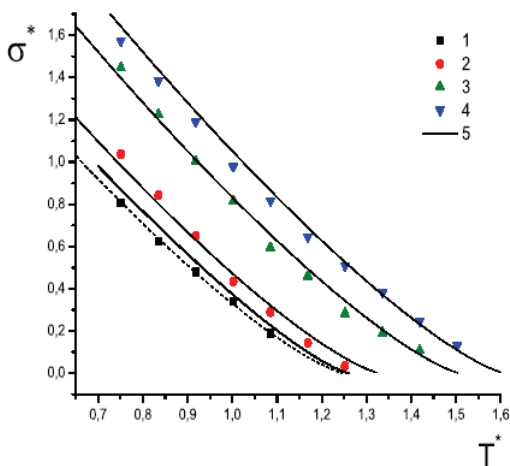


Рис. 7. Зависимость поверхностного натяжения σ^* от температуры T^* . 1 — $c_{Kr} = 5\%$, 2 — $c_{Kr} = 25\%$, 3 — $c_{Kr} = 75\%$, 4 — $c_{Kr} = 95\%$, 5 — экспериментальные данные

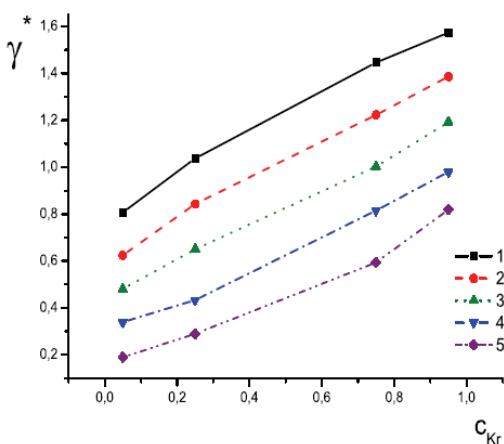


Рис. 8. Зависимость поверхностного натяжения σ^* от концентрации криптона. 1 — $T^* = 0,751$, 2 — $T^* = 0,835$, 3 — $T^* = 0,918$, 4 — $T^* = 1,002$, 5 — $T^* = 1,085$

Результаты исследований, проведенных в рамках данной работы, могут быть использованы:

- в различных химических технологиях — при исследовании нефтяных залежей (дегазации нефтяных эмульсий, например);

- в качестве источника информации для разработки теории бинарных растворов;
- в качестве справочного материала в процессе обучения студентов естественнонаучных специальностей — при чтении спецкурсов по компьютерному моделированию физических процессов;
- как стимул для дальнейших исследований или же, как один из опорных материалов при написании курсовых и дипломных работ.

Литература

- [1] Гривцов и др., Метод молекулярной динамики в физической химии, М.: Наука, 1996.
- [2] Жданов Э.Р. Исследование уравнения состояния и теплофизических свойств жидких бинарных смесей: Диссертация канд. физ.-мат. наук: 01.04.14. – Уфа, 2004, - 169 с.
- [3] Проценко С.П. Компьютерное моделирование молекулярных систем. Екатеринбург: УрГУ, 1995, 92 с.
- [4] Черных Г.Г., Проценко С.П., Байдаков В.Г. Свойства плоской межфазной границы жидкость-пар в системе леннард-джонсовских частиц // Метастабильные состояния и фазовые переходы: [Сб. науч. трудов]. Вып.2. Екатеринбург: УрО РАН. - 1998. - 123 с.

КРИТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ СЛАБЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ С ДЕФЕКТАМИ АНИЗОТРОПИИ

Шафеев Р.Р., Назаров В.Н.*

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

*ИФМК УНЦ РАН, г. Уфа, Россия

Исследования слабых ферромагнетиков, которые демонстрируют широкий спектр электрических, магнитных и оптических свойств, традиционно являются основой для создания качественно новых функциональных материалов. Практический интерес вызывает изучение статических и динамических характеристик магнитных неоднородностей в слабых ферромагнетиках, в частности, в редкоземельных ортоферритах, в связи с тем, что они определяют технические характеристики многих устройств магнитоэлектроники. Известно, что всевозможного рода дефекты решетки магнетика, приводящие к зарождению домена новой фазы, оказывают влияние на процессы перемагничивания [1 – 3]. Представляет интерес включение внешнего магнитного поля и его влияние на динамику зародыша новой фазы при наличии дефектов в магнетиках [4].

Настоящая работа посвящена теоретическому исследованию солитонной модели зародыша домена абсолютно устойчивой фазы вблизи точки спин-переориентационного фазового перехода первого рода в магнетиках с «дефектом» константы магнитной анизотропии при наличии внешнего магнитного поля. Рассмотрено уравнение синус-Гордон, которое описывает динамику одномерных магнитных неоднородностей, следующего вида с учетом поля:

$$\psi_{\tau\tau} - \psi_{\xi\xi} + \sin \psi = -\beta\psi_{\tau} - 2[g - (1+g)kf'(\xi)]\sin \frac{\psi}{2} + 4h \cos \frac{\psi}{4}. \quad (1)$$

Здесь $\psi = 4\theta$, θ – угол поворота вектора антиферромагнетизма в плоскости легкого намагничивания рассматриваемого кристалла, τ и ξ – безразмерные время и пространственная координата, g – параметр, характеризующий близость системы к точке фазового перехода первого рода, β – параметр диссипации, $h = M_0 H_z / |K_2|$ – безразмерное внешнее магнитное поле, k – константа магнитной анизотропии, $f(\xi) = \Theta(\xi + d/2) - \Theta(\xi - d/2)$ – характеризует локальное изменение магнитной анизотропии, где $\Theta(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0, \\ 0, & z < 0, \end{cases}$ d – ширина дефекта магнитной анизотропии [5].

Согласно [6, с. 64], из уравнения (1) можно получить систему нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка

относительно медленно изменяющихся со временем параметров $\Omega(\tau)$ и $\varepsilon(\tau)$, определяющую эволюцию параметров солитонного решения:

$$\begin{aligned}\Omega_\tau &= 2 \frac{\varepsilon(\beta\varepsilon - g)(1 - \Omega)}{\varepsilon^2 + 1} \Gamma(\Omega, \varepsilon) + 2 \frac{\varepsilon k(g + 1)(1 - \Omega)}{\varepsilon^2 + 1} I(\Omega, \varepsilon, d) + 2\varepsilon ah J(\Omega, \varepsilon), \\ \varepsilon_\tau &= \Omega + \varepsilon^2 - \beta\varepsilon + g - k \frac{(g + 1)I(\Omega, \varepsilon, d)}{\Gamma(\Omega, \varepsilon)} - \frac{ah(\varepsilon^2 + 1)}{(1 - \Omega)\Gamma(\Omega, \varepsilon)} J(\Omega, \varepsilon),\end{aligned}\tag{2}$$

где $\Gamma(\Omega, \varepsilon) = 1 + \frac{1}{a\sqrt{a^2 + 1}} \operatorname{Arth} \frac{a}{\sqrt{a^2 + 1}}$, $r = \frac{d}{2} \sqrt{1 - \Omega}$, $a = \left(\frac{1 - \Omega}{\Omega + \varepsilon^2} \right)^{1/2}$,

$$I(\Omega, \varepsilon, d) = \frac{\operatorname{th}(r)}{1 + a^2 - a^2 \operatorname{th}^2(r)} + \frac{1}{2a\sqrt{1 + a^2}} \operatorname{Arth} \left(\frac{\sqrt{1 + a^2}}{a \operatorname{th}(r)} \right),$$

$$J(\Omega, \varepsilon) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\operatorname{ch}^2 x \, dx}{(\operatorname{ch}^2 x + a^2)^{3/2}}.$$

В отсутствии внешнего поля система дифференциальных уравнений (2) подробно исследована в [5]. Показано, что в зависимости от ширины и глубины дефекта магнитной анизотропии зародыш новой фазы с амплитудой большей критической исчезает, закрепляется на дефекте, либо выходит за пределы области дефекта, приводя к образованию домена новой фазы. Когда начальная амплитуда зародыша меньше критической, он слабо реагирует на размеры дефекта и исчезает, превращаясь в затухающий бризер. Проанализируем теперь влияние внешнего магнитного поля на эволюцию зародыша новой фазы с учетом затухания. Рассмотрим два случая: $\Omega(\tau = 0) < \Omega_0$ и $\Omega(\tau = 0) > \Omega_0$, где Ω_0 – особая точка системы (2).

Проанализируем случай, при котором начальная амплитуда зародыша больше критической ($\Omega(\tau = 0) < \Omega_0$). На участках с пониженной анизотропией ($k > 0$) зародыш новой фазы может существовать не только при $g < 0$, но и при $g > 0$, то есть в области энергетической невыгодности такой фазы в магнетике с однородными параметрами. В случае $h = 0$, когда ширина начального зародыша больше ширины d области с пониженной анизотропией, межфазные стенки сближаются и в результате взаимодействия превращаются в затухающий бризер. Со временем зародыш новой фазы исчезает. Включение внешнего поля будет изменять описанную картину [7]. А именно, домен новой фазы, совершая колебания, в магнитном поле локализуется на дефекте. При этом расстояние между межфазными стенками с течением времени будет оставаться больше ширины d , и

магнитная неоднородность, закрепленная на дефекте, будет совершать пульсационные колебания, частота которых зависит от k , g и h . Можно показать, что функция $\omega(h)$ является выпуклым и имеет при определенном значении внешнего магнитного поля максимумы – (h_{0i}, ω_{0i}) , то есть, изменяя магнитное поле, можно подбирать максимальную частоту пульсаций стенок магнитной неоднородности ω_0 (рис. 1).

Случай закрепления зародыша новой фазы на дефекте будет наблюдаться и в отсутствие внешнего поля. Такое возможно, если ширина начального зародыша сравнима с шириной d . Включение внешнего магнитного поля приводит к тому, что 90° межфазные стенки выходят за пределы области с пониженной анизотропией: домен новой фазы становится энергетически выгодным в поле, и со временем его ширина будет увеличиваться, приводя к перемагничиванию образца. Образующие домен межфазные стенки будут двигаться в противоположных направлениях с постоянной скоростью, не совершая колебаний, и не взаимодействуя друг с другом. Следует заметить, что аналогичная ситуация выхода за дефект домена новой фазы наблюдается без внешнего поля только в случае когда ширина начального зародыша меньше ширины d .

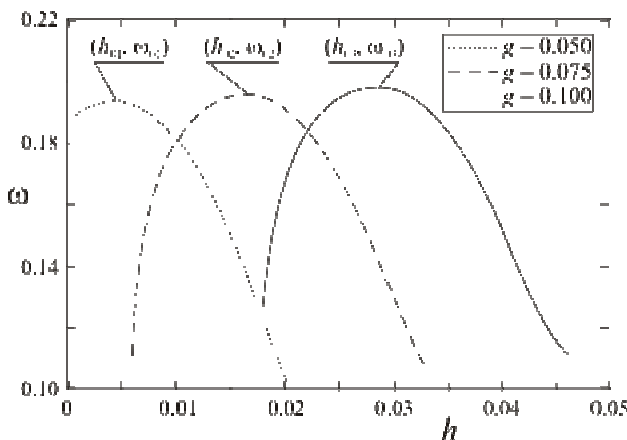


Рис. 1. Зависимость частоты пульсационных колебаний доменных стенок магнитной неоднородности ω от внешнего магнитного поля h для различных значений g в отсутствие затухания при: $d = 8.0$; $k = 0.08$;

$$\Omega(0) = 0.003 < \Omega_0 ; \varepsilon(0) = 0$$

Области исчезновения, закрепления на дефекте и выхода за дефект первоначальной магнитной неоднородности можно изобразить на фазовой диаграмме в переменных d и k (рис. 2). На этой диаграмме кривыми, состоящими из точек, ограничены вышеназванные области без внешнего магнитного поля. Самая верхняя область соответствует исчезновению зародыша новой фазы. Область, ограниченная двумя кривыми, соответствует случаю локализации на дефекте. Нижняя область под второй кривой соответствует выходу за дефект. При наличии внешнего поля кривые, разделяющие такие области, будут смещаться в сторону уменьшения ширины дефекта магнитной анизотропии, т.е. на диаграмме смещаются вниз (кривые в виде пунктирных линий и линий пунктира с точкой, рис. 2). С увеличением значения внешнего поля область закрепления на дефекте сужается и при некотором критическом поле h_{cr} исчезает. В полях, больших критического, в случае достаточно малой ширины дефекта зародыш новой фазы будет исчезать, а если ширина дефекта составляет несколько размеров толщин доменной границы, то наблюдается рост зародыша и движение двух доменных границ, образующих зародыш, в противоположных направлениях.

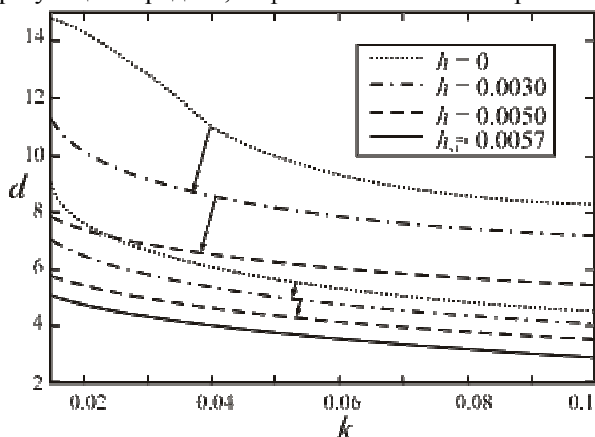


Рис. 2. Смещение областей исчезновения, закрепления на дефекте и выхода за дефект первоначальной магнитной неоднородности под влиянием магнитного поля ($\Omega(\tau = 0) < \Omega_0$)

Оценка критического значения магнитного поля, выше которого наблюдается перемангничивание, для редкоземельного ортоферрита, имеющего химическую формулу $RFeO_3$, или феррит-граната ($R_3Fe_5O_{12}$), где R – редкоземельный элемент, константа магнитной анизотропии $|K_2|$ изменяется в пределах $10^3 \sim 10^4$ Дж/м³ и намагниченность

насыщения имеет порядок $M_0 \sim 1.8 \cdot 10^{-2}$ Тл [8, 9], показывает, что поле будет изменяться в пределах $4 \sim 40$ Э.

Анализ критического поля показывает, что увеличение размера дефекта приводит к уменьшению значения критического поля. При достаточно больших размерах дефекта (порядка десяти размеров начального зародыша), поле стремится к нулю, и перемагничивание образца будет наблюдаться и в сколь угодно малых полях.

Перейдем теперь к анализу случая, при котором начальная амплитуда зародыша меньше критической ($\Omega(\tau = 0) < \Omega_0$). В отсутствие внешнего поля поведение зародыша новой фазы является однотипным во всех областях изменения параметров неоднородности анизотропии: магнитная неоднородность в виде бризера совершает колебательное движение с частотой, зависящей от параметров k , g и h . При учете диссипации бризер со временем затухает. Можно показать, что характер зависимости $\omega(h)$ такой же, что и в случае, когда начальная амплитуда зародыша больше критической (рис. 3). При включении внешнего магнитного поля ($h = 0.04$ и больше) будет происходить рост зародыша, сопровождающийся движением межфазных стенок в противоположных направлениях. В этом случае домен новой фазы будет расти, приводя к перемагничиванию образца. Такие два режима эволюции зародыша можно разделить на диаграмме поверхностью, ниже которой имеет место затухание зародыша, выше – его рост (рис. 4). Причем переход между этими режимами будет происходить не только в зависимости от поля, но и в зависимости от ширины и глубины дефекта.

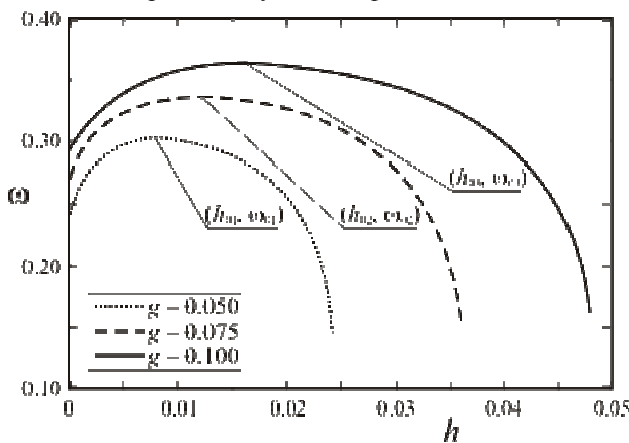


Рис. 3. Зависимость частоты осцилляций бризера ω от внешнего магнитного поля h для различных значений g в отсутствие затухания при: $d = 8.0$;
 $k = 0.08$; $\Omega(0) = 0.08 > \Omega_0$; $\varepsilon(0) = 0$

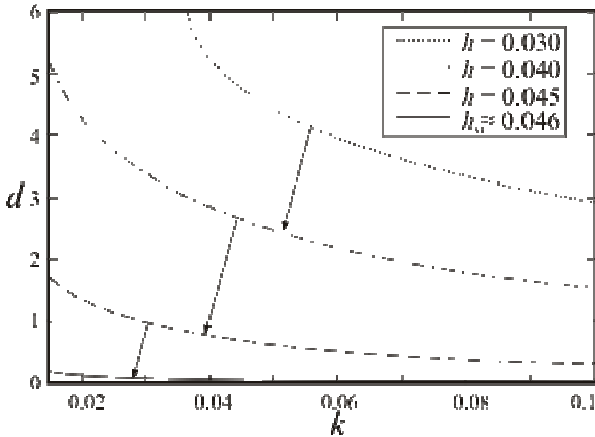


Рис. 4. Смещение границы раздела областей затухающих осцилляций бризера и выхода его за дефект первоначальной магнитной неоднородности под влиянием внешнего поля ($\Omega(\tau = 0) > \Omega_0$)

При достаточно большом внешнем поле область осцилляций бризера полностью исчезает, и будем наблюдать перемагничивание образца. Оценки этого значения критического поля дают цифру $32 \sim 320$ Э, что хорошо согласуется с экспериментальными данными [4]. Причем можно заметить, что в таких полях (порядка 300 Э) перемагничивание будет наблюдаться независимо не только от размера дефекта, но и от начальной амплитуды зародыша.

Критическое поле перемагничивания, в данном случае также зависит от глубины и ширины дефекта константы магнитной анизотропии. Можно показать, что между критическим полем и глубиной дефекта k – обратно пропорциональная линейная зависимость. Увеличение ширины дефекта d приводит также к уменьшению значения критического поля. Следует отметить, что при определенном значении ширины дефекта дальнейшее уменьшение значения критического поля прекращается и зависимость $h(d)$ выходит на постоянный режим.

Таким образом, в данной работе исследована солитонная модель зародыша новой фазы вблизи точки спин-переориентационного фазового перехода первого рода. Показано, что внешнее магнитное поле оказывает существенное влияние на эволюцию зародыша новой фазы в магнетиках при наличии дефектов. Управляя внешним магнитным полем, можно

изменять характер динамики магнитной неоднородности, как в случае начальной амплитуды зародыша больше критической, так и меньше критической. В зависимости от значения внешнего поля можно добиться локализации зародыша новой фазы на дефекте магнитной анизотропии, либо выходу за дефект, приводящему к перемагничиванию образца. В больших полях размеры дефекта уже слабо реагируют на эволюцию зародыша, что однозначно приведет к росту домена новой фазы.

Литература

- [1] A.V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsvetkov, R.V. Pisarev, Th. Rasing. *Nature*, **429**, 850 (2004).
- [2] A. Hubert, R. Schafer. *Magnetic domains*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin (1998). 696 p.
- [3] Е.Г. Екомасов, Р.Р. Муртазин, Ш.А. Азаматов. *ФТТ*, **54**, 1487 (2012).
- [4] S. Wiebel, J.-P. Jamet, N. Vernier, A. Mougin, J. Ferre et al. *Journal of Applied Physics.*, **100**, 043912 (2006).
- [5] В.Н. Назаров, Р.Р. Шафеев, М.А. Шамсутдинов, И.Ю. Ломакина. *ФТТ*, **54**, 282 (2012).
- [6] М.А. Шамсутдинов, И.Ю. Ломакина, В.Н. Назаров, А.Т. Харисов, Д.М. Шамсутдинов. *Ферро- и антиферромагнитодинамика. Нелинейные колебания, волны и солитоны*. М: Наука, 2009. 456 с.
- [7] V. Nazarov, R. Shafeev. *Modern Physics Letters B*, **26**, 1250183 (2012).
- [8] Г.А. Петраковский, А.Д. Балаев, А.М. Воротынов. *ФТТ*, **42**, 313 (2000).
- [9] К.П. Белов, А.К. Звездин, А.М. Кадомцева, Р.З. Левитин. *Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках*. М.: Наука, 1979. 317 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

К.И. Михайленко

3

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ
ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА МАЛЫХ МАСШТАБАХ

Харисов А.Т., Шамсутдинов М.А., Калякин Л.А.

10

ВОЗБУЖДЕНИЕ МАГНИТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЕМ
ГИПЕРЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

Екомасов Е.Г.

16

55 ЛЕТ КАФЕДРЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ БАШГУ

Алдошина Н.Д.

23

ПРЕПОДАВАНИЕ ФИЗИКИ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ В
РАМКАХ ФГОС НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Арсланова Ю.А., Хайбуллина А.Р., Измаилов Р.Н., Камал К.Н.

28

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ РАСХОДИМОСТИ ДЛЯ КРОТОВОЙ НОРЫ С
ТОНКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Ахтарьянов Г.Ф., Гареева З.В., Звездин А.К.

33

ОСОБЕННОСТИ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР В
ПЛЕНКАХ ФЕРРИТА ВИСМУТА

Бабаев М.С., Лагунова Е.В.

37

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕР-
КОЛЛОИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Баймуратова Г.У. Изергин Э.Т.

43

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ НА ПРОСТОМ
ОБОРУДОВАНИИ

Балашов А.С., Лопатюк А.В.

46

СИНТЕЗИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ПЛАНАРНОГО ОПТИЧЕСКОГО
ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ 1x12 КАНАЛОВ

Баянова Ю.И.

51

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА
ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ МЕДЬ-
ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИД-МЕДЬ

Борисова А.В., Изергин Э.Т.

56

ОЦЕНКА УЧЕБНИКОВ ФИЗИКИ МЕТОДОМ ДОПОЛНЕНИЯ

Бострем И.Г., Овчинников А.С., Сеницын В.Е.

60

ПРОЦЕСС НАМАГНИЧИВАНИЯ И СПИНОВАЯ ЩЕЛЬ В
ДВУМЕРНОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ФЕРРИМАГНЕТИКЕ VPrNBNVO

Валиев Р.И., Фатыхов Л.М., Фатыхов М.А.

67

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВЛЕНИЯ ПАРАФИНА В
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Валитова А.Ф. Изергин Э.Т.

72

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ФИЗИЧЕСКОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ
УСТАНОВЛЕНИЮ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ

Валитова М.Ю., Даутова К.В.

76

ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ ВОЛНОВОЙ ОПТИКИ ЧЕРЕЗ
КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ

Габбасов Р.Ф., Гареева З.В., Серегин С.В., Дорошенко Р.А.

82

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ИТТРИЙ-ЖЕЛЕЗИСТОГО ГРАНАТА

Габдрахманова Л.А., Трубкулова С.Ф.

84

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ
ПРЕВРАЩЕНИЙ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ

Гильманова Г.И.

90

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ
ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Гильманова М.Л., Изергин Э.Т.

95

АКТИВИЗАЦИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ В
ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ЗАДАНИЙ

Давлетшина А.Д.

99

РАСЧЕТ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ СУПЕРИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ
 Cu_2S И Ag_2S ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Давлетшина Р.М., Изергин Э.Т.

102

ШКОЛЬНАЯ ЛЕКЦИЯ ПО ФИЗИКЕ КАК МЕТОД ОБУЧЕНИЯ

Даутова К.В., Багаутдинова А.Р.

107

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ В ИЗУЧЕНИИ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ
В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Добрынин С.И., Головин С.В., Рахматуллин И.И.

113

СЕЙСМОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ПРЯМЫХ ПОИСКОВ,
ДЕТАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ, ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ И МОНИТОРИНГА
ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ В НЕФТЕГАЗОВОМ ПЛАСТЕ

Зиннатуллин Р.Р., Муллаянов А.И., Благодичников В.Н.

119

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ
СТРУКТУРЫ ВОДО-НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И ОТДЕЛЬНЫХ
КАПЕЛЬ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Кашапова Л.В.

125

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА
МЕЖФАЗНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Каюмов И.Р., Шамсутдинов М.А., Харисов А.Т., Калякин Л.А.

129

АВТОРЕЗОНАНСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИКОЙ ДОМЕННЫХ
ГРАНИЦ В СЛАБЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ ПРИ ФАЗОВОМ
ПЕРЕХОДЕ I РОДА

Кишине Дж, Овчинников А.С., Бострем И.Г., Сеницын Вл.Е.

136

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СОЛИТОННОЙ РЕШЕТКИ В
ПОПЕРЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Костромитин К.И., Бучельников В.Д., Соколовский В.В.

142

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДВИЖЕНИЯ ДВОЙНИКОВОЙ
ГРАНИЦЫ В СПЛАВАХ ГЕЙСЛЕРА $Ni_2-Mn-x C$
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРВОПРИНЦИПНОГО И МОНТЕ КАРЛО
МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кутлугужина Г.Р., Даутова К.В.

148

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРАТИВНЫХ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ
ЭКСКУРСИЙ К ПРИРОДНЫМ ПАМЯТНИКАМ БАШКИРИИ

Лопатюк А.В.

153

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С РАСШИРЕННЫМ ВОЛНОВЫМ
ДИАПАЗОНОМ

Мунасипов А.З., Шакиров Р., Ишембетов Р.Х., Нурахметов Т.Н.

157

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЭФФЕКТ ПЕЛЬТЬЕ В $Cu_2 S$

Мусин А.А., Фатхуллина Ю.И.

160

**ТЕПЛОВАЯ КОНВЕКЦИЯ В КАПЛЕ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ
В ПРОЦЕССЕ ВЧ И СВЧ НАГРЕВА**

Мухамедкали А.Б., Токушев Е.Д.

164

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ КАК СРЕДСТВО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ**

Мухаметгалина А.А.

169

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ
И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО
НИКЕЛЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ РАВНОКАНАЛЬНОГО
УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ**

Назмутдинов Айдар Ф., Назмутдинов Аскар Ф.

175

**ОДНОМЕРНОЕ ДВОЙНОЕ ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ И
ГАЗА ЧЕРЕЗ УЗКУЮ ЩЕЛЬ**

Неустроев А.С., Захарьевич Д.А.

181

**ВЛИЯНИЕ ОСАЖДЕННЫХ СЛОЕВ KDP НА
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ**

Протасова Е.О., Киселева С.К., Абрамова М.М., Караваева М.В.

186

**ВЛИЯНИЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ НА
МАРТЕНСИТНУЮ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

Рямова А.Д., Лопатюк А.В.

192

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ПОСТРОЕНИЕ 24
КАНАЛЬНОЙ DWDM ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ
ПЕРЕДАЧИ**

Саметов С.П., Хасанова А.А.

197

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПУЗЫРЬКОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
АКУСТИЧЕСКОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ**

Суфиянова А.А., Акманова Г.Р., Абдрахманова Л.Р.

203

ИЗУЧЕНИЕ ИОННОГО ПЕРЕНОСА В СОЕДИНЕНИЯХ $Cu_xAg_{1-x}CrS_2$

Усманов И., Халилова Г., Ишембетов Р.Х., Нурахметов Т.Н.

209

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН НА ИОННУЮ ПРОВОДИМОСТЬ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО СЕЛЕНИДА МЕДИ

Фатыхов Л.М., Нагаев Ф.А., Шагиев Н.Р., Фатыхов М.А.

212

ИССЛЕДОВАНИЯ ВВОДА И НАГРЕВА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОДУКТИВНЫЕ
ПЛАСТЫ

Хабибуллина Э.Б.

222

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ
МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ВЫИДЕОТРАФИКА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА MPLS

Хайбуллина А.Р., Измаилов Р.Н.

228

ВЛИЯНИЕ КОНИЧЕСКОГО ДЕФЕКТА НА СВЕТОВОЙ ИЗГИБ В
ГАЛО ГАЛАКТИКИ

Халитова А.В., Абрамова М.М., Александров И.В.

231

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 08X18N10T ПОСЛЕ
ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЕМ ПО
РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ

**Халиуллина Р.Г., Курбангулов А.Р., Кутов А.А., Акманова Г.Р.,
Латыпов К.Ю., Кашкаров И.Ю.**

237

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОБАЛЬТИТА
ЛИТИЯ $LiCoO_2$

Хаматов И.Д., Даутова К.В.

243

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЛЕРАНТНОСТИ У УЧАЩИХСЯ В
СЕЛЬСКИХ И ГОРОДСКИХ ШКОЛАХ

Хамматова Р.Р., Изергин Э.Т.

247

ФУНКЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ

Чиглинцева Н.Н., Изергин Э.Т.

251

КУБОК ПО ФИЗИКИ КАК ФОРМА РАБОТЫ С ОДАРЁННЫМИ
ДЕТЬМИ

Шарифуллина А.Ш.

254

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОЙ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА
ЖИДКОСТЬ-ПАР ДВУХФАЗНОЙ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ
СИСТЕМЫ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Шафеев Р.Р., Назаров В.Н.

263

КРИТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ СЛАБЫХ
ФЕРРОМАГНЕТИКОВ С ДЕФЕКТАМИ АНИЗОТРОПИИ

Для заметок

Научное издание

**«ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА
И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ»**

**Материалы
Международной школы-конференции
для студентов, аспирантов и молодых ученых**

Том 2. Физика

Научные статьи

14-18 октября 2012 г.

*Редактор Г.Г. Синайская
Корректор А.И. Николаева*

Подписано в печать 20.11.2012 г. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 20,93. Уч.-изд. л. 21,84.
Тираж 50 экз. Изд. № 271. Заказ 49а.
Цена договорная.

*Издательство ИП Галиуллин Д.А.
Республика Башкортостан, г. Уфа,
ул. Королева, 10/3-75
тел. (347) 274-13-87 www.02print.ru*

*Отпечатано в типографии «Фаст-Полиграф»
в полном соответствии с предоставленными оригинал-макетами
Республика Башкортостан, г. Уфа,
ул. К.Маркса. д. 65*