

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка
Фізико-математичний факультет

ФІЗИКО- МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Збірник наукових праць

ВИПУСК 1 (1)

Суми – 2011

Друкується згідно з рішенням вченої ради фізико-математичного факультету
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

Редакційна колегія:

Ф.М. Лиман	доктор фізико-математичних наук, професор
С.П. Ращупкін	доктор фізико-математичних наук, професор
В.Ю. Сторіжко	доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАНУ
В.С. Іваній	кандидат технічних наук, професор
М.В. Каленик	кандидат педагогічних наук, доцент
Т.Д. Лукашова	кандидат фізико-математичних наук, доцент
С.В. Петренко	кандидат фізико-математичних наук, доцент
А.О. Розуменко	кандидат педагогічних наук, доцент
О.В. Семеніхіна	кандидат педагогічних наук, доцент
О.Д. Стадник	кандидат фізико-математичних наук, доцент
Р.І. Холодов	кандидат фізико-математичних наук, доцент
О.С. Чашечникова	кандидат педагогічних наук, доцент

**Ф45 Фізико-математична освіта: 3б. наукових праць. – Суми : Вид-во
СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2011. – № 1 (1). – 122 с.**

До збірника увійшли матеріали викладачів фізико-математичного факультету Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка, які доповідалися на звітній науково-методичній конференції у квітні 2011 року.

Статті присвячені науковим та методичним засадам фізико-математичної освіти та використанню інформаційних технологій у навчальному процесі.

Матеріали подаються в авторській редакції.

ЗМІСТ

НАУКОВІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ	5
<i>ЛУКАШОВА Т.Д., ДРУШЛЯК М.Г.</i>	<i>5</i>
ОГЛЯД НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ Ф.М. ЛИМАНА.....	5
<i>МАРТИНЕНКО О.В., ПЕТРЕНКО С.В.</i>	<i>17</i>
УПРОВАДЖЕННЯ КРЕДИТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТІ	17
<i>ПОГРЕБНИЙ В.Д.</i>	<i>28</i>
ПОРЯДКОВА ЗБІЖНІСТЬ З ЗАГАЛЬНОЇ ТОЧКИ ЗОРУ	28
<i>ПОГРЕБНИЙ В.Д.</i>	<i>32</i>
ЗБІЖНІСТЬ З РЕГУЛЯТОРОМ З ЗАГАЛЬНОЇ ТОЧКИ ЗОРУ	32
 НАУКОВІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФІЗИЧНОЇ ОСВІТИ	 35
<i>БІЛИК В.М., СТАДНИК О.Д.</i>	<i>35</i>
ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ І ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	35
<i>ГРИЦАЙ Ф.Ю.</i>	<i>41</i>
ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ ГАЗІВ, РІДИН ТА ТВЕРДИХ ТІЛ	41
<i>ЗАВРАЖНА О.М.</i>	<i>49</i>
ПРО ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ КРЕДИТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ «ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ»	49
<i>ІВАНІЙ В.С., ІВАНІЙ Н.В., МОРОЗ І.О.</i>	<i>53</i>
ОСОБЛИВОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ВИКЛАДАЧА ФІЗИКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ В УМОВАХ РЕАЛІЗАЦІЇ ІДЕЙ БОЛОНСЬКОЇ КОНВЕНЦІЇ.....	53
<i>КРАВЧЕНКО В.О., ЛОБОДА В.Б.</i>	<i>59</i>
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ПЛІВКОВИХ СПЛАВІВ CoNi	59
<i>МОРОЗ І.О., ІВАНІЙ В.С., ХОЛОДОВ Р.І.</i>	<i>67</i>
ОСОБЛИВОСТІ РОЗГЛЯДУ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ В КУРСІ ФІЗИКИ	67
<i>МОРОЗ І.О., ЯРЕМЕНКО О.В., ЯРЕМЕНКО Л.О.</i>	<i>76</i>
ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ЗАКОН МАКСВЕЛЛА ПРО РОЗПОДІЛ ШВИДКОСТЕЙ МОЛЕКУЛ».....	76
<i>ШИПИЛЕНКО А.П.</i>	<i>86</i>
КОМБІНІРОВАННІ, МНОГОКОМПОНЕНТНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВЕ Ti-Si-N І ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ЇХ СТРУКТУРА І СВОЙСТВА	86

ШКУРДОДА Ю.А., КОЛОМИЕЦ В.Н.	92
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК Co/Ag/Co	92
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ.....	100
ПЕТРЕНКО С.І.....	100
ДИДАКТИЧНИЙ ТЕСТ І ЕФЕКТИВНІСТЬ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ	100
СЕМЕНІХІНА О.В., ШАМОНЯ В.Г.	107
ДО ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ еБуків В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС.....	107
ШАМШИНА Н.В.	112
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА MS EXCEL ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НА РЕКУРСИЮ	112

НАУКОВІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ

УДК 519.41/47

Т.Д. Лукашова, М.Г. Друшляк

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ОГЛЯД НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ Ф.М. ЛИМАНА

Уже понад століття одним з найпопулярніших у теорії груп є напрямок досліджень, основною метою якого є вивчення груп, в яких ті чи інші підгрупи або їх системи задовольняють певні умови. Такий підхід до вивчення груп бере свій початок з кінця XIX століття, коли у 1897 році Р.Дедекіндом були описані скінченні неабелеві групи, всі підгрупи яких нормальні.

Виділяючи в групі ту чи іншу систему підгруп та підкоряючи всі підгрупи цієї системи деякій умові, можна отримувати найрізноманітніші класи груп. Абсолютно чіткого вираження ідея дослідження груп з заданими обмеженнями на підгрупи та їх системи набула у роботах видатного радянського алгебраїста, одного з засновників радянської теоретико-групової школи С.М.Чернікова. Свій вклад у розвиток ідей і методів цього напрямку зробили багато відомих алгебраїстів з різних країн, зокрема: Б.Амберг, Р.Бер, Н.Блекберн, Х.Віландт, В.Гашюц, В.М.Глушков, Ю.М.Горчаков, Ф.Джіованні, Д.І.Зайцев, Н.Іто, Л.С.Казарін, М.І.Каргаполов, П.Г.Конфорович, М.Ф.Кузенний, Л.А.Курдаченко, С.С. Левіщенко, Ф.М.Лиман, В.Д. Мазуров, А.І.Мальцев, Б.Нейман, О.Ю.Ольшанський, М.Ф. Сесекін, М.М. Семко, Я.П.Сисак, А.І.Старостін, В.І.Суцанський, Ф.Холл, В.С.Чарін, М.С.Черніков, С.А.Чуніхін, О.Ю. Шмідт, Л.А.Шеметков, В.І.Шунков та інші.

З дедекіндових груп, тобто груп, у яких нормальні всі підгрупи, розпочалось вивчення довільних груп, у яких усі підгрупи деякої системи Σ задовольняють умову нормальності. З'ясувалось, що існування великої кількості нормальних підгруп значною мірою впливає на властивості самої групи та досить часто дозволяє охарактеризувати її будову. Тому вивчення груп, в яких визначальним обмеженням є нормальність, свого часу зумовило величезну кількість наукових досліджень. Стислий огляд основних узагальнень дедекіндових груп подано у таблиці 1.

Вагомий внесок у вивчення такого роду груп (загалом понад 50 робіт) було зроблено Федором Миколайовичем Лиманом. Ціла низка його праць [1-10, 12-14, 16, 23-34, 37, 39, 41] стосується вивчення будови та властивостей груп, в яких нормальними є усі нециклічні, усі абелеві нециклічні, усі розкладні, усі максимальні абелеві підгрупи рангу 1 непростих порядків, усі максимальні

абелеві підгрупи рангу 2, а також різні системи pd -підгруп (нециклічні, абелеві нециклічні, розкладні, нескінченні, нескінченні абелеві тощо).

Таблиця 1.

Дослідження груп з умовою інваріантності для виділених систем підгруп Σ

Клас груп	Виділена система інваріантних підгруп Σ	Назва груп	Роки дослідження	Дослідники
Скінченні неабелеві групи	Усі підгрупи групи	Гамільтонові групи	1897	Р. Дедекінд
Нескінченні групи	Усі підгрупи групи	Дедекіндові групи	1933	Р. Бер
Скінченні групи	Система усіх максимальних підгруп	Нільпотентні групи	1926	О.Шмидт
Неабелеві групи	Система централізаторів усіх підгруп групи	–	1940-1951	П. Конторович
Неабелеві групи	Система усіх неабелевих підгруп групи	Метагамільтонові групи	1962-1995	Г. Ромаліс, М. Сесекін, С.Черніков, С.Левіщенко, О. Махньов, М. Кузенний, М. Семко, В. Нагребецький
Нескінченні неабелеві групи	Система усіх нескінченних неабелевих підгруп групи	$\overline{IN}$ -групи	1964	С. Черніков
Нескінченні неабелеві групи	Система усіх нескінченних абелевих підгруп групи	IN -групи	1966, 1988-1989	С.Черніков, М.Кузенний, С. Левіщенко, М. Семко, І. Суботін
Неабелеві бінарно ступінчасті групи	Система усіх нециклічних підгруп групи	$\overline{N}$ - групи	1967	Ф.Лиман, А. Устюжанінов
Нескінченні неабелеві групи	Система усіх нескінченних підгруп групи	INH -групи	1967	С.Черніков
Неабелеві бінарно ступінчасті групи	Система усіх абелевих нециклічних підгруп групи	$\overline{NA}$ - групи	1968	Ф.Лиман
Скінченні p -групи	Система нормалізаторів усіх підгруп групи	–	1968	К. Хоббі
Скінченні групи	Система усіх нільпотентних підгруп групи	–	1968	В. Нагребецький
Скінченні бі- та трипрімарні групи	Система усіх циклічних немінімальних підгруп групи	–	1969	Л. Казарін, Г. Бернштейн
Неабелеві групи	Система усіх розкладних підгруп групи	di -групи	1970	Ф. Лиман
Скінченні групи	Система усіх мінімальних підгруп групи	–	1970	Д. Баклі
Неабелеві локально скінченні групи	Система усіх підгруп, відмінних від своїх нормалізаторів	–	1971	Г. Жордано
Нескінченні групи	Система усіх не цілком розщеплюваних підгруп	–	1971	М. Сесекін, М. Гольденберг
Неабелеві групи	Система усіх підгруп поза сепаруючою підгрупою	–	1971	Д. Кеппіт
Неабелеві групи	Система усіх підгруп комутанта	–	1972-1980	І. Суботін
Неабелеві групи	Система усіх абелевих підгруп, відмінних від своїх нормалізаторів	AD -групи	1974-1978	М. Черніков
Скінченні групи	Система усіх не абнормальних підгруп групи	–	1974	А. Фаттахі
Неабелеві групи	Система усіх максимальних абелевих підгруп рангу 2	a_2i -групи	1974	Ф. Лиман
Нескінченні неабелеві групи	Система усіх нескінченних підгруп поза сепаруючою підгрупою	–	1974-1978 1997-1999	А. Баранник, О. Одінцова

Клас груп	Виділена система інваріантних підгруп Σ	Назва груп	Роки дослідження	Дослідники
Неабелеві групи	Система всіх максимальних абелевих підгруп рангу 1 непростих порядків	Майже дедекіндові групи	1981	Ф. Лиман, Т. Чечина
Скінченні групи	Система усіх максимальних підгруп силовських підгруп групи	–	1982	Г. Уолс
Неабелеві pd -групи	Система усіх pd -підгруп групи	pdI -групи	1982	Ф. Лиман
Неабелеві pd -групи	Система усіх нециклічних pd -підгруп групи	$pd\bar{H}$ -групи	1982	Ф. Лиман
Неабелеві групи	Система усіх нециклічних підгруп поза сепаруючою підгрупою	–	1984-1986 2000-2001	Т. Чечина О. Одінцова
Неабелеві pd -групи	Система усіх розкладних pd -підгруп групи	di_p -групи	1984-1988	Ф. Лиман
Нескінченні pd -групи	Система усіх нескінченних pd -підгруп групи	INH_p -групи	1987-1990	Ф. Лиман
Нескінченні неабелеві групи	Система усіх підгруп, щоне мають скінченної системи твірних	–	1989	Л. Курдаченко, В. Пилаєв
Неабелеві pd -групи	Система усіх абелевих нециклічних pd -підгруп групи	$pd\bar{H}A$ -групи	1991	Ф. Лиман
Нескінченні неабелеві групи	Система усіх нерозкладних циклічних підгруп поза сепаруючою підгрупою	–	2005-2007	О. Одінцова

Перші результати, отримані Ф.М. Лиманом наприкінці 60-х років минулого століття під керівництвом С.М. Чернікова, були пов'язані із вивченням класів $\bar{H}$ -та $\bar{H}A$ -груп, яких системи нормальних підгруп склалися лише з нециклічних та з абелевих нециклічних підгруп відповідно. Було встановлено, що за певних обмежень $\bar{H}$ -групи є розв'язними, а у періодичному випадку – нільпотентними, класу 2.

Клас $\bar{H}A$ -груп виявився значно ширшим. Зокрема, серед неперіодичних $\bar{H}A$ -груп вже зустрічаються групи без скруту, а серед скінченних $\bar{H}A$ -груп – нерозв'язні. Вказані результати були покладені в основу кандидатської дисертації «Групи з деякими системами інваріантних підгруп», яку Федір Миколайович захистив у жовтні 1968 року.

Подальші дослідження Ф.М. Лимана стосувалися вивчення будови неабелевих груп, в яких нормальними є усі розкладні підгрупи. Такі групи в [9] були названі di -групами. До di -груп були віднесені також усі неабелеві групи, що не містять розкладних підгруп. Було встановлено, що останні вичерпуються або кватерніонними 2-групами, або є групами Фробеніуса певної структури. З іншого боку, di -групи, що містять розкладну підгрупу, виявились розв'язними і у випадку їх неперіодичності – обов'язково мішаними групами.

У спільних роботах Ф.М. Лимана та Т.Г. Лелеченко (Чечиної) [23,25] вивчалися групи, в яких нормальними є усі абелеві групи рангу 1 непростих порядків. Було доведено, що умова нормальності для вказаних підгруп рівнозначна умові нормальності усіх циклічних підгруп складених порядків. Неабелеві групи, в яких множина циклічних підгруп складених порядків непорожня і складається лише з нормальних підгруп, названо майже

дедекіндовими. Слід відзначити, що окремі класи скінченних майже дедекіндових груп паралельно вивчалися Г. Бернштейном та Л.С. Казаріним.

У роботах [12-14] вивчалися групи, в яких нормальними є усі максимальні абелеві підгрупи рангу 2 (за умови існування вказаних підгруп у групі). Такі групи названі a_2i -групами (або у випадку p -груп – a_2i_p -групами). Було доведено, що кожна a_2i_p -група є $\overline{H_p}$ -групою, якщо у ній рівняння $x^p=1$ має точно p^2 розв'язків, а також подано повний опис нескінченних a_2i_p -груп, які є розширеннями квазіциклічних груп і мають точно три інволюції при $p=2$. Аналогічна задача була розв'язана й для a_2i_p -груп, в яких рівняння $x^p=1$ має точно p^2 розв'язків, і які не містять нормальної квазіциклічної підгрупи.

Паралельно, у роботах [14,16] Ф.М. Лиманом було встановлено, що довільні нескінченні локально скінченні неабелеві p -групи, в яких рівняння $x^p=1$ має точно p^2 розв'язків (p – довільне просте число) є циклічними розширеннями прямих добутків двох квазіциклічних p -груп і $p \leq 3$.

Великий цикл робіт (див., наприклад, [26, 28-30, 32-34,39, 41]) був присвячений дослідженню груп, в яких нормальними є ті чи інші системи pd -підгруп для деякого простого числа p . Так з'явилися класи pdI -груп, $pd\overline{H}$ -груп, $pd\overline{HA}$ -груп, INH_p -груп, IH_p -груп та di_p -груп, в яких нормальними є відповідно: усі pd -підгрупи, усі нециклічні pd -підгрупи, усі абелеві нециклічні pd -підгрупи, усі нескінченні pd -підгрупи, усі нескінченні абелеві pd -підгрупи та усі розкладні pd -підгрупи. Було доведено, що між досліджуваними класами груп існують тісні зв'язки. Наприклад, для неперіодичних локально розв'язних та нескінченних локально скінченних нелінійних pd -груп умова нормальності усіх нециклічних pd -підгруп є рівносильною умові нормальності усіх pd -підгруп.

Інший спосіб розширити клас дедекіндових груп полягає у заміні умови нормальності нормалізаторною умовою. Вивчення груп з нормалізаторною умовою (або N -груп), тобто груп, в яких кожна власна підгрупа відмінна від свого нормалізатора, започатковано О.Ю. Шмідтом у 1916 р. Такого роду дослідження проводились також Б. Нейманом, С.М. Черніковим, О.Г. Курошем, Ю.А. Корзюковим, К.Ш. Кемхадзе, М.С. Черніковим, Ч. Хоббі, Г. Жордано та іншими алгебраїстами. Не залишились вони й поза увагою Лимана Ф.М. Декілька його робіт [20,21,27,31] присвячено дослідженню нескінченних груп з нормалізаторною умовою для нециклічних підгруп та pd -підгруп.

У [20] було встановлено, що у класі нескінченних локально скінченних груп (як і у класі локально розв'язних груп без скруту) нормалізаторна умова для нециклічних підгруп рівносильна нормалізаторній умові для всіх підгруп. Аналогічний результат отримано при дослідженні локально нелінійних груп з нормалізаторною умовою для pd -підгруп.

Наведені вище результати щодо узагальнень дедекіндових груп та N -груп, були викладені Лиманом Ф.М. у монографії [48] та в докторській дисертації

«Групи з обмеженнями на нормалізатори деяких систем підгруп», захищеній у 1996 році.

Наприкінці 90-х років XX століття проблематика питання щодо вивчення груп з умовою нормальності для різних систем підгруп виявилась майже вичерпаною. Одним із шляхів подальших теоретико-групових досліджень стало дослідження груп з умовою нормальності для підгруп виділеної системи Σ не у всій групі, а у деяких її підгрупах. З цим напрямком тісно пов'язане поняття Σ -норми групи, що є перетином нормалізаторів певної родини її підгруп Σ .

При вивченні властивостей Σ -норм виникає ряд проблем, пов'язаних з вивченням властивостей груп залежно від вибору системи підгруп Σ і певних обмежень, яким задовольняє Σ -норма. Як правило, у більшості з них в ролі Σ -норми виступала вся група, тобто вивчалися групи з нормальними системами підгруп Σ .

Вперше ситуацію, коли Σ -норма є власною підгрупою групи, почав вивчати Р. Бер у 30-х роках минулого століття для системи Σ усіх підгруп групи. Звуження системи Σ всіх підгруп до системи всіх циклічних і навіть всіх абелевих підгруп не приводить до розширення норми групи. Але при розгляді інших систем підгруп, зокрема, усіх нециклічних, усіх нескінченних, усіх нескінченних абелевих підгруп групи тощо (за умови, що такі підгрупи в групі існують), модифікована Σ -норма буде, взагалі кажучи, відрізнятися від норми групи (див. таблицю 2).

Окрім вивчення норми групи у значенні Бера, робилися поодинокі спроби дослідження інших Σ -норм. Зокрема, у 50–60-х роках минулого століття вивчалися норми максимальних абелевих та субнормальних підгруп. Проте у той час вивчення взаємозв'язків між властивостями групи та її Σ -норм стримувалося відсутністю достатньої інформації про будову Σ -норм (або інакше – про будову груп, в яких нормальними є усі підгрупи заданої системи підгруп Σ). Тепер, коли в багатьох випадках будова Σ -норми відома, з'явилася можливість досліджувати групи з наперед заданими властивостями їх Σ -норм.

У 90-х роках після тривалої перерви з'явилися нові публікації, присвячені вивченню властивостей деяких Σ -норм групи. У роботі [42] Ф.М. Лиманом було введено поняття норми нециклічних підгруп групи, а в [42,45,46] вивчалися властивості нескінченних груп, в яких така норма має скінченний індекс. Подальші дослідження властивостей груп залежно від властивостей норми нециклічних підгруп проводились під його керівництвом Лукашовою Т.Д.

Напрямок досліджень властивостей груп за властивостями їх Σ -норм виявився досить плідним. Зокрема, вдалося конструктивно описати будову широких класів груп, в яких Σ -норми є або нетривіальними, або мають скінченний індекс у групі для цілого ряду систем підгруп (зокрема, для систем нескінченних, нескінченних абелевих, нескінченних циклічних, абелевих нециклічних підгруп). Результати цих досліджень опубліковані у роботах [56-57,59-60, 68,69].

Останнім часом Федір Миколайович велику увагу приділяє дослідженням властивостей норми абелевих нециклічних підгруп, про що свідчить цілий ряд спільних робіт з М.Г. Друшляк (див. наприклад, [74-75, 78-79]).

Таблиця 2.

Дослідження Σ -норм для виділених систем підгруп Σ

Виділена система підгруп Σ	Назва Σ -норми	Позначення норми	Роки дослідження	Дослідники
Система усіх підгруп групи	Норма групи	$N(G)$	1934-1961	Р.Бер Є.Шенкман, Л.Уос, Дж.Байдлеман, Г.Хайнекен, М.Невелл, Дж.Ван, С.Го, Н.Гавіолі, Л.Легаррета, С.Сіка, М.Тота, Ф.Руссо
Система усіх субнормальних підгруп	Підгрупа Віландта або норма субнормальних підгруп	$W(G)$	1958	Г.Віландт, Д.Робінзон, Дж. Розенблад, Дж.Коссі, О.Кегель, Дж.Коссі, Р.Брайс, Р.Брендл, Ф.Джованні, С.Франчіозі, А.Каміна, К.Касоло,
Система усіх максимальних абелевих підгруп	Норма максимальних абелевих підгруп	$N_A(G)$	1961	В.Каппе
Система усіх нескінченних субнормальних підгруп групи	Узагальнена підгрупа Віландта або норма нескінченних субнормальних підгруп	$IW(G)$	1995	Дж. Байдлеман, М. Діксон, Д.Робінсон
Система усіх нециклічних групи	Норма нециклічних підгруп	N_G	1993-1997	Ф.Лиман, Т.Лукашова
Система усіх зростаючих групи	Норма зростаючих підгруп	$\tau(G)$	2000	Ф.Джованні, Ж.Вінцензі
Система усіх нескінченних абелевих підгруп групи	Норма нескінченних абелевих підгруп	$N_G(A_\infty)$	2001	Ф.Лиман, Т.Лукашова
Система усіх нескінченних підгруп групи	Норма нескінченних підгруп	$N_G(\infty)$	2001	Ф.Лиман, Т.Лукашова
Система усіх нескінченних циклічних підгруп групи	Норма нескінченних циклічних підгруп	$N_G(C_\infty)$	2006	Ф.Лиман, Т.Лукашова
Система усіх нециклічних pd -підгруп групи	Норма нециклічних pd -підгруп	$N_G(pd\bar{H})$	2003	Т.Лукашова
Система усіх абелевих нециклічних підгруп групи	Норма абелевих нециклічних підгруп	N_G^A	2004	Ф.Лиман, Т.Лукашова, М.Друшляк
Система усіх несубнормальних підгруп групи	Норма несубнормальних підгруп	$W^*(G)$	2005	Ф.Марі, Ф.Джованні
Система усіх неабелевих підгруп групи	Норма неабелевих підгруп	$N^*(G)$	2005	Ф.Марі, Ф.Джованні
Система усіх pd -підгруп групи	Норма pd -підгруп	$N_G(pdI)$	2005	Т.Лукашова
Система усіх циклічних підгруп простих порядків групи	Норма циклічних підгруп простих порядків	$N_G(C_{\bar{p}})$	2007	Т.Лукашова, М.Друшляк

Не менш вагомими є досягнення Федора Миколайовича Лимана не лише як науковця, а й у якості організатора науки. За його ініціативи у 1982 році на базі кафедри математики Сумського державного педагогічного інституту проведено VIII Всесоюзний симпозіум з теорії груп, в якому брали участь провідні науковці –

фахівці у галузі сучасної алгебри. На Сумщині це було перше творче зібрання математиків такого високого рівня.

За особистої ініціативи Ф.М. Лимана в 2001 році на базі Сумського педагогічного університету було проведено III Міжнародну алгебраїчну конференцію в Україні, в якій взяли участь понад 100 докторів і кандидатів наук з 20 країн світу.

Проведенню таких масштабних заходів сприяли широкі наукові зв'язки Федора Миколайовича. Ще під час навчання в аспірантурі він неодноразово виступав з доповідями на найрізноманітніших алгебраїчних форумах: у 1967 році відвідав Батумі, у 1968 році – брав участь у IX Всесоюзному алгебраїчному колоквиумі у Гомелі. Потім були Краснодар (Всесоюзний симпозиум з теорії груп), Алма-Ата, Шушенське, Гомель (Всесоюзний симпозиум з теорії груп, 1975 рік), Черкаси (Всесоюзний симпозиум з теорії груп, 1977 рік), Ленінград (Всесоюзна алгебраїчна конференція, 1981 рік), Батумі (конференція математиків ВНЗ Грузинської РСР, 1981 рік), Москва (Всесоюзний симпозиум з теорії груп, 1984 рік), Кишинев (Всесоюзна алгебраїчна конференція, 1985 рік), Мінськ (Всесоюзний симпозиум з теорії груп, 1986 рік), Москва (Міжнародна алгебраїчна конференція, 2008 рік). У якості співголови або члену оргкомітету брав участь у роботі кількох Міжнародних алгебраїчних конференцій в Україні (з 1997 по 2009 рр).

На симпозиумі з теорії груп у Краснодарі зав'язалася тісна дружба з білорусами: Шеметковим Л.О., Монаховим В.С., Селькіним М.В. та Воробйовим М.Т. Федір Миколайович підтримував дружні стосунки з уральською алгебраїчною школою (Старостіним А.І., Фомінін А.М., Махньовим О.О.); з новосибірськими алгебраїстами (Мазуровим В.Д., Мерзляковим Ю.І., Каргаполовим М.І.) та цілою плеядою видатних математиків: Шунковим В.І. (Красноярськ), Ольшанським О.Ю. (Москва), Кемхадзе Ш.С., Кемхадзе К.Ш. (Батумі), Горчаковим Ю.М. (Тверь), Устюжаніновим А.Д. (Іркутськ). До речі, у 1967 році А.Д. Устюжанінов займався тією ж проблематикою, що і Федір Миколайович – досліджував групи з нормальними нециклічними підгрупами.

Особливо теплі стосунки у Федора Миколайовича зав'язались з алгебраїстами Інституту математики НАН України та Київського національного університету імені Шевченка: Зайцевим Д.І., Дроздом Ю.А., Кириченком В.В., Сущанським В.І., Петравчуком А.П., Левіщенком С.С., Кузенним М.Ф., Черніковим М.С., Працьовитим М.П. та українськими математиками Кляцькою Л.М. (Черкаси), Семком М.М. (Ірпінь) та Курдаченком Л.А. (Дніпропетровськ).

Продуктивна наукова діяльність Ф.М. Лимана завжди успішно поєднувалась з організаційно-педагогічною роботою. Його підручники з вищої математики, математичної логіки, числових систем, посібники з вищої алгебри користуються заслуженою популярністю як серед студентів, так і серед викладачів математики багатьох вишів України.

СПИСОК
наукових робіт доктора фізико-математичних наук, професора
Лимана Федора Миколайовича

1. Лиман Ф.М. Деякі властивості неперіодичних H_2 –груп // Звітна наукова конф. каф. Київського педінституту. – 1967. – С. 67-68.
2. Лиман Ф.М. Группы с инвариантными нециклическими подгруппами // ДАН УРСР. – 1967. – С. 1073-1075.
3. Лиман Ф.М. 2–группы с инвариантными нециклическими подгруппами // Математические заметки, т.4, № 1. – 1968. – С. 75-83.
4. Лиман Ф.М. Групи, всі абелеві нециклічні підгрупи яких інваріантні // IV конференція молодих математиків України, м. Київ. – 1968.
5. Лиман Ф.М. Группы с заданными системами инвариантных подгрупп // IX Всесоюзный алгебраический коллоквиум, Гомель. – 1968. – С. 122-123.
6. Лиман Ф.М. P –группы, всі абелеві нециклічні підгрупи яких інваріантні // ДАН УРСР, № 8. – 1968. – С. 696-699.
7. Лиман Ф.М. Непериодические группы с некоторыми системами инвариантных подгрупп // Алгебра и логика, т. 7, № 4. – 1968. – С. 70-86.
8. Лиман Ф.М. Неперіодичні групи, всі абелеві нециклічні підгрупи яких інваріантні // ДАН УРСР, № 1. – 1968. – С. 11-13.
9. Лиман Ф.М. Группы, все разложимые подгруппы которых инвариантны // Укр. мат. журнал т. 22, № 6. – 1970. – С. 725-733.
10. Лиман Ф.М. Периодические группы, все абелевы нециклические подгруппы которых инвариантны // В кн.: Группы с ограничениями для подгрупп. -Киев: Наукова думка. – 1971. – С. 65-96.
11. Лиман Ф.М. Тематика курсових робіт з алгебри і теорії чисел // В кн.: Тематика курсових робіт з математики для студентів фізико-математичного ф-ту. Суми. – 1972. – С. 40-51.
12. Лиман Ф.М. Об одном классе бесконечных p –групп // В кн.: “Исследование групп по заданным свойствам подгрупп”, Киев. – 1974. – С. 250-259.
13. Лиман Ф.М. Об одном классе бесконечных p –групп // В кн.: “Исследование групп по заданным свойствам подгрупп”, Киев. – 1974. – С. 250-259.
14. Лиман Ф.М. Бесконечные p –группы, содержащие ровно p^2 решений уравнения $x^p=I$. // Всесоюзный алгебраический симпозиум, Гомель, Гом. филиал ин-та матем. АН БССР. – 1975. – С. 131-132.
15. Лиман Ф.М. Научные основы школьного курса математики. Курс лекций и семинарских занятий // Суми, педінститут. – 1975. – 145 с.
16. Лиман Ф.М. Бесконечные p –группы, содержащие точно p^2 решений уравнения $x^p=I$. // Математические заметки, т. 20, № 1. – 1976. – С. 11-18.
17. Лиман Ф.М. Деталізований робочий план з алгебри і теорії чисел // В кн.: Деталізовані робочі плани з математичних дисциплін для заочного відділу фізико-математичного ф-ту. Суми. – 1976. – С. 13-31.
18. Лиман Ф.М. Деталізований робочий план з наукових основ шкільного курсу математики // В кн.: Деталізовані робочі плани з математичних дисциплін для заочного відділу фізико-математичного ф-ту. Суми. – 1976. – С. 74-84.
19. Лиман Ф.М. Кольца и поля. Пособие для студентов физико-математических факультетов. – Суми, педінститут. – 1977. – 71 с.

20. Лиман Ф.М. Бесконечные группы с нормализаторным условием для нециклических подгрупп // VI Всесоюзный симпозиум по теории групп, тезисы. Черкасы. – 1978. – с.36-37.
21. Лиман Ф.М. О бесконечных группах с нормализаторным условием для нециклических подгрупп. // В кн.: Группы, определяемые свойствами системы подгрупп. Киев. – 1979. – С. 98-105.
22. Лиман Ф.М. Группы. Пособие для студентов физико-математических факультетов. – Суми, пединститут. – 1979. – 35 с.
23. Лиман Ф.М., Лелеченко Т.Г. Группы с инвариантными максимальными абелевыми подгруппами ранга I непростых порядков // XVI Всесоюзная алгебраическая конференция, тезисы, часть II. Ленинград. – 1981. – С. 81-82.
24. Лиман Ф.М. Периодические группы с нормализаторным условием для pd -групп // IX конференция математиков ВУЗов Грузинской ССР, тезисы. Батуми. – 1981. – С. 149.
25. Лиман Ф.М., Лелеченко Т.Г. Группы с инвариантными максимальными абелевыми подгруппами ранга I непростых порядков // В кн.: Подгрупповая характеристика групп. Киев. – 1982. – С. 85-92.
26. Лиман Ф.М. О группах с инвариантными нециклическими pd -подгруппами // VIII Всесоюзный симпозиум по теории групп, тезисы. Сумы. – 1982. – С. 74-75.
27. Лиман Ф.М. Периодические группы с нормализаторным условием для pd -подгрупп // Математические заметки, т. 34, № 3. – 1983. – С. 333-336.
28. Лиман Ф.М. Группы с некоторыми системами инвариантных pd -подгрупп // В кн.: Группы и системы их подгрупп. Киев. – 1983. – С. 810-118.
29. Лиман Ф.М. О периодических группах, все разложимые pd -подгруппы которых нормальны // IX Всесоюзный симпозиум по теории групп, тезисы. Москва. – 1984. – С. 33-34.
30. Лиман Ф.М. Смешанные группы, все разложимые pd -подгруппы которых нормальны // XVIII Всесоюзная алгебраическая конференция, тезисы сообщений, часть I. Кишнев. – 1985. – С. 315.
31. Лиман Ф.М. О группах с нормализаторным условием для pd -подгрупп // X Всесоюзный симпозиум по теории групп, тезисы докладов. Минск. – 1986. – С. 140.
32. Лиман Ф.М. О бесконечных группах, все бесконечные pd -подгруппы которых нормальны // XIX Всесоюзная алгебраическая конференция, тезисы сообщений, часть I. Львов. – 1987. – С.160.
33. Лиман Ф.М. О периодических группах, все разложимые pd -подгруппы которых нормальны // Укр. мат. журнал, т. 40, № 1. – 1988. – С. 58-61.
34. Лиман Ф.М. Непериодические группы, все разложимые pd -подгруппы которых нормальны // Укр. мат. журнал, т. 40, № 3. – 1988. – С. 330-335.
35. Лиман Ф.М. Математическая логика и теория алгоритмов. Курс лекций для студентов физико-математических факультетов пединститутов. – Сумы, пединститут. – 1989. – 151 с.
36. Лиман Ф.М., Иноземцев О.Г. Высказывания и предикаты. Логическая структура теорем и определений (факультатив) // СВАКУ, Сумы. – 1990. – 57 с.
37. Лиман Ф.М. О бесконечных группах, все бесконечные pd -подгруппы которых нормальны // Известия вузов. Математика № 3. – 1990. – С. 75-78.

38. Лиман Ф.М. О путях повышения эффективности лекций по математике // Актуальные вопросы профессиональной подготовки учителя. Сб. научн. статей. Сумы, 1989.- 287 с. Деп. в НИИ ВШ 11.03.90г. № 614-662. – С. 276-282.
39. Лиман Ф.М. О группах, все абелевы нециклические pd -подгруппы которых нормальны // Укр. мат. журнал, т. 43, № 7-8. – 1991. – С. 974-980.
40. Лиман Ф.М. Про один підхід до організації підготовки вчителів на фізико-математичних факультетах педінститутів // Індивідуалізація і диференціація навчання математиці. Матеріали доп. Сумськ. обл. наук.-практ. конференції. – С. 10-12.
41. Лиман Ф.М. О группах, все бесконечные абелевы pd -подгруппы которых нормальны // Укр. мат. журнал, т. 44, № 6. – 1982 – С. 796-800.
42. Лиман Ф.М. О бесконечных группах, нециклическая норма которых имеет конечный индекс // III Международная конференция по алгебре/ памяти М.И.Каргаполова / тезисы докладов. Красноярск. – 1993. – С. 207.
43. Лиман Ф.М. Математична логіка і теорія алгоритмів: Навчальний посібник. – Київ: Віпол. – 1994. – 176 с.
44. Лиман Ф.М. Логіка і проблеми формування інтелектуальних умінь учнів // В кн.: Формування інтелектуальних умінь учнів у процесі вивчення математики та інформатики. Тези доповідей. Суми. – 1995. – С. 74-75.
45. Лиман Ф.М. Про нециклічну норму нескінченних груп // V Між нар. наук. конф. ім. М. Кравчука, 16-18 травня 1996 р. Київ, тези доповідей. Київ. – 1996. – С. 241.
46. Лиман Ф.М. О бесконечных группах, нециклическая норма которых имеет конечный индекс // Укр. мат. журнал, т. 49, № 5. – 1997. – С. 678-684.
47. Міжвузівська науково-методична конференція «Актуальні проблеми розвитку творчої особистості в процесі вивчення математики та інформатики» / 16-17 квітня 1997 року/ – загальна редакція. – 1997. – 92 с.
48. Лиман Ф.М. Групи з обмеженнями на нормалізатори деяких систем підгруп // Деп. в ДНТБ України 24.11.1997, № 577-Ук97. – 293 с.
49. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. Про деякі особливості мов формалізованих математичних теорій // В кн.: Лінгво-філософські аспекти гуманітарної освіти /Матеріали наукової конференції/. Суми. – 1998. – С. 79-82.
50. Лиман Ф.М. Про норму нескінченних підгруп групи // VII Міжнар. наук. конф. ім. акад. М.Кравчука, 14-16 травня, 1998, Київ, тези доповідей. Київ. – 1998. – С. 283.
51. Лиман Ф.М., Петренко С.В., Погребний В.Д. Математика. Методичні рекомендації абітурієнтам фізико-математичного факультету. – Суми, редакційно-видавничий відділ СДПІ. – 1998. – 60 с.
52. Лиман Ф.М. Математична логіка і теорія алгоритмів. – Суми, “Слобожанщина”. – 1998. – 152 с.
53. Лиман Ф.М. Елементи теорії груп. – Суми, редакційно-видавничий відділ СДПІ. – 1999. – 40 с.
54. Лиман Ф.М. Елементи теорії кілець і полів. – Суми, редакційно-видавничий відділ СДПІ. – 2000. – 52 с.
55. Лиман Ф.М., Петренко С.В., Погребний В.Д. Математика – абітурієнту. Навчально-методичні рекомендації абітурієнтам фізико-математичного факультету. – Суми, редакційно-видавничий відділ СДПІ. – 2000. – 60 с.

56. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. Про нескінченні групи із заданими властивостями норми нескінченних підгруп // Укр. мат. журнал. – 2001. – Т.53. – № 5. – С.625-630.
57. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. Про норму нескінченних абелевих підгруп неперіодичних груп // Матеріали III Міжнародної алгебраїчної конференції в Україні. Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2001. – С. 203-207.
58. Лиман Ф.М., Петренко С.В., Одінцева О.О. Вища математика. Ч.I: Навчальний посібник. – Вид. СумДПУ, 2002. – Ч. I. – 242 с.
59. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. Про норму абелевих нециклічних підгруп у нескінченних локально скінченних p -групах // Матеріали Міжнародної математичної конференції, присвяч. 100-річчю від початку роботи Д.О. Граве у Київському ун-ті, Київ. – 17-22 червня 2002 р. – Київ: Ін-т математики НАН України. – 2002. – С. 107-108.
60. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. Про одне узагальнення поняття норми в нескінченних групах // Матеріали наукової математичної конференції „Алгебраїчні методи дискретної математики”. – Луганськ. – 2002. – С. 35-36.
61. Лиман Ф.М., Власенко В.Ф., Петренко С.В., Семенихіна О.В. Вища математика. Ч. II: Навчальний посібник. – Вид. СумДПУ, 2003. – Ч. II. – 392 с.
62. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. Обобщенные нормы неперіодических групп // Известия Гомельского государственного ун-та. – 2003. – № 4 (19). – С. 62-67.
63. Liman F.M. On norm groups with the minimal condition for non-invariant Abelian p -subgroups // Матеріали IV Міжнародної алгебраїчної конференції в Україні (Львів, 3-9 серпня 2003). – Львів: Львівський національний ун-т. – 2003. – С. 136-137.
64. Лиман Ф.М., Дрозд Ю.А., Кириченко В.В., Суцанский В.И Третья Международная алгебраическая конференция в Украине // В зб. ”Алгебраические структуры и их приложения” – Киев: Институт математики НАН. – 2003. –С.7-8.
65. Лиман Ф.М. О группах с условием минимальности для неинвариантных абелевых p -подгрупп // Укр. мат. журнал. – 2005. – Т. 57, № 2. – С. 265-270.
66. Лиман Ф.М. Елементи теорії груп, кілець і полів: Навчальний посібник. – Вид. СумДПУ, 2005. – 108 с.
67. Лиман Ф.М. Основи векторного та тензорного аналізу. – Вид. СумДПУ, 2005. – 84 с.
68. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. О норме бесконечных циклических подгрупп неперіодических групп // Международная конференция „Классы групп и алгебр”. – Гомель, 2005. – С. 75-76.
69. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. Про нескінченні 2-групи з недедекіндовою нормою абелевих нециклічних підгруп //Вісник Київського університету, серія: фіз.-мат. науки. – 2005. – № 1. – С.56-64.
70. Liman F.M., Drushlyak M.G On groups with minimal condition for non-normal decomposable abelian subgroups // 5th International Algebraic Conference in Ukraine. – Odessa, 20-27 of July, 2005. – Odessa, 2005. – P. 129-130.
71. Лиман Ф.М., Власенко В.Ф., Петренко С.В., Семенихіна О.В., Одінцева О.О. Вища математика: Навч. посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – У 2-х ч. – 614 с.
72. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. О норме бесконечных циклических подгрупп // Вестник ВГУ имени П.М. Машерова. – Витебск, 2006. – № 4. – С. 108-111.

73. Liman F.M., Drushlyak M.G On groups with minimal condition for non-normal decomposable abelian subgroups // Algebra and discrete mathematics.– 2006. – №4. – С. 57-66.
74. Liman F.M., Drushlyak M.G On norm of abelian non-cyclic subgroups of non-periodic groups // Международная конференция «Классы групп, алгебр и их приложения». Гомель. – 2007. – С. 10-11.
75. Liman F.M., Drushlyak M.G On conditions of coinciding of different Σ -norms in non-periodic groups // Международная алгебраическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения профессора А.Г.Куроша. – Москва, 28 мая – 3 июня 2008г. – Москва. – 2008. – С.288-289.
76. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д. О взаимосвязях между нормами некоторых систем бесконечных подгрупп в непериодических группах // Международная алгебраическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения профессора А.Г.Куроша. – Москва, 28 мая – 3 июня 2008г. – Москва. – 2008. – С.156-157.
77. Лиман Ф.М., Лукашова Т.Д., Погребний В.Д. Збірник конкурсних завдань II етапу Всеукраїнської студентської олімпіади з математики серед студентів вищих педагогічних навчальних закладів – 2005-2007 рр. – Вид. СумДПУ, 2008. – 40с.
78. Liman F.M., Drushlyak M.G. On non-periodic groups with non-Dedekind norm of Abelian non-cyclic subgroups // Матеріали 7 міжнародної алгебраїчної конференції в Україні. – м.Харків, 18-23 серпня 2009. – Харків. – 2009. – С.91-92.
79. Лиман Ф.М., Друшляк М. Г. Неабелева норма абелевих нециклічних підгруп у групах, що містять вільну абелеву підгрупу рангу 2 // Матер. наукової конф. за підсумками науково-дослідної і науково-методичної роботи кафедр СумДПУ ім.А.С.Макаренка. – Суми: Вид-во СумДПУ, 2009. – С. 12-13.
80. Лиман Ф.М., Петренко С.В. Сучасні проблеми організації навчання математики //Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції «Розвиток інтелектуальних вмінь та творчих здібностей учнів і студентів в процесі навчання математики». – Суми, 3-4 грудня 2009. – С. 146.
81. Лиман Ф.М. Числові системи: навчальний посібник. – Суми: Видавництво «МакДен», 2010. – 192 с.

Анотация. Лукашова Т.Д., Друшляк М.Г. Обзор научной деятельности Ф.М. Лимана. У статті розглянуто основні результати наукових досліджень доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача кафедри математики СумДПУ імені А.С. Макаренка Лимана Федора Миколайовича.

Ключові слова. Лиман Ф.М., група, нормальна підгрупа, норма групи.

Аннотация. Лукашова Т.Д., Друшляк М.Г. Обзор научной деятельности Ф.Н. Лимана. В статье анализируются основные результаты научных исследований доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой математики СумГПУ имени А.С. Макаренка Лимана Федора Николаевича.

Ключевые слова. Лиман Ф.Н., группа, нормальная подгруппа, норма группы.

Summary. Lukashova T., Drushlyak M. The Review of Scientific Activity by F.N. Lyman. In article are analysed main results of the scientific studies of prof. Lyman F.

Keywords. Lyman F., group, normal subgroup, norm of the group.

УДК 378.147:371.311:378.096:[53+51]

О.В. Мартиненко, С.В. Петренко

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

УПРОВАДЖЕННЯ КРЕДИТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТІ

Постановка проблеми. Після розпаду Союзу на окремі держави в системі освіти кожної країни відбулися певні зміни, а особливо це стало очевидним для України, яка взяла курс на європейську інтеграцію та входження в Болонський процес. Кардинальні зміни, що відбулися за останні роки в галузі освіти, наслідки яких кожна держава відчує через 10-20 років, змінили традиційні підходи до організації навчального процесу у вищих навчальних закладах України (ВНЗ). Зумовлені типовими тенденціями розвитку Європейських країн, новітні перетворення в освіті можливі лише за умови вирішення питання щодо впровадження нових форм та методів навчання як у середній школі, так і у ВНЗ.

Актуальність дослідження. За останні 10 років у закладах освіти України відбулися комплексні, системні зміни, з'явилося багато нових навчальних технологій, які, на думку вчених, повинні забезпечити формування якісно нового освітнього середовища та можуть викликати інтерес до навчання, до перспективи у майбутньому. Пріоритетним завданням сьогодні є модернізація вищої освіти України відповідно до положень Болонської декларації. Це вимагає від усіх вищих навчальних закладів адаптації ідей Європейсько-кредитно-трансферної системи (ESTS) до системи вищої освіти нашої держави.

Одним із головних принципів Болонських реформ є досить жорсткі вимоги до якості підготовки фахівців із вищою освітою [1]. Якість освіти досягається виконанням державних вимог до кадрового, навчально-методичного, матеріально-технічного забезпечення навчального процесу, до організації навчально-виробничих практик, професійної підготовленості фахівця, підсумкової державної атестації, що відображається так званою «петлею якості» (рис. 1). [2]

Державні вимоги, на підставі яких ВНЗ організовують навчально-виховний процес, повинні враховувати потреби й інтереси регіону, області, ВНЗ.

У рамках Болонського процесу передбачається виконання наступних ключових стратегій [7]:

- впровадження двоциклового навчання;
- організація навчального процесу за кредитною системою, що передбачає систему обліку трудомісткості навчальної роботи в кредитах;
- посилення контролю якості освіти через організацію акредитаційних агентств, незалежних від уряду та міжнародних організацій;
- розширення мобільності студентів;
- забезпечення працевлаштування випускників.



Рис. 1. «Петля якості», або етапи, на яких забезпечується якість підготовки фахівців із вищою освітою

Однією з вимог Болонської декларації є впровадження кредитно-модульної організації навчального процесу у ВНЗ III-IV рівнів акредитації, на яку покладені великі надії. Ця система є не просто визнаним у Болонії стандартом, обов'язковим для впровадження у всіх ВНЗ України, вона забезпечує, насамперед, можливість об'єктивного оцінювання навчальних досягнень студентів, можливість у разі необхідності переривати навчання і продовжувати його з урахуванням набраних кредитів.

Кредитно-модульна система організації навчального процесу є такою, яка ґрунтується на поєднанні модульних технологій навчання та залікових освітніх одиниць (залікових кредитів) [8].

Теорія модульного навчання базується на системі специфічних принципів, які вдало корелюють із загальнодидактичними. Принципи модульного навчання повинні спиратися на загальні закономірності, які встановлені педагогічною і спорідненими їй науками – психологією, філософією, соціологією, і в той же час повинні виражати специфічні закономірності модульного навчання [1]. Вони визначають напрямок модульного навчання, його цілі, зміст і методику організації.

Термін «модуль» у перекладі трактується як одиниця міри, що визначає співрозмірність цілого і частини.

Модуль у педагогічному розумінні – це змістова одиниця логічно завершеної частини матеріалу, тобто навчальний матеріал дисципліни, що згідно програми підлягає засвоєнню цілісно. У ньому виділяють окремі змістові модулі.

Слід зазначити, що необхідно уникати механічного поділу навчального матеріалу на модулі. На думку вчених, модульна організація змісту навчальної дисципліни має передбачати структурування її як системи, а не довільного конгломерату наукової інформації, тобто, модуль є окремою дидактичною одиницею змісту навчання, підсистемою конкретної навчальної дисципліни, що складається з логічно завершеної, взаємопов'язаної навчальної інформації, засвоєння якої передбачає формування знань. Структурні компоненти модуля можуть взаємодіяти з іншими.

Структурна будова модуля включає: мету його цілісного засвоєння, навчальні завдання, принципи навчання та способи перевірки результатів.

Мета статті – проаналізувати теоретичний та практичний аспекти впровадження кредитно-модульної системи у ході організації навчального процесу на фізико-математичному факультеті згідно принципів модульного навчання

Теоретичний аспект питання.

Виклад основного матеріалу. Входження України до єдиного Європейського освітнього простору передбачає забезпечення мобільності студентів у процесі навчання, гнучкість у системі підготовки та конкурентоспроможність фахівців із вищою освітою. Забезпечити виконання таких першочергових завдань можливе лише за умови впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу у вищих навчальних закладах III-IV рівнів акредитації. З метою визначення української моделі організації навчального процесу у ВНЗ рішенням колегії Міністерства освіти і науки України від 24 квітня 2003 року було розпочато проведення педагогічного експерименту щодо визначення шляхів кредитно-модульної системи організації навчального процесу у ВНЗ [2]:

- адаптація ідей Європейської кредитної-трансферної системи (ECTS) до системи вищої освіти України;
- посилення ролі самостійної роботи студентів;
- активізація впровадження новітніх педагогічних технологій;
- забезпечення гнучкості програм навчання та можливості навчання студента за індивідуальними навчальними планами;
- орієнтація мотивації учасників навчального процесу на досягнення високої якості підготовки фахівців;
- надання можливості студентові отримати професійні кваліфікації відповідно до його потреб та вимог ринку праці.

Аналіз матеріалів педагогічного експерименту та публікацій [1-3, 7-8] показав, що більшість ВНЗ України перейшли на модульно-рейтингову систему навчання, яка вдало поєднує педагогічні технології з технологію

модульного навчання та технологію рейтингового оцінювання навчальних досягнень. Використання такої форми організації навчання сприяє:

- інтенсифікації навчального процесу;
- систематизації засвоєння навчального процесу;
- підвищенню мотивації та відповідальності студентів за результати навчальної діяльності;
- забезпеченню належних умов вивчення програмного матеріалу і підготовки до контрольних заходів, що досягаються шляхом чіткого їх розмежування за змістом й у часі;
- розширенню можливостей для всебічного розкриття здібностей студентів, розвитку їх творчого мислення та підвищення ефективності роботи викладацького складу;
- забезпеченню стабільного психологічного стану студентів завдяки проведенню наскрізного контролю знань;
- прийняттю своєчасних дидактичних та виховних рішень.

Досягти бажаних результатів в умовах кредитно-модульної системи організації навчального процесу можливо за умови реалізації в цілому принципів модульного навчання.

Виділяють наступні принципи модульного навчання:

1. Побудова навчання за окремими блоками – модулями.
2. Принцип діяльнісного підходу.
3. Структуризація змісту навчання за окремими елементами.
4. Динамічність.
5. Забезпечення ефективного зворотного зв'язку.
6. Гнучкість.
7. Усвідомлення перспективи.
8. Різнобічність методичного консультування.
9. Паритетність.

1. Принцип модульності виражається через зміст, організаційні форми і методи навчання. Відповідно до цього принципу, навчання будується за окремими «функціональними вузлами» – модулями, призначеними для досягнення конкретних дидактичних цілей.

Реалізація принципу модульності забезпечується виконанням наступних педагогічних умов:

- навчальний матеріал потрібно конструювати так у модулі, щоб при вивченні кожного з них досягалася дидактична мета, поставлена перед студентом;
- навчальний матеріал окремого модуля повинен бути закінченим блоком;
- необхідно інтегрувати різноманітні види і форми навчання та підпорядковувати їх досягненню окресленої мети.

2. Принцип діяльнісного підходу виражає цілеспрямованість навчання. Цільове навчання сприяє формуванню мотивації, тому даний принцип спрямований на мотиваційну сферу та сприяє виконанню таких педагогічних умов:

- цілі повинні формуватися при визначенні методів діяльності (практичної, пізнавальної, розумової) і засобів дій;
- можливі як дисциплінарна, так і міждисциплінарна побудови змісту модуля;
- використання проблемного навчання: навчальна проблема повинна бути пов'язана з запропонованим навчальним матеріалом і логічно впливати з нього; зміст навчальної проблеми має вказувати напрямок та шляхи її розв'язання;
- інтеграція знань.

3. Принцип структуризації змісту навчання на окремі елементи потребує розгляду навчального матеріалу у рамках модуля як єдиної цілісності, спрямованої на вирішення інтегрованої дидактичної мети, і як матеріалу, який має визначену структуру, що складається з окремих елементів.

Принцип структуризації змісту навчання потребує дотримання певних педагогічних умов, зокрема:

- в інтегрованій цілі варто виділяти структуру окремих цілей;
- досягнення кожної окремої цілі повинно цілком забезпечуватися організацією навчання в певному змістовому модулі.

4. Принцип динамічності забезпечує вільну зміну змісту модуля з урахуванням динаміки соціального замовлення та специфіки підготовки фахівців даного напрямку. При цьому потрібно враховувати, що:

- зміст кожного модуля може змінюватися або доповнюватися;
- модуль повинен подаватися в такій формі, щоб його елементи були легко замінними.

5. Принцип забезпечення зворотного зв'язку потребує, щоб процес засвоєння знань був керованим та існувала можливість контролю рівня засвоєння.

Реалізація даного принципу неможлива без урахування педагогічних умов:

- можливість зворотного зв'язку у плані наступності;
- застосування поточного, проміжного та узагальнюючого контролю;
- своєчасне виявлення прогалин у засвоєнні знань;
- узагальнюючий контроль рівня засвоєння модуля, що складається зі змістових модулів.

6. Принцип гнучкості потребує побудови модуля так, щоб забезпечувалася адаптація змісту навчання і рівня його засвоєння до індивідуальних потреб студентів. У випадку необхідності, процес навчання може

коригуватися індивідуальним планом. Реалізація даного принципу передбачає виконання таких педагогічних умов:

- проведення вхідної діагностики знань;
- побудова індивідуальної структури конкретного модуля;
- аналіз потреби в навчанні;
- забезпечення індивідуального темпу засвоєння матеріалу;
- індивідуалізація методики навчання, індивідуальний контроль та самоконтроль після досягнення визначеної мети навчання.

7. Принцип усвідомленої перспективи потребує глибокого розуміння й усвідомлення перспектив навчання і реалізується при дотриманні наступних педагогічних умов:

- забезпеченні студента повною програмою модульного навчання;
- визначенні кінцевої дидактичної мети та очікуваного результату;
- розробці програми навчальних дій для досягнення окресленої мети;
- зазначенні узагальнених та часткових цілей навчання в якості результатів діяльності.

8. Принцип різнобічності методичного консультування потребує забезпечення професіоналізму в пізнавальній діяльності того, кого навчають, і педагогічній діяльності педагога.

Педагогічні умови реалізації принципу:

- побудова навчального матеріалу в модулях із використанням особистих пояснювальних методів, що полегшують засвоєння інформації;
- пропонування доцільних методів та шляхів засвоєння змісту модуля з урахуванням індивідуальних якостей студентів;
- здійснення методичного консультування педагогом щодо організації процесу навчання;
- вільний вибір педагогом методів та організаційних схем навчання;
- обмін досвідом між педагогами.

9. Принцип паритетності потребує суб'єкт-суб'єктної взаємодії педагога і студента. Модульна організація навчання зменшує вплив негативних факторів авторитарності викладача.

Принцип паритетності вимагає дотримання таких умов:

- забезпечення можливості самостійного засвоєння знань до визначеного рівня;
- звільнення педагога від виконання інформаційної функції і створення умов для виконання консультативно-координуючої функції;
- забезпечення можливості для спільного вибору педагогом та студентом ефективних шляхів навчання.

Практичний аспект питання.

Досвід роботи викладачів за кредитно-рейтинговою системою навчання зі студентами фізико-математичного факультету показав, що статус та роль

студента як суб'єкта освітньої діяльності дійсно зросли завдяки його участі у формуванні індивідуального плану. Підвищилася відповідальність за результати навчання, самоорганізацію власної освіти, участь у науковій, творчій роботах та в управлінні навчальним процесом. Суттєво збільшився (від 70% до 98%) абсолютний показник успішності студентів. Збільшення абсолютного показника успішності студентів пов'язане, перш за все, з тим, що студенти більш відповідально почали ставитися до відвідування занять (даний показник зріс на 15-20%). Більшість студентів усвідомила, що легше одержати бали під час практичних занять, аніж при складанні семестрового іспиту. Значно зріс показник відвідування занять, на яких проводяться контрольні заходи: самостійні, контрольні роботи, захисти індивідуальних завдань, колоквіуми. Але виявилось, що виникла складна проблема, яка знаходиться на межі навчального процесу і виховання, оскільки інтелектуальний рівень студентів і їхні інтелектуальні можливості обумовлюються, насамперед, обсягом знань, одержаних у процесі навчання, їх формою організації та якістю.

Слід зазначити, що сподівання на підвищення якості знань не виправдалися, якісний показник успішності студентів факультету різко знизився.

Вважаємо, причинами зниження якісного показника успішності студентів є:

1. Відсутність мотивації студентів до одержання високих балів (більшість студентів задовольняється найнижчим показником, що відповідає за національною шкалою оцінці «задовільно»).
2. Відсутність конкурсного відбору при вступі до ВНЗ. Зовнішнє незалежне оцінювання, на наш погляд, нівелювало процес вступу до ВНЗ.
3. На жаль, студент провінційного ВНЗ має низький рівень шкільної математичної підготовки, тоді як показники зовнішнього незалежного оцінювання у нього є досить високими.
4. Державні стандарти освіти у ВНЗ не відповідають рівню підготовки сучасного абітурієнта, що відразу спонукає студента – вчорашнього школяра – або залишити навчання, або поверхно оволодівати матеріалом, аби «виживати».
5. Сучасний студент, особливо першокурсник, зовсім не володіє навичками самостійної роботи. Слабкі шкільні знання не дозволяють йому успішно засвоювати навчальний матеріал фундаментальних дисциплін, що суттєво впливає на рівень фахової підготовки майбутніх учителів математики та фізики.
6. Організація навчального процесу за кредитно-модульною системою потребує перебудови психологічної, дидактичної, наукової та методичної діяльності як науково-педагогічних працівників, так і студентів.

У 2010-2011 навчальному році після проведення зимової підсумкової атестації на молодших курсах виникла непередбачувана ситуація з рівнем засвоєння фахових дисциплін. Перш за все, це математичний аналіз та класична

механіка. Навчальний процес на факультеті організований таким чином, що студент, який не засвоїв на достатньому рівні названі фахові дисципліни, не може продовжувати навчання за обраними спеціальностями. Таких студентів виявилось близько 50%.

Виникла нагальна потреба в організації додаткових занять зі студентами, що дало можливість ліквідувати причини зниження якісного показника успішності й уникнути відрахування студентів. У зв'язку з цим на факультеті були запропоновані студентам додаткові заняття корекції знань із фахових дисциплін.

У експерименті брали участь студенти першого та другого курсів спеціальностей «Математика», «Фізика» (з математичного аналізу) та третього курсу спеціальності «Фізика» (з класичної механіки).

Метою проведення таких занять передбачалось:

- корекція рівня базової шкільної підготовки студентів (особливо це актуально для студентів-першокурсників);
- корекція поточних знань із відповідних дисциплін;
- оволодіння основними методами розв'язування задач та навчити правильно застосовувати теоретичний матеріал на практиці;
- підвищення рівня обчислювальних навичок;
- формування навичок самостійної роботи студента;
- розвиток творчих здібностей студентів.

Мотивацією відвідування корекційних занять студентами стало як прагнення до покращення рівня знань, так і набуття більш комфортного психологічного стану в освітньому середовищі.

Близько 50 % студентів першого, другого та третього курсів виявило бажання відвідувати заняття корекції знань. Після проведення занять було проведено анкетування. Анкета містила наступні питання:

1. Чи вважаєте Ви достатнім рівень шкільної підготовки з математики на момент вступу до університету?
2. Чи відчували Ви труднощі при вивченні основних фахових дисциплін? Вкажіть, яких саме.

Ви оцінюєте свій рівень засвоєння знань із основних фахових дисциплін в університеті як: а) низький; б) середній; в) високий.

3. Чи вважаєте Ви доцільним проведення корекційних занять з фахових дисциплін? Зазначте, яких саме.
4. Чи покращився Ваш рівень знань після відвідування додаткових занять?
5. Ваші пропозиції щодо організації та проведення додаткових корекційних занять.

Аналіз анкет показав, що на перше та п'яте питання анкети всі студенти дали стверджувальну відповідь. При відповіді на друге питання всі студенти, які відвідували заняття з математичного аналізу підтвердили, що відчують труднощі при вивченні цього предмету, крім того, 25 % студентів – при вивченні

алгебри. 100% студентів третього курсу, які відвідували заняття з класичної механіки, підтвердили що мають недостатній рівень знань із загальної фізики, який необхідний при вивченні даної дисципліни. Даючи відповідь на третє запитання, всі студенти оцінили свій рівень засвоєння знань із основних фахових дисциплін як середній, що стало мотивацією для відвідування ними корекційних занять. 95 % опитуваних вважають проведення таких занять доцільним і корисним. Змістовними виявилися пропозиції студентів щодо організації корекційних занять.

Упровадження КМС на фізико-математичному факультеті має і позитивні результати:

- підвищилася відповідальність студентів за результати навчальної діяльності;
- зменшилася кількість пропусків навчальних занять;
- протягом семестру відбувається постійний контроль і своєчасне корегування навчально-виховного процесу;
- відбувається зростання ступеня внутрішньої свободи;
- формуються навички самостійної роботи студентів;
- суттєво скорочується непродуктивний навчальний час;
- встановлюється зворотній зв'язок викладача з кожним студентом на певному етапі навчання;
- студент поступово, систематично засвоює навчальний матеріал: наприкінці семестру відбувається психологічне розвантаження студентів;
- відбувається інтенсифікація навчального процесу та підвищення якості підготовки студентів.

Висновки. Дослідження показали:

- організація навчального процесу згідно модуля має творчий характер та є одним із найважливіших шляхів підвищення якості освіти;
- усі перераховані принципи модульного навчання тісно пов'язані, відбивають особливості побудови змісту навчання і характеризують взаємодію педагога і того, кого навчають, у ході реалізації принципів модульності, структуризації змісту навчання, динамічності, методу діяльності, гнучкості, усвідомленої перспективи і різнобічності методичного консультування;
- навчально-модульний процес є прогресивною формою процесу соціалізації особистості. Модульний процес розгортається у п'ятисферному полі розвитку (розумовому, духовному, моральному, фізичному й емоційному), на трьох взаємозалежних рівнях систем формування людського відношення до навколишнього світу (теоретичне, практичне, естетичне), у трьох просторах (ситуація,

середовище, контекст), у чотирьох часових вимірах розвитку (доактуальне, актуальне, потенційне, ідеальне);

- уведення КМС сьогодні потребує розробки комплексу нового покоління науково-методичного забезпечення навчальних дисциплін та організації навчального процесу в цілому, урізноманітнення форм та методів роботи студента, удосконалення її організації та розробки діагностичних засобів контролю її ефективності;
- уведення КМС дає можливість зробити навчальний процес гуманним і духовним як за характером, так і за змістом міжособистісних взаємин та підготувати фахівця цивілізованого соціуму.

Зміна технології навчання у ВНЗ, підвищення ролі самостійної роботи, посилення індивідуальної роботи студента, вплив зовнішнього незалежного оцінювання на формування контингенту студентів педагогічних ВНЗ потребують:

- термінового оновлення Галузових державних стандартів;
- затвердження на державному рівні освітньо-кваліфікаційних характеристик (ОКХ) та освітньо-професійних програм (ОПП) різних ОКР всіх галузей і напрямів підготовки;
- самостійна й індивідуальна роботи студентів повинні наповнитися новим змістом і виконувати продуктивну роль;
- при реалізації КМС академічні групи повинні стати динамічними, а поняття «успішність студентів» потребує наповнення новим змістом;
- вища педагогічна математична освіта повинна стати рівноправною з аналогічною освітою класичних університетів;
- терміново потрібна нормативна база щодо організації навчального процесу у ВНЗ.

Література

1. Геращенко Ю. Болонський процес у дії: Проблема якості освіти в контексті Болонського процесу. // Вища школа, 2004.
2. Рішення комісії МОН України від 27.02.04, протокол № 3/1 – 4.
3. Юцявичене П.А. Теоретические основы организации модульного обучения: автореф. дис. на соискание учён. степени доктора пед. наук / П.А. Юцявичене. – Вильнюс, 1990. – 32 с.
4. Лиман Ф.М., Петренко С.В. Сучасні проблеми організації навчання математики: Матеріали Всеукр. наук.-метод. конф. (3-4 грудня 2009 р., м.Суми). – Суми: Вид-во СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2009. – С. 146.
5. Петренко С.В. Упровадження принципів модульного навчання при вивченні аналітичної геометрії. //Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. – Суми: Вид-во СумДПУ ім. А.С.Макаренка, №2, 2009.– С. 372-382.
6. Петренко С.В. Роль наступності середньої і вищої школи у підготовці фахівців в умовах кредитно-модульної системи: Наукові записки. – Випуск 82. – Серія:

- Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім.В.Винниченка. – 2009. – Частина 2. – С. 64-68.
7. Фіцула М.М. Педагогіка вищої школи: Навч. посіб. – К.: Академвидав, 2006. – 352 с.
8. <http://www.mon.gov.ua>.

Анотація. Мартиненко О.В., Петренко С.В. Упровадження кредитно-модульної системи на фізико-математичному факультеті. У статті розглядаються теоретичний та практичний аспекти побудови навчального процесу на фізико-математичному факультеті в умовах кредитно-рейтингової системи навчання у відповідності з принципами модульного навчання.

Ключові слова. Модуль, принципи модульного навчання, навчальний процес, кредитно-модульна система.

Аннотация. Мартиненко Е.В., Петренко С.В. Внедрение кредитно-модульной системы обучения на физико-математическом факультете. В статье рассматриваются теоретический и практический аспекты построения учебного процесса на физико-математическом факультете в условиях кредитно-модульной системы обучения в соответствии с принципами модульного обучения.

Ключевые слова. Модуль, принципы модульного обучения, учебный процесс, кредитно-модульная система.

Summary. Martinenko E., Petrenko S. The Introduction of credit-module system of the education in institute of physics and mathematics. This article touches upon theoretical and practical aspects of the building of the scholastic process in conditions of credit-module system of the education

Keywords. Module, principles of the module education, process of education, credit-module system.

ПОРЯДКОВА ЗБІЖНІСТЬ З ЗАГАЛЬНОЇ ТОЧКИ ЗОРУ

В даній роботі вивчаються збіжності в упорядкованих просторах, які утворені відношеннями порядку. Це вивчення проводиться з загальної точки зору просторів абстрактної збіжності. Основною задачею є дослідження виконання аксіом абстрактної збіжності для порядкової збіжності в решітках.

1. Вступ

Добре відоме значення порядкових збіжностей в функціональному аналізі та його застосуваннях, оскільки такі збіжності характеризують важливі відношення в упорядкованих просторах. Самі ці простори є моделями для багатьох процесів в механіці, фізиці, біології, технічних науках. Метою даної роботи є вивчення порядкових збіжностей з загальної точки зору, тобто з точки зору загальних просторів абстрактної збіжності. Необхідно дослідити, як проявляються в цій конкретній ситуації загальні співвідношення збіжностей, як абстрактного об'єкта.

2. Основні поняття

Упорядкованим простором називається пара $(X, >)$, де $X \neq 0$, $>$ – відношення порядку на X . Цей порядок може бути лінійним чи частковим, строгим, нестрогим чи загальним. Ми будемо розглядати нестрогий порядок (взагалі кажучи, частковий) і позначати його $\geq$. Упорядкований простір X називається решіткою або структурою, якщо кожна двохелементна множина $\{a, b\}$, $a, b \in X$ має в X $\sup X$, $\inf X$. В упорядкованих просторах застосовуються позначення: $\sup\{a, b\} = a \vee b$, $\inf\{a, b\} = a \wedge b$.

Напрявленість $S = (x_\alpha, \alpha \in A)$ називається зростаючою, якщо $\alpha_1 \geq \alpha_2 \Rightarrow x_{\alpha_1} \geq x_{\alpha_2}$ і спадною, якщо $\alpha_1 \geq \alpha_2 \Rightarrow x_{\alpha_1} \leq x_{\alpha_2}$.

Напрявленість S називається порядково або (0)-збіжною до елемента $x_0 \in X$, якщо виконані умови:

1. Існують зростаюча $T = (y_\beta, \beta \in B)$ та спадна $U = (z_\gamma, \gamma \in C)$ напрямленості такі, що $\forall \beta_0 \in B \forall \gamma_0 \in C \exists \alpha_0 \in A$:

$$\alpha \geq \alpha_0 \Rightarrow z_{\gamma_0} \leq x_\alpha \leq y_{\beta_0}.$$

2. $\sup_{\gamma \in C} z_\gamma = x_0.$

3. $\inf_{\beta \in B} y_\beta = x_0.$

Запис: $x_\alpha \xrightarrow{0} x_0$, $x_0 = (0) - \lim_{k \in A} x_\alpha$. Відомо [2;3], що $0 - \lim$ визначається

однозначно, якщо він існує. T , U називається стискаючими напрямленостями для S .

3. Постановка задачі.

Необхідно в'яснити, які аксіоми абстрактної збіжності і в яких модифікаціях виконані для (0) -збіжності в решітках. Для цих аксіом ми використовуємо позначення $NA1$, $NA2$, $NA3$, $NA4$ в формулюваннях. Дж. Келлі [4,107]. Модифікації аксіом використовують, по-перше, зіркові збіжності, по-друге, основні класи піднаправленостей. В відповідності до цих класів піднаправленостей, конфінальних, ізотонних, мурівських, квазі, використовуємо позначення, наприклад, $NA2_{CO}$, $NA2_i$, $NA2_m$, $NA2_q$ і т.д.

4. Результати досліджень.

Теорема 1. (0) -збіжність задовольняє умову $NA1$.

Доведення. В якості T та U для стаціонарної напрямленості S візьмемо саму S . Всі умови (0) -збіжності виконані.

Теорему доведено.

Теорема 2. (0) -збіжність задовольняє умову $NA2_q$.

Доведення. Нехай $x_\alpha \xrightarrow{0} x_0$, $V = (t_\delta, \delta \in D)$ – довільна квазіпіднаправленість даної напрямленості $S = (x_\alpha, \alpha \in A)$. Тоді $\forall \alpha_0 \in A \exists \delta_0 \in D : \{t_\delta : \delta \geq \delta_0\} \subset \{x_\alpha : \alpha \geq \alpha_0\}$. Значить задавши довільні індекси $\gamma \in C$, $\beta \in B$ маємо при $\alpha \geq \alpha_0$ нерівність $Z_\gamma \leq x_\alpha \leq y_\beta$. По $\alpha_0 \in A$ знайдемо відповідне йому $\delta_0 \in D$. При $\delta \geq \delta_0$ одержимо $Z_\gamma \leq t_\delta \leq y_\beta$. Отже, стискаючими напрямленостями для V беремо ті самі T та U , що і для S .

Тоді $t_\delta \xrightarrow{0} x_0$.

Теорему доведено.

Наслідок 1. Для (0) -збіжності виконуються умови $NA2_{CO}$, $NA2_i$, $NA2_m$.

Це випливає з співвідношення основних класів піднаправленостей.

Наслідок 2. Для (0) -збіжності виконана умова: $(0) \Rightarrow (*0)$. При цьому $(*0)$ можна взяти у будь-якій модифікації: $(C*0)$, $(i*0)$, $(m*0)$, $(q*0)$.

Цей результат випливає з еквівалентності умов $NA2$ та $(\sigma) \Rightarrow (*\sigma)$ у відповідності модифікаціях для абстрактної (σ) -збіжності, що доведено у наших попередніх дослідженнях.

Перейдемо до аксіоми $NA3$.

Теорема 3. Умова для (0) -збіжності, взагалі кажучи, не виконується.

Доведення. Відомо, що при виконанні $NA3$ виконується умова:

$NA3.1$ $(*\sigma) \Rightarrow (\sigma)$.

Ці умови навіть еквівалентні [7]. Розглянемо лінійну решітку (К-лінеал) $S_{[a,b]}$ дійсних вимірних майже всюди скінчених на $[a,b]$ функцій $x(t)$. Еквівалентні функції, як і в просторах $L^p[a,b]$ ототожнюються. $x(t) \geq y(t)$ означає, що $x(t) \geq y(t)$ майже всюди на $[a,b]$. Відомо [3, 79-80], що в цій решітці (0)-збіжність означає збіжність майже всюди, а (*0)-збіжність є збіжністю за мірою. Також відомо [5, 94], що збіжність майже всюди викликає збіжність за мірою, це прояв загальної властивості $(\sigma) \Rightarrow (*\sigma)$ при виконанні NA2. Але обернене невірне (наведений конкретний контр приклад). Таким чином, у цій решітці $(*\sigma) \not\Rightarrow (\sigma)$, що і означає невиконання умови NA3.1, а значить і NA3 для (0)-збіжності.

Теорему доведено.

Оскільки умова NA3 для (0)-збіжності не виконується, то (0)-збіжність не є збіжністю по класу [4, 106-110]. Перевіряти умову NA4 немає необхідності.

Зауважимо лише, що в силу результатів А. Уорда [8] та Й. Арнеса, П. Анденесена [1], умова NA4 не може виконуватись, бо при виконанні NA1, NA2, NA4 в модифікації квазі ми одержали б клас збіжності і NA3 виконувалась би автоматично.

Тим не менше, виконання NA1, NA2 дає можливість одержувати на даній решітці топологічну структуру, утворену (0)-збіжністю.

Теорема 4. (0)-збіжність породжує на даній решітці X топологію $\tau^{(0)}$, сімейство всіх замкнених множин якої є сімейством всіх (0)-замкнених множин.

Топологія $\tau^{(0)}$ віддільна, оскільки (0)-lim єдиний. Що стосується співвідношення збіжностей (0) та (*0), то з загальних властивостей абстрактних збіжностей – при виконанні NA1, NA2 буде $(\sigma) \Rightarrow (*\sigma)$ одержується.

Теорема 5. $(0) \Rightarrow (*0)$, обернене, взагалі кажучи, не вірне.

Наслідок. Збіжність в топології $\tau^{(0)}$ суттєво ширша, ніж вихідна (0)-збіжність.

5. Висновки

Таким чином, вивчення властивостей (0)-збіжності в решітках дозволяє стверджувати, що для неї:

1. Аксиоми NA1, NA2 виконуються.
2. Аксиоми NA3, NA4 не виконуються.
3. (0)-збіжність породжує на даній решітці топологічну структуру.
4. Збіжність у топології $\tau^{(0)}$ суттєво ширша, ніж породжується її (0) - збіжність.

Література

1. Aarnes J.F., Andenes P.R. On nets and filters / J.F. Aarnes, P.R. Andenes // Math Scand. – 1973. – V.31. – № 2. – p. 287-292.

2. Вулих Б.З. Введение в теорию полуупорядоченных пространств / Борис Вулих. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 408 с.
3. Канторович Л.В., Вулих Б.З. Пинскер А.Г. Функциональный анализ в полуупорядоченных пространствах / Леонид Канторович. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950.–548 с.
4. Келли Дж.Л. Общая топология / Джон Келли. – М.: Издательство «Наука», 1968. – 384 с.
5. Натансон И.П. Теория функций вещественной переменной / Исидор Натансон. – М.: Издательство «Наука», 1974. – 480 с.
6. Погребной В.Д. Квазизвездная сходимостъ / Валерий Погребной // Вісник Сумського державного університету. – 2002. – № 6(39). – С. 183-186.
7. Ward A.J. Convergence of directed nets / A.J. Ward // Proc. Camb. Phil. Soc. – 1965. – V. 61. – № 4. – p. 877-878.

Анотація. Погребний В.Д. Порядкова збіжність з загальної точки зору. Вивчається властивості порядкової збіжності в решітках з загальної точки зору аксіом просторів абстрактної збіжності. Встановлено, що для цієї збіжності виконуються 1, 2 і не виконується 3, 4 аксіоми класу збіжності. Порядкова збіжність не є збіжністю по класу. Ця збіжність породжує топологію, збіжність у якій суттєво ширша, ніж породжуюча порядкова збіжність.

Ключові слова. Збіжність, порядкова, решітка, аксіома, зіркова, напрямленість.

Аннотация. Погребной В.Д. Порядкова сходимостъ с общей точки зрения. Изучаются свойства порядковой сходимости в решетках с общей точки зрения аксиом пространств абстрактной сходимости. Установлено, что для этой сходимости выполняются 1,2 не выполняется 3,4 аксиомы класса сходимости. Порядковая сходимостъ не является сходимостью по классу. Эта сходимостъ порождает топологию, сходимостъ в которой существенно шире, чем порождающая порядковая сходимостъ.

Ключевые слова. Сходимостъ, порядковая, решетка, аксиома, звездная, сеть.

Summary. Pogrebnoy V. Index convergence is from the general point of view. Studied property of index convergence in grates from the general point of view of axioms of spaces of abstract convergence. It is set that for this convergence executed 1, 2 and not executed 3, 4 axioms of class of convergence. Index convergence is not convergence on a class. This convergence generates a topology, convergence in which is substantially wider, than porodzhuyucha index convergence.

Keywords. Convergence, index, grate, axiom, star, napryamlenist'.

ЗБІЖНІСТЬ З РЕГУЛЯТОРОМ З ЗАГАЛЬНОЇ ТОЧКИ ЗОРУ

1. Вступ

Серед усіх решіток особливо виділяється той їх підклас, в якому крім порядкової структури є ще і лінійна структура і обидві структури узгоджені між собою. Такі решітки називаються лінійними або векторними решітками. Інша їх назва – K -лінеали. В лінійних решітках можна розглядати порядкову або (о)-збіжність, яка там набуває додаткових властивостей [1]. Ще більш важливою у лінійних решітках є збіжність з регулятором або (r)-збіжність. Метою даного дослідження є вивчення властивостей цієї збіжності з точки зору просторів абстрактної збіжності.

2. Основні поняття

Нехай X – архімедівськи упорядкована лінійна решітка (архімедовий K -лінеал). Напрямленисть $S = (x_\alpha, \alpha \in A)$ називається (r)-збіжною до елемента $x_0 \in X$, якщо:

$$\exists u \geq \theta: \forall \varepsilon > 0 \quad \exists \alpha_0 \in A: \alpha \geq \alpha_0 \Rightarrow |x_\alpha - x_0| \leq \varepsilon u.$$

Елемент $u \geq \theta$ називається регулятором збіжності.

Відомо, що (r)-lim однозначний, з (r)-збіжності випливає (о)-збіжність [1, 182]. (r)-збіжність узгоджена з лінійною структурою і структурою решітки.

3. Постановка задачі

Необхідно дослідити, які аксіоми абстрактної збіжності виконані і в яких модифікаціях для (r)-збіжності. Аксіоми розглядаємо в формулюваннях NA1, NA2, NA3, NA4 [3]. Модифікації аксіом використовують основні класи піднапрямлениостей і зіркові збіжності.

4. Результати досліджень.

Теорема 1. (r)-збіжність задовольняє умову NA1.

Доведення. Нехай напрямленість $S = (x_\alpha, \alpha \in A)$ стаціонарна. Виберемо довільно $u \in X$, $u \geq \theta$. Тоді $\forall \alpha \in A \Rightarrow |x_\alpha - x_0| = \theta \leq \varepsilon u \quad \forall \varepsilon > 0$, тобто $x_\alpha \xrightarrow{(r)} x_0$.

Теорему доведено.

З урахуванням зв'язків (σ) та ($*\sigma$) збірностей одержується

Наслідок. ($*r$)-збіжність (у довільній модифікації) задовольняє умову NA1.

Теорема 2. (r)-збіжність задовольняє умову NA2_q.

Доведення. Нехай $S = (x_\alpha, \alpha \in A)$, $x_\alpha \xrightarrow{(r)} x_0$. Тоді

$$\exists u \geq \theta: \forall \varepsilon > 0 \quad \exists \alpha_0 \in A: \alpha \geq \alpha_0 \Rightarrow |x_\alpha - x_0| \leq \varepsilon u.$$

Візьмемо довільну квазіпіднапрявленість $T = (y_\beta, \beta \in B)$ напрямленості S . Отже, $\forall \alpha_0 \in A \exists \beta_0 \in B: \{y_\beta : \beta \geq \beta_0\} \subset \{x_\alpha : \alpha \geq \alpha_0\}$. Задамо довільно $\varepsilon > 0$. По ньому знайдемо відповідний індекс $\alpha_0 \in A: \alpha \geq \alpha_0 \Rightarrow |x_\alpha - x_0| \leq \varepsilon$. По $\alpha_0 \in A$ знайдемо відповідний індекс $\beta_0 \in B$, знайдемо відповідне $\beta_0 \in B$. При $\beta \geq \beta_0$ з умови квазіпіднапрявленості, $y_\beta = x_{\alpha'}$, $\alpha' \geq \alpha_0$. Маємо $|y_\beta - x_0| = |x_{\alpha'} - x_0| \leq \varepsilon$. Це і означає, що $y_\beta \xrightarrow{(r)} x_0$.

Теорему доведено.

Наслідок 1. (r) -збіжність задовольняє умови $NA2_{co}$, $NA2_i$, $NA2_m$.

Наслідок 2. (r) -збіжність породжує на X топологію $\tau^{(r)}$, причому $(r) \Rightarrow (\tau^{(r)})$.

Перейдемо до умови $NA3$. Ситуація аналогічна (o) -збіжності.

Теорема 3. Умова $NA3$ для (r) -збіжності, взагалі кажучи, не виконується.

Доведення. Відомо [5], що $NA3$ еквівалентна умові $NA3.1$. $(*\sigma) \Rightarrow (\sigma)$ (у відповідній модифікації). Також відомо [2, 167], що в регулярних K -просторах $(r) = (0)$. Тоді в них буде $(*r) = (*0)$. Зокрема, таким простором буде простір $S[a, b]$. В ньому (o) -збіжність є збіжністю майже всюди, $(*0)$ -збіжність є збіжністю за мірою [1, 79-80]. Але із збіжності за мірою не впливає збіжність майже всюди [4, 94]. Стосовно нашої ситуації, це означає, що $(*r) \not\Rightarrow (r)$, тобто $NA3$ для (r) -збіжності не виконується.

Теорему доведено.

Наслідок. Збіжність у топології $\tau^{(r)}$ суттєво ширша, ніж (r) -збіжність.

Стосовно аксіоми $NA4$ ситуація аналогічна (0) -збіжності: вона для (r) -збіжності, взагалі кажучи, не виконується. При її виконанні з умов $NA1$, $NA2_d$, $NA4$ випливало б виконання $NA3_d$, чого не спостерігається у загальному випадку.

$(*r)$ -збіжність також породжує на архімедовій лінійній решітці топологію $\tau^{(*r)}$, оскільки $(*r)$ -збіжність як $(*\sigma)$ -збіжність задовольняє умови $NA2$, $NA3$, а оскільки (r) -збіжність задовольняє $NA1$, то і $(*r)$ -збіжність задовольняє цю умову. Також $(*r) \Rightarrow (\tau^{(*r)})$.

5. Висновки

1. (r) -збіжність задовольняє умови $NA1$, $NA2$ і, взагалі кажучи, не задовольняє умови $NA3$, $NA4$.

2. (r) -збіжність породжує топологію $\tau^{(r)}$.

3. $(r) \Rightarrow (\tau^{(r)})$

4. $(*r)$ -збіжність задовольняє $NA1$, $NA2$, $NA3$.

5. $(*r)$ -збіжність породжує топологію $\tau^{(*r)}$.

6. $(*r) \Rightarrow (\tau^{(*r)})$.

Література

1. Вулих Б.З. Введение в теорию полуупорядоченных пространств/ Борис Вулих. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 408 с.
2. Канторович Л.В., Вулих Б.З., Пинскер А.Г. Функциональный анализ в полуупорядоченных пространствах/ Леонид Канторович. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. – 548 с.
3. Келли Дж.Л. Общая топология/ Джон Келли. – М.: Издательство «Наука», 1968. – 384 с.
4. Натансон И.П. Теория функций вещественной переменной/ Исидор Натансон. – М.: Издательство «Наука», 1974. – 480 с.
5. Погребной В.Д. Квазизвездная сходимостъ/ Валерий Погребной// Вісник Сумського державного університету. – 2002.– № 6(39). – С.183–186.

Анотація. Погребний В.Д. Збіжність з регулятором з загальної точки зору. Вивчаються властивості збіжності з регулятором в архімедовських лінійних решітках з точки зору просторів абстрактної збіжності. Встановлено, що для цієї збіжності виконуються 1, 2 і, взагалі кажучи, не виконуються 3, 4 аксіоми класу збіжності. Збіжність з регулятором не є збіжністю по класу. Вона породжує топологію, збіжність у якій буде ширша за неї. Зіркова до збіжності з регулятором задовольняє 1, 2, 3 аксіоми класу збіжності і також породжує топологію.

Ключові слова. Збіжність, регулятор, аксіома, зіркова, напрямленість.

Аннотация. Погребной В.Д. Сходимость с регулятором с общей точки зрения. Изучаются свойства сходимости с регулятором в архимедовских линейных решетках с точки зрения пространств абстрактной сходимости. Установлено, что для этой сходимости выполняются 1, 2 и, вообще говоря, не выполняется 3, 4 аксиомы класса сходимости. Сходимость с регулятором не является сходимостью по классу. Она порождает топологию, сходимость в которой будет шире, чем она сама. Звездная к сходимости с регулятором удовлетворяет 1, 2, 3 аксиомы класса сходимости. Она также порождает топологию.

Ключевые слова. Сходимость, регулятор, аксиома, звездная, сеть.

Summary. Pogrebniy V. Convergence with a regulator from the general point of view. Properties of convergence are studied with a regulator in arkhimedovskikh linear grates from point of spaces of abstract convergence. It is set that for this convergence executed 1, 2 and, generally speaking, not executed 3, 4 axioms of class of convergence. Convergence with a regulator is not convergence on a class. It generates a topology, convergence in which will be wider than it. The star to convergence with a regulator satisfies 1, 2, 3 axioms of class.

Keywords. Convergence, regulator, axiom, star, napryamlenist'.

НАУКОВІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФІЗИЧНОЇ ОСВІТИ

В.М. Білик, О.Д. Стадник

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ І ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1. Вступ

В останні роки у зв'язку із зростанням вимог техніки та економіки багато галузей промисловості все гостріше ставлять питання про створення матеріалів з комплексом нових властивостей. Зокрема, це відноситься до матеріалів, які повинні поєднувати властивості, притаманні напівпровідникам і металам, а також полімерним матеріалам. Виконання цих вимог може йти двома шляхами - або через синтез полімерів нової хімічної будови, наприклад полімерів з системою сполучення, або за допомогою введення електропровідного наповнювача (порошків металів, графіту, сажі і т. д.) в полімерні діелектрики. Обидва зазначені шляхи описані в літературі.

Створення матеріалів подібного типу, природно, вимагає знання структури, а також механізму генерації та перенесення носіїв в цих матеріалах. Полімерним матеріалам, які в силу своєї хімічної будови володіють напівпровідниковими властивостями, присвячено наприклад роботи [1;3], електропровідні полімерні композити досліджено в роботах [2; 4-7].

Ціль даної роботи є дослідження електрофізичних властивостей в полімерах та полімерних композиційних матеріалах, які широко використовуються в сучасній промисловості. Актуальною задачею на сьогодні є створення провідних композиційних матеріалів, що значно розширює можливості їх застосування.

Отримання зразків та методика вимірювання

В якості об'єктів досліджень було обрано фторопласт-2 (рис. 1) та поліетилентерефталат (ПЕТФ).

Фторопласт-2 має досить високу стійкість до різних зовнішніх руйнуючих чинників (хімічних, механічних). Крім того фторопласт має високу стійкість до нагріву (порядку 300°C).



Рис. 1. Структурна формула фторопласту-2 (полівінілденфторид ПВДФ)

Для досліджень використовувались зразки круглої форми (діаметр 5 см, товщина 1мм). Які були виготовлені із порошку методом гарячого пресування.

Мідні електроди наносились у вакуумі методом термічного напилення на установці ВУП-5М. Вимірювання провідності проводилось цифровим вимірювачем Е7-12. Дослідження проводились в температурному діапазоні від 18 °С до 200 °С. Температура контролювалась термопарним методом.

Також було досліджено питомий опір алюмінієвого покриття на підкладці із ПЕТФ. Покриття було отримане в установці ВУП-5М. Товщина покриття контролювалась за допомогою інтерферометра.

2. Результати та їх обговорення

Електрофізичні властивості полімерних матеріалів

Для дослідження особливостей переносу зарядів у фторопласті - 2 були проведені вимірювання провідності для різних температур. отримана залежність носить нелінійний характер, але при цьому залежність натурального логарифма провідності зразка від оберненої температури ($\ln \sigma$ від $1000/T$) виявляється можливим апроксимувати двома лінійними ділянками (рис. 2).

З графіку, представленого на рис. 2, випливає, що, принаймні діють два механізми провідності, які можна виявити у відповідних інтервалах температур з різними енергіями активації.

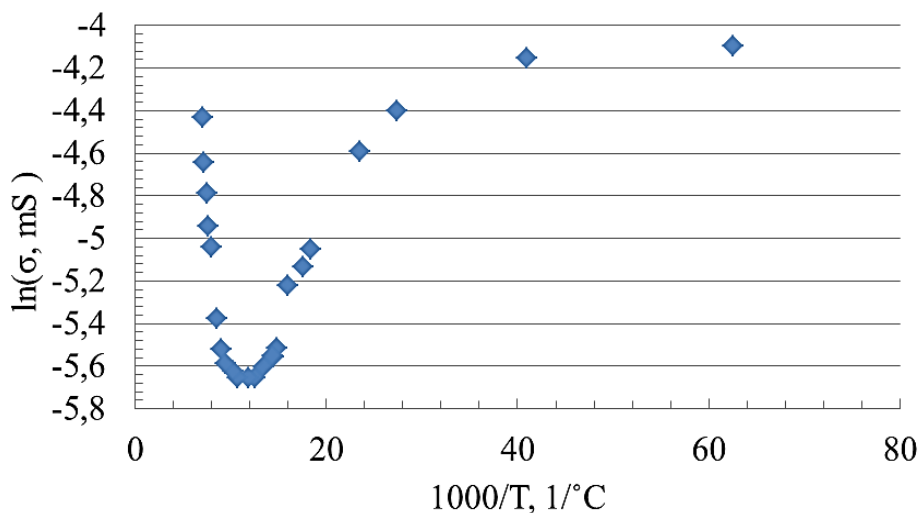


Рис. 2. Залежність провідності фторопласта-2 від оберненої температури

При температурах, близьких до кімнатної, значення енергії активації відчутно менше ширини забороненої зони і може, мабуть, свідчити про стрибковий характер переносу носіїв заряду із змінною довжиною стрибка по станах, що знаходяться глибоко в забороненій зоні поблизу енергії E_t . Такий процес у припущенні, що провідність здійснюється електронами, описується виразом

$$\sigma \sim \exp[-(E_t - E_F + \omega)/kT], \quad (1)$$

де E_F - рівень Фермі, що лежить приблизно в середині забороненої зони, а ω - енергія активації стрибка. Причому основний внесок у температурну залежність

провідності вносить множник, що визначає активацію носіїв у область локалізованих станів. Як видно з (1), енергія активації в основному визначається різницею E_t і E_F .

При температурах близьких до 100 °С спостерігається мінімум. Отримане явище може бути пов'язане із фазовими переходами, що можуть відбуватися в фторопласті при нагріванні.

Вимірювання діелектричних втрат також показало мінімум при температурі в межах від 80 °С до 120 °С (рис. 3).

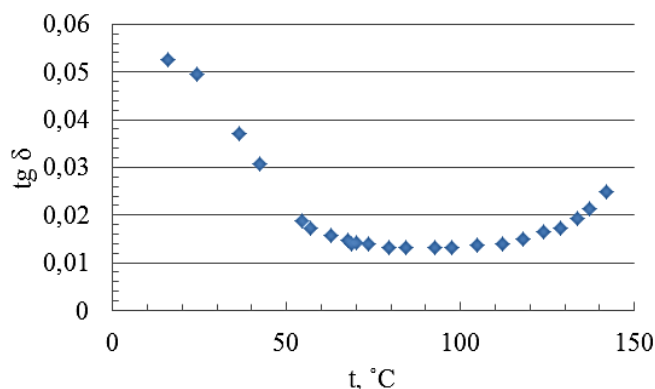


Рис. 3. Залежність тангенса діелектричних втрат фторопласта від температури

Електрофізичні властивості композиційних матеріалів

Результати дослідження питомого опору системи алюмінієвої плівки на підкладці з ПЕТФ представлені на рис. 4.

При товщині шару алюмінію до 50 nm опір відносно дуже великий і досить стрімко змінюється при зміні товщини шару, що пов'язано із незформованістю суцільного шару плівки. Коли ж товщина шару більша за 50 nm, опір змінюється набагато повільніше, що можна пояснити переходом від острівцевої структури до практично суцільної [2]. При товщині шару від 120 nm, сформувався суцільний шар металу, питомий опір плівки все більше наближається до питомого опору масивного зразка $\rho_0 \approx (0,027 - 0,030) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ (рис. 4). Зауважимо, що на поверхні плівки алюмінію формується шар низько провідних оксидів.

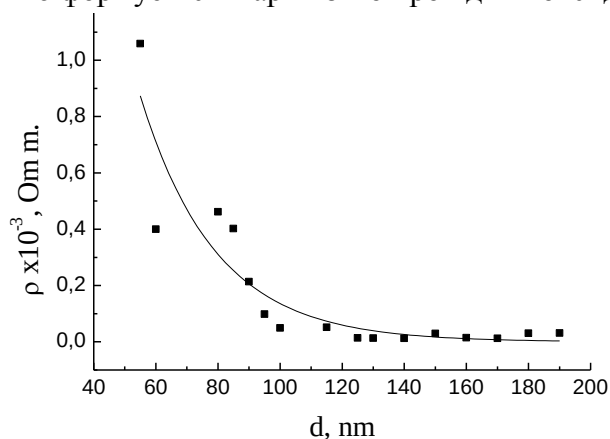


Рис. 4. Залежність питомого опору плівки на полімерній підкладці від товщини шару алюмінієвої плівки

Вольт-амперна характеристика зразків ПЕТФ з алюмінієвим покриттям показана на рис. 5. Видно що при напрузі близько 6 вольт відбувається руйнування алюмінієвого покриття (рис. 6), яке в подальшому приводило до руйнування і самої підкладки.

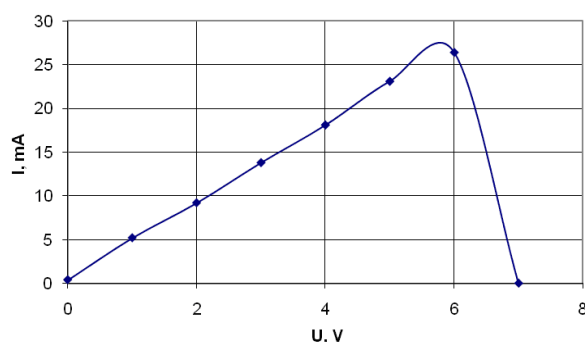


Рис. 5. Вольтамперна характеристика ПЕТФ з алюмінієвим покриттям

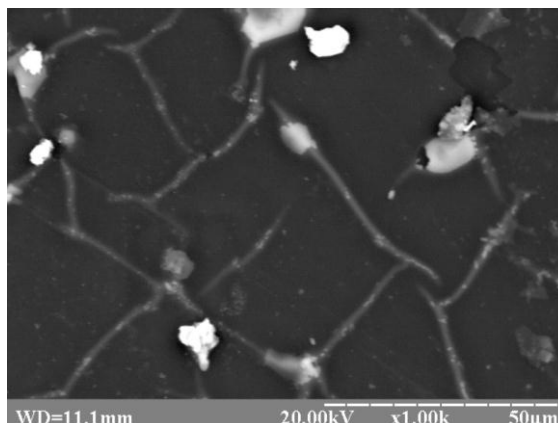
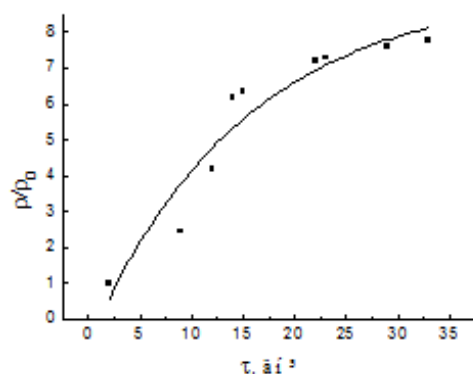
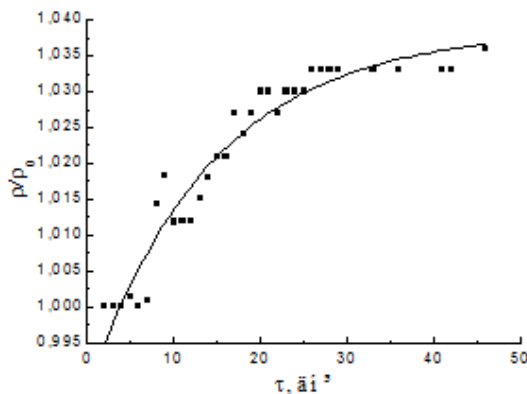


Рис. 6. Поверхня алюмінієвої плівки на ПЕТФ (товщина плівки 1000 Å)

З графіків на рис. 7. видно, що питомий опір плівки алюмінію з часом зростає. Причому, у зразку із товщиною шару алюмінію порядку 150 nm питомий опір змінився всього на 3% (рис. 7 а), тоді як у зразку з товщиною порядку 80 nm питомий опір зріс в 7,5 разів (рис. 7 б), що зумовлено формуванням оксидів та гідроксидів алюмінію.



(а)



(б)

Рис. 7. Відносна зміна питомого опору плівки алюмінію з часом після нанесення: а - товщина шару ~150 nm; б – товщина шару ~80 nm

Результати дослідження залежності опору плівки алюмінію на ПЕТФ від видовження представлені на рис. 8. Встановлено, що при видовженні плівки на $\approx 6\%$ електропровідні властивості змінюються майже за лінійним законом на порівняно малу величину, далі опір різко зростає по експоненті.

Це можна пояснити тим, що при великому видовженні суцільність шару алюмінієвої плівки починає руйнуватись (рис. 9).

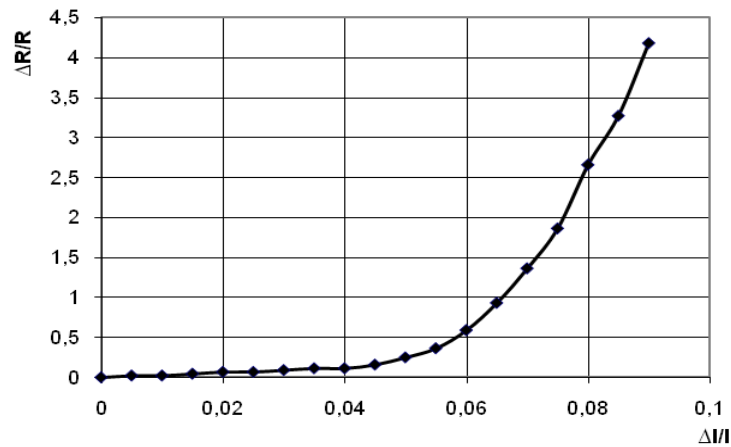


Рис. 8. Залежність відносної зміни електроопору плівки алюмінію на ПЕТФ від її видовження

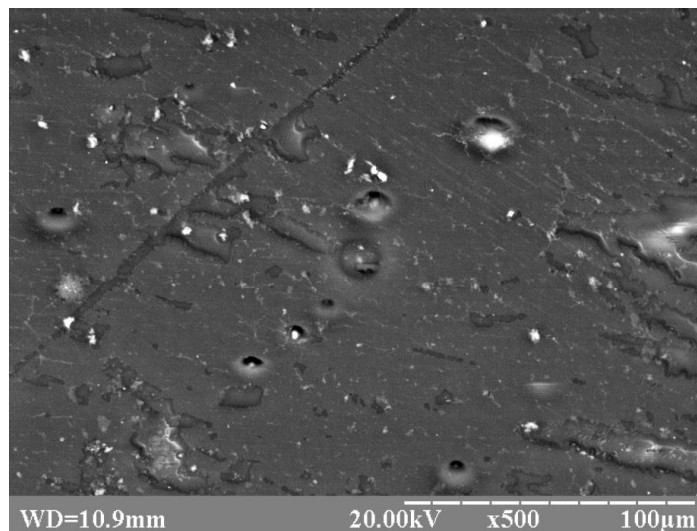


Рис. 9. Структура поверхні шару алюмінію на ПЕТФ після розтягання

Висновки

1. В діапазоні температур від кімнатної до 100 °С основним механізмом переносу заряду в полімерних матеріалах є стрибковий.
2. Електрофізичні властивості полімерних і полімерних-композитних матеріалів суттєво залежать від температури та умов формування.
3. Температурні залежності провідності систем полімер/метал зумовлена проявом двох факторів – власною провідністю полімера та металевої плівки, а також розтягуючими напруженнями в полімерній підкладці при нагріванні.

Література

1. Блайн Э.Р., Блур Д. Электрические свойства полимеров. Пер. с англ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 376 с.
2. Панчук Д.А., Садакбаева Е.А., Большакова А.В., Абрамчук С.С. О структуре межфазного слоя на границе металлическое покрытие – полимерная подложка / Российские нанотехнологии. – 2009. – №5-6. – С.114-120.

3. Сажин Б. И., Лобанов А. М., Романовская О. С. Электрические свойства полимеров. – Л.: Химия, 1977.
4. Стадник А.Д., Кирик Г.В. Полимерные композиты и нанокompозиты в магнитных полях: Монография. – Сумы: ИТД «Университетская книга», 2005. – 239 с.
5. Стадник А.Д., Кирик Г.В., Білик В.М., Гинку О.К. Перспективи інтенсифікації процесів горіння в газогенераторних установках, піролізних котлах та використання в них нових теплозахисних матеріалів / Компресорное и энергетическое машиностроение. – 2010. – №4. – С. 40-45.
6. Шевченко В.Г., Пономаренко А.Т. Процессы переноса в электропроводящих дисперсно-наполненных полимерных композитах / Успехи химии. – 1983. – №8. – С. 1336-1349.
7. Шиир Дж. Е., Тенер Д.-Т. В кн.: Многокомпонентные полимерные системы. Ред, Голд Р. Ф. (пер. с англ.). – М.: Химия, 1974. – С. 317.

Анотація. Білик В.М., Стадник О.Д. Електрофізичні властивості полімерних і полімерних композиційних матеріалів. Проведено дослідження електрофізичних властивостей полімерних та полімерних композиційних матеріалів, а саме фторопласту-2 та поліетилентерефталату з алюмінієвим покриттям. Встановлено, що механізм провідності полімерів має переважно стрибковий характер. Виявлено значний вплив зовнішніх чинників на електрофізичні властивості полімерних композиційних матеріалів.

Ключові слова. Провідність, полімер, композит, питомий опір.

Аннотация. Билык В.Н., Стадник А.Д. Электрофизические свойства полимерных и полимерных композиционных материалов. Проведено исследование электрофизических свойств полимерных и полимерных композиционных материалов, а именно фторопласта-2 и полиэтилентерефталата с алюминиевым покрытием. Установлено, что механизм проводимости полимеров имеет преимущественно прыжковый характер. Выявлено значительное влияние внешних факторов на электрофизические свойства полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова. Проводимость, полимер, композит, удельное сопротивление.

Summary. Bilyk V., Stadnik A. The electrophysical properties of polymer and polymer composite materials. A Study of qualities electrophysical polymer and polymer composite materials, namely fluoroplastic-2 and PET with aluminum coating. Established that the mechanism Conductivity polymers has mainly mainly character. Revealed a significant effect of external factors on the electrical properties of polymer composites.

Keywords. Conductivity, polymer, composite, resistivity.

Ф.Ю. Грицай

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ ГАЗІВ, РІДИН ТА ТВЕРДИХ ТІЛ

Вступ

Одна з найважливіших задач теоретичної фізики, зокрема кінетичної теорії речовини, полягає в тому, щоб обчислити фізичні параметри макросистеми як цілого, через фізичні параметри мікрочастинок з яких вона складається.

Спроба розв'язати цю задачу належить також і електронній теорії речовини, яка вивчає фізичні властивості обумовлені рухом та взаємодією електронів та іонів.

Електронна теорія речовини використовує апарат квантової механіки, який напевно чи коли-небудь буде вивчатись в середній школі через свою складність. Тому пошуки простішої математизації фізичних знань про речовину залишаються актуальними на сьогодні не тільки середньої, але і вищої школи.

В цій роботі зроблена спроба розв'язати задачу обчислення питомої теплоємності газів, рідин та твердих тіл при нормальних умовах, нехтуючи їх можливим тепловим випромінюванням, через масу частинок з яких складається речовина та постійну Больцмана.

Така постановка задачі стала реальною після створення мас-спектрографа в 1919 році Астоном Ф.У. (1877 – 1945) та вимірюванням абсолютних значень мас атомів в першій половині XX століття.

Розв'язавши цю задачу виникнуть передумови введення загальноосвітньої програми з фізики середньої школи з другим розділом, який матиме назву «Кінетична теорія речовини».

1. Питомі газові сталі

Питомою газовою сталою B називають величину, рівну роботі, яку виконує 1 кг газу при ізобарному його нагріванні на 1 градус.

Одиницю вимірювання питомої газової сталої знайдемо з формули:

$$B = \frac{R}{\mu} \quad (1)$$

тут μ – кіломоль речовини, R – універсальна газова стала [1].

Підставимо в праву частину формули (1) одиниці вимірювання R та μ . Отримаємо:

$$[B] = \frac{1 \text{ Дж} \cdot (\text{кмоль} \cdot \text{град})^{-1}}{1 \text{ кг} (\text{кмоль})^{-1}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

З формули (1) випливає, що числове значення питомої газової сталої різне для різних газів і залежить від величини кіломоля даного газу.

Як відомо [2] універсальна газова стала та число Авогадро (N_0) пов'язані між собою формулою:

$$R = k \cdot N_0 \quad (2)$$

тут $k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$ – постійна Больцмана. Підставивши (2) в (1), отримаємо:

$$B = \frac{kN_0}{\mu} = \frac{k}{m_a A} \quad (3)$$

тут $m_a A = \mu \cdot N_0^{-1}$ – маса в кілограмах атома газу. A – відносна атомна маса; $m_a = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ – маса в кг атомної одиниці маси.

Таким чином макроскопічна характеристика газу B – питома газова стала може обчислюватись через характеристики частинок з яких газ складається.

Відношення постійної Больцмана (k) до атомної одиниці маси (m_a) в роботі [3] названо універсальною тепловою сталою.

2. Питома теплоємність газів

При підвищенні температури одноатомного ідеального газу на один градус Кельвіна енергія кожного атома в середньому зростає на $\frac{3}{2}k$. [2]. Для ідеального газу, що складається з одноатомних молекул, питома теплоємність при постійному об'ємі обчислюватиметься по формулі:

$$C_{V_1} = \frac{3}{2} \frac{k}{m_a A} \quad (4)$$

При постійному тиску виразом

$$C_R = \frac{5}{2} \frac{k}{m_a A} \quad (5)$$

Результати обчислень питомої теплоємності інертних газів по формулах (4) та (5) і порівняння з експериментальними даними [4] подано таблицею 1. З неї слідує, що інертні гази при $T = 273^\circ\text{К}$ та тиску $0,101 \text{ МПа}$ поведуть себе як одноатомний ідеальний газ для якого відношення $C_R \cdot C_{V_1}^{-1} = 1,666$.

Таблиця 1.

Питома теплоємність одноатомних газів

Символ	He	Ne	Ar	Kr	Xe
Назва	гелій	неон	аргон	криптон	ксенон
Ar відносна атомна маса	4,0026	20,179	39,948	83,80	131,29
Теорія $C_{0V_1} = \frac{3}{2} \frac{k}{m_a Ar}$	3115,925	618,059	312,201	148,828	94,994
Експеримент $C_{V_1}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	3182	620	322	151	96
$\frac{\Delta C_V}{C_{OV}} (\%)$	2,12	0,31	3,14	1,46	1,06
Теорія $C_{0R} = \frac{5}{2} \frac{k}{m_a Ar}$	5193,209	1030,098	520,335	248,045	158,324

Символ	He	Ne	Ar	Kr	Xe
Експеримент $C_{P_1}, \frac{Дж}{кг \cdot K}$	5296	1038	523	251	159
$\frac{\Delta C_{P_1}}{C_{OP_1}} (\%)$	1,98	0,77	0,51	1,019	0,43
$B = \frac{k}{m_a A}$	2077,248	412,039	208,134	99,219	63,33
$\frac{C_{OV_1}}{B}$	1,532	1,505	1,547	1,522	1,516
$\frac{C_{OP_1}}{B}$	2,549	2,519	2,513	2,53	2,511

Результати обчислень питомої теплоємності двоатомних газів по формулах (6) та (7) і порівняння з експериментальними даними [5] подано в таблиці 2. З неї слідує, що вибрані двоатомні гази при тиску в одну атмосферу і температурі 298°K поведуть себе як ідеальний двоатомний газ, для якого відношення $C_{P_2} \cdot C_{V_2}^{-1} = 1,4$. Виняток з цього правила спостерігається для газу хлор (Cl_2).

Таблиця 2.

Питома теплоємність двоатомних газів

Символ	H ₂	N ₂	O ₂	CO	NO	Cl ₂
Назва	водень	азот	кисень			хлор
Ar відносна атомна маса	1,00797	14,0067	15,9994	28,01055	30,0061	35,453
Теорія $C_{OV_2} = \frac{5}{2} \frac{k}{m_a (A_1 + A_2)}$	10310,990	742,014	649,597	742,09	692,737	293,153
Експеримент $C_{V_2}, \frac{Дж}{кг \cdot K}$	10132	745	653	754	695	356
$\frac{\Delta C_{V_2}}{C_{OV_2}} (\%)$	1,7	0,4	0,5	1,6	0,33	21,4
Теорія $C_{OP_2} = \frac{7}{2} \frac{k}{m_a (A_1 + A_2)}$	14435,387	1038,820	909,436	1038,925	969,832	410,415
Експеримент $C_{P_2}, \frac{Дж}{кг \cdot K}$	14269	1051	913	1047	976	520

Символ	H ₂	N ₂	O ₂	CO	NO	Cl ₂
$\frac{\Delta C_{P_2}}{C_{OP_2}} (\%)$	1,15	1,17	0,4	0,8	0,64	26,7
$B = \frac{k}{m_a (A_1 + A_2)}$	4124,396	296,806	259,839	296,836	277,095	117,261
$\frac{C_{0V_2}}{B}$	2,457	2,510	2,513	2,540	2,508	3,036
$\frac{C_{0P_2}}{B}$	3,46	3,541	3,514	3,527	3,522	4,435

Для розв'язання проблеми теплоємності хлору зробимо припущення, що при тиску 1 атм. і температурі 298°C хлор утворює туман, в якому в середньому краплина має «b» молекул Cl₂.

Питома теплоємність такої системи складатиметься з суми двох доданків, які для постійного об'єму запишемо у вигляді:

$$C_{V_2} = \frac{5}{2} \frac{k}{2m_a A} + \frac{7}{2} \frac{k}{b \cdot 2m_a A} \quad (6a)$$

тут перший доданок вклад в теплоємність хлору молекул, які знаходяться в краплинах, другий – теплоємність ансамблю краплин.

Питома теплоємність при постійному тиску обчислюватиметься по формулі:

$$C_{P_2} = \frac{7}{2} \frac{k}{2m_a A} + \frac{9}{2} \frac{k}{b \cdot 2m_a A} \quad (7a)$$

Для визначення числа «b» скористаємось експериментальним значенням: $C_{V_2} = 356 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{K})^{-1}$; $C_{P_2} = 520 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{K})^{-1}$. Обчислення дають: $b(C_{V_2}) = 6,53$; $b(C_{P_2}) = 4,82$. Приймаючи цілі числа $b(C_{V_2}) = 7$ та $b(C_{P_2}) = 5$ знаходимо середнє арифметичне, яке рівне 6.

Для ідеального газу, що складається з трьохатомних молекул, питома теплоємність при постійному об'ємі обчислюватиметься по формулі:

$$C_{V_3} = \frac{7}{2} \frac{k}{m_a (A_1 + A_2 + A_3)} \quad (8)$$

При постійному тиску виразом

$$C_{P_3} = \frac{9}{2} \frac{k}{m_a (A_1 + A_2 + A_3)} \quad (9)$$

Результати обчислень питомої теплоємності трьохатомних газів по формулах (8) та (9) і порівняння з експериментальними даними подано таблицею 3.

Таблиця 3.

Питома теплоємність трьохатомних газів

Символ	NO ₂	SO ₂	CO ₂	H ₂ S
Назва				сірко-водень
ΣAr	46,0055	64,0628	44,00995	34,07994
Теорія $C_{OV_3} = \frac{7}{2} \frac{k}{m_a \sum A_i}$	632,552	454,255	661,234	853,900
Експеримент $C_{V_3}, \frac{Дж}{кг \cdot K}$	715	502	653	804
$\frac{\Delta C_{V_3}}{C_{OV_3}} (\%)$	13,03	10,51	1,25	5,84
Теорія $C_{OP_3} = \frac{9}{2} \frac{k}{m_a \sum A_i}$	813,281	584,043	850,158	1097,872
Експеримент $C_{P_3}, \frac{Дж}{кг \cdot K}$	913	645	837	1026
$\frac{\Delta C_{P_3}}{C_{OP_3}} (\%)$	12,26	10,44	1,55	6,55
$B = \frac{k}{m_a (A_1 + A_2 + A_3)}$	180,729	129,787	188,924	243,972
$\frac{C_{V_3}}{B}$	3,956	3,868	3,456	3,295
$\frac{C_{P_3}}{B}$	5,052	4,97	4,43	4,205

Звертає на себе увагу газ CO₂ – оксид вуглецю. Він поводить себе як ідеальний трьохатомний газ у відповідності з теорією з точністю ~ 1,5 %. Для газів NO₂ та SO₂ спостерігається значна різниця між теоретично обчисленими значеннями по формулах (8) та (9) і експериментальними даними. Будемо вважати, що ці гази при вказаних умовах утворюють пари.

Питома теплоємність їх при постійному об'ємі обчислюватиметься по формулі:

$$C_{V_3} = \frac{7}{2} \frac{k}{m_a M} + \frac{9}{2} \frac{k}{b m_a M} \quad (8a)$$

При постійному тиску виразом:

$$C_{P_3} = \frac{9}{2} \frac{k}{m_a M} + \frac{9}{2} \frac{k}{b m_a M} \quad (9a)$$

тут M – відносна молекулярна маса трьохатомної молекули.

Невідоме число « b » – кількість молекул в середньому в краплині пари відповідного газу, знайдемо скориставшись експериментальним значенням відповідної теплоємності.

Для газу NO_2 : $C_{V_3} = 715 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{K})^{-1}$ та $C_{P_3} = 913 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{K})^{-1}$, отримаємо: $b(C_{V_3}) = 10$; $b(C_{P_3}) = 8$.

Для газу SO_2 : $C_{V_3} = 502 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{K})^{-1}$ та $C_{P_3} = 645 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{K})^{-1}$, отримаємо: $b(C_{V_3}) = 12$; $b(C_{P_3}) = 10$.

3. Питома теплоємність водяного пару.

Будемо вважати, що атоми кисню та водню у водяному парі поведуть себе як атоми одноатомного ідеального газу. Краплини водяного пару опишемо формулою (9), яку запишемо у вигляді:

$$C_P = \frac{9}{2} \frac{k}{m_a} \frac{1}{b(A_1 + 2A_2)} \quad (10)$$

тут b – число молекул води в середньому в окремій краплині. $A_1 = 15,9994$ – відносна атомна маса кисню, $A_2 = 1,00797$ – відносна атомна маса водню. Нехай в одному кілограмі водяного пару n_0 – молекул води.

Кількість теплоти, яку потрібно надати одному кілограму водяного пару для підвищення його температури на один градус обчислимо по формулі:

$$\Delta W = \frac{3}{2} \frac{k}{m_a A_1} n_0 m_a A_1 + \frac{3}{2} \frac{k}{m_a A_2} \cdot 2 n_0 m_a A_2 + \frac{9}{2} \frac{k n_0 (A_1 + 2A_2) m_a}{m_a b (A_1 + 2A_2)} \quad (11)$$

тут перший доданок – тепло, яке отримують атоми кисню; другий – атоми водню; третій – краплини пари. Розділивши ліву і праву частини рівності (11) на масу водяного пару $n_0 m_a (A_1 + 2A_2)$, отримаємо формулу для питомої теплоємності водяного пару у вигляді:

$$C_P = \frac{4,5k}{m_a (A_1 + 2A_2)} \left(1 + \frac{1}{b}\right) \quad (12)$$

Для знаходження невідомого коефіцієнта « b » скористаємося експериментальними даними: $C_P = 2140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$ – питома теплоємність водяного пару при $t^\circ = 100^\circ\text{C}$; тиску $0,101 \text{ МПа}$, отримаємо $b \approx 33$. Робимо висновок, що в середньому кожна краплина водяного пару при вказаних умовах має в собі 33 молекули води.

Температурну залежність питомої теплоємності водяного пару очевидно потрібно пов'язувати з коефіцієнтом « b ». Можна вважати, що з підвищенням температури водяного пару кількість молекул в краплині зменшується. Це приводить до зростання питомої теплоємності. При $b = 1$ питома теплоємність матиме значення $4153,728 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$. Подальше нагрівання очевидно приведе до розкладання молекули води на кисень та водень. Ще при більш високій температурі кисень та водень

почнуть іонізуватись утворюючи плазму. Теплоємність плазми залежатиме від ступеня іонізації атомів хімічних елементів, що її утворюють. Але ці питання виходять за рамки даної роботи.

Якщо зробити припущення, що у воді кожна молекула здійснює певні самостійні рухи, то очевидно і для рідини потрібно покласти $b = 1$. В такому випадку теплоємність води матиме таке ж значення ($4153,728 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$) яке отримане і експериментально.

Для теплоємності льоду очевидно потрібно покласти $b = \infty$. Центри тяжіння молекул нерухомі. В такому випадку для питомої теплоємності льоду маємо значення $C_p = 2076,864 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

На завершення роботи знайдемо теплоємність та відносну молекулярну масу повітря. Хімічний склад повітря: азот (N_2) – 75,53%; кисень (O_2) – 23,14%; аргон (Ar) – 1,28%; вуглекислий газ (CO_2) – 0,045%. Інші складові повітря, на які припадає 1,285% враховувати не будемо.

Питому теплоємність суміші газів обчислюватимемо по формулі:

$$C_v = C_{vAr} \cdot \eta_{Ar} + C_{vO_2} \cdot \eta_{O_2} + C_{vN_2} \cdot \eta_{N_2} + C_{vCO_2} \cdot \eta_{CO_2} \quad (13)$$

тут η – концентрації відповідних газів по масі.

Підставляючи числові значення, отримаємо $C_v = 715,139 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Відносну молекулярну масу суміші газів обчислимо по формулі:

$$C_v = \frac{5}{2} \frac{k}{m_a A} = 715,139 \quad (14)$$

Звідси маємо $A = 29,066$.

Висновки та пропозиції

Підсумовуючи викладене цій роботі та роботі [3] пропонується ввести такі поняття:

1. $\frac{e}{m_a}$ – питомий заряд атомної одиниці маси;
2. $\frac{k}{m_a}$ – питома теплова стала ансамблю атомних одиниць маси
(Універсальна теплова стала)
3. $\frac{k}{m_a A}$ – питома теплова стала ансамблю атомів
4. $\frac{k}{m_a M}$ – питома теплова стала ансамблю молекул
5. $\frac{k}{bm_a M}$ – питома теплова стала ансамблю броунівських частинок

6. $\frac{k}{m_e}$ – питома теплова стала ансамблю електронів
7. До цього переліку допишемо число $\frac{e}{m_e}$ – питомий заряд електрона.

На мій погляд введення таких чисел значно спростить теоретичне описання, вивчення та викладання теплових, механічних та електричних властивостей речовини і їх взаємозв'язок в твердому, рідкому, газоподібному та плазмовому станах.

Література

1. Чертов А.Г. Международная система единиц измерения. – М.: Высшая школа, 1967. – 287 с.
2. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. – М.: Физматгиз, 1963. – 498 с.
3. Грицай Ф. Універсальна газова стала та число Фарадея – К.: Фізика та астрономія в школі. – 2003. – №3. – С. 22-23.
4. Енохович А.С. Справочник по физике. – М.: Просвещение, 1978.
5. Таблицы физических величин. Справочник. // Под ред. И. К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976.

Анотація. Грицай Ф.Ю. Питома теплоємність газів, рідин та твердих тіл. У статті розглянуто підходи, що дозволяють спростити теоретичний опис та вивчення теплових, механічних та електричних властивостей речовини і їх взаємозв'язки в твердому, рідкому, газоподібному та плазмовому станах.

Ключові слова. Питома теплоємність, питома теплова стала, газ, рідина, тверде тіло.

Аннотация. Грицай Ф.Е. Удельная теплоемкость газов, жидкостей и твердых тел. В статье рассматриваются подходы, позволяющие упростить теоретическое описание и изучение тепловых, механических и электрических свойств веществ и их взаимосвязи в твердом, жидком, газообразном и плазменном состояниях.

Ключевые слова. Удельная теплоемкость, удельная тепловая постоянная, газ, жидкость, твердое тело.

Summary. Grytsay F. Specific specific heat capacity of gas, liquids and hard tel. This article touches upon approaches, which simplify the theoretical description and studies of heat, mechanicals and electrics characteristics of material and their intercoupling in hard, fluid, gaseous and плазменном conditions.

Keywords. Constants of gas, liquid, hard body.

УДК 378.147:621.38

О.М. Завражна

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

**ПРО ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ КРЕДИТНО-MOДУЛЬНОЇ
СИСТЕМИ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ
«ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ»**

Сучасний стан суспільного розвитку, однією з особливостей якого виступає багаторазове збільшення інформаційних потоків, змушує формувати принципово нові пріоритети в підготовці спеціалістів вищої школи. Завдання, що постає перед ВНЗ, полягає не стільки в тому, щоб дати певний обсяг інформації студенту, скільки у формуванні певної нормативної та мотиваційно-ціннісної структури особистості студента, провідним компонентом якого буде потреба в постійному самовдосконаленні.

У таких умовах ще гостріше відчувається необхідність принципових змін політики, що склалась в цій галузі. Крім того, створились об'єктивні передумови для глибокого наукового переосмислення вищої освіти, і відповідно, її кардинальної перебудови за умови збереження найкращих вітчизняних здобутків.

На сьогодні саме Болонський процес є найсучаснішою та найперспективнішою моделлю реформування освітніх систем країн Європи. Важливим завданням модернізації педагогічної освіти України є також запровадження кредитно-модульної системи організації навчання, яка являє собою таку модель організації навчального процесу, що ґрунтується на поєднанні модульних технологій навчання та залікових освітніх одиниць (заликових кредитів) [1;3]. Кредитно-модульній системі як невід'ємному атрибуту Болонської декларації надаються дві основні функції. Перша – сприяння мобільності студентів і викладачів та спрощення переходів з одного університету до іншого. Друга – акумулююча: чітке визначення обсягів проведеної студентом роботи з урахуванням усіх видів навчальної та наукової діяльності. Сума кредитів визначає, на що здатний студент, який навчається за певною програмою [2, 70].

Дисципліна «Основи сучасної електроніки» вивчається студентами спеціальності «Педагогіка і методика середньої освіти. Фізика» на четвертому курсі. Програма курсу розрахована на I та II семестри та забезпечується такою кількістю годин:

	I семестр, годин	II семестр, годин	Всього
Аудиторних занять	60	60	120
Лекцій	30	30	60
Лабораторних занять	30	30	60
Індивідуальних занять	3	4	7
Самостійна робота	26	43	69
Всього	89	107	196
Форма семестрового контролю	залік	екзамен	

При чому в основу навчального процесу покладено наступні принципи:

- поділ матеріалу дисципліни на модулі з перевіркою засвоєння кожного модуля;
- використання більш широкої шкали оцінки знань;
- підвищення об'єктивності знань;
- стимулювання систематичної самостійної роботи студентів протягом семестру;
- впровадження здорової конкуренції в навчанні.

У робочій програмі чітко виписана мета вивчення, завдання дисципліни і облік дисциплін, які забезпечують вивчення даного курсу. Матеріал курсу «Основи сучасної електроніки» можна поділити на чотири великих модулі (блоки), які відповідають темам курсу. У свою чергу модулі розбиті на навчальні елементи.

Модуль 1. Радіоелектроніка. Електричні кола.

- 1.1. Радіоелектроніка як галузь науки
- 1.2. Електричні кола в електроніці

Модуль 2. Електронні прилади

- 2.1. Електровакуумні прилади
- 2.2. Напівпровідникові прилади

Модуль 3. Мікро-, функціональна та цифрова електроніка

- 3.1. Мікроелектроніка.
- 3.2. Функціональна електроніка
- 3.3. Індикатори. Цифрова електроніка

Модуль 4. Підсилювачі та генератори.

- 4.1. Підсилювачі електричних сигналів
- 4.2. Генератори електричних коливань

Така конструкція розглядається як деякий звіт наукової інформації, який має самостійну логічну структуру та зміст якої дозволяє оперувати цією інформацією в процесі розумової діяльності студента. Модульна організація змісту навчальної дисципліни допомагає глибокій аналітико-логічній роботі над змістовим навантаженням.

Лекція є основною формою активізації навчальної діяльності студентів, але на таких заняттях подаються тільки основні програмні питання. Тому лабораторний практикум дозволяє студентам більш глибоко засвоїти теоретичний матеріал, навчитися впевнено користуватися сучасними електровимірювальними приладами. Виконання лабораторних робіт підвищує інтерес студентів не тільки до вивчення фізичних дисциплін, але до і вивчення математики, так як обробка дослідних даних вимагає більш глибоких знань з цієї області. При виконанні лабораторних робіт студенти краще розуміють наскільки довгий і складний шлях від конкретних фізичних законів до їх використання. В курсі «Основи сучасної електроніки» за два семестри студенти виконують наступні лабораторні роботи:

1. Дослідження спектрального складу сигналів.
2. Дослідження вільних і вимушених коливань у RCL контурах.
3. Дослідження діода, стабілітрона.
4. Дослідження тиристора та семістора.
5. Дослідження біполярного транзистора.
6. Зняття характеристик польових транзисторів.
7. Випрямлячі: дослідження системи імпульсно-фазового управління, дослідження трифазного мостового випрямляча, дослідження трьохфазного мостового випрямляча з неповним числом керованих вентилів.
8. Розрахунок та дослідження резистивний підсилювача.
9. Дослідження масштабного, інтегруючого та диференціюючого підсилювачів.
10. Дослідження сумуючого, інерційного, неінвертуючого та пропорційно – інтегрального підсилювачів.
11. Дослідження однофазного перетворювача частоти при роботі на активне навантаження, на активне-індуктивне навантаження.
12. Дослідження тригерів.
13. Дослідження логічних елементів.
14. Дослідження мультиплексорів та дешифраторів.

Потрібно зазначити, що лабораторні заняття вимагають великої дослідницької роботи, вивчення додаткової наукової літератури. Перш ніж приступити до виконання такої роботи, студентів необхідно ознайомитися докладно зі змістом завдання, усвідомити його, оцінити з точки зору сприйняття і запам'ятовування всі складові його компоненти. Це дуже важливо, тому що при опрацюванні відповідного матеріалу по конспекту лекцій або по рекомендованій літературі можуть зустрітися визначення, факти, пояснення, які не відносяться безпосередньо до завдання.

Тому виникає потреба допомогти студентам покращити самостійну роботу, а саме:

- розробити для них методичні вказівки щодо удосконалення самостійної роботи та завдання для самоконтролю;
- ознайомити студентів з вимогами і системою контролю знань і умінь;
- скласти завдання різних рівнів складності з використанням модульної системи оцінки знань;
- створити умови і визначити час на виконання завдань.

Сучасні інформаційні технології дали можливість використовувати для самостійної роботи електронні підручники, консультації в on-line режимі, інтернет-інформацію [4,355].

Слід зауважити, що важливим моментом всіх новітніх методик і технологій є індивідуальна робота викладача та студента. Саме вона дозволяє виявити слабкі місця у його знаннях, вказати шляхи їх удосконалення.

Поза сумнівом, кредитно-модульна система забезпечує найбільш ефективний контроль знань студентів, так як дає змогу оцінити різні види роботи студентів.

Література

1. Наказ Міністерства освіти і науки України № 774 від 30.12.2005г. «Про впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу».
2. Болонський процес: тенденції, проблеми, перспективи / Укл. В.П.Бех, Ю.Л.Маліновський: за ред. Академіка В.П.Андрущенка. – К.: НПУ імені М.П.Драгоманова, 2004. – 221 с.
3. Вища освіта України і Болонський процес: Навчальний посібник /М.Ф. Степко, Я.Я. Болюбаш, В.Д. Шинкарук та ін.; За ред. В.Г. Кременя. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2004. – 384 с.
4. Гуревич Р.С. Формування інформаційної культури майбутнього фахівця // Педагогіка і психологія професійної освіти: результати досліджень: Зб. наук. праць / За ред. І.А. Зязюна, Н.Г. Ничкало. – К., 2003. – С. 354-360.

Анотація. Завражна О.М. Про деякі аспекти впровадження кредитно-модульної системи при вивченні курсу «Основи сучасної електроніки». Стаття присвячена розгляду особливостей вивчення дисципліни «Основи сучасної електроніки» з урахуванням вимог кредитно-модульної системи.

Ключові слова. Кредитно-модульна система, основи сучасної електроніки.

Аннотация. Завражная Е.М. О некоторых аспектах внедрения кредитно-модульной системы при изучении курса «Основы современной электроники». Статья посвящена рассмотрению особенностей изучения дисциплины «Основы современной электроники» с учетом требований кредитно-модульной системы.

Ключевые слова. Кредитно-модульная система, основы современной электроники.

Summary. Zavrazhna O. Some aspects of the introduction of credit-modular system for studying the course "Foundations of modern electronics. "The article deals with the peculiarities of the discipline "Foundations of modern electronics to meet the requirements of credit-modular system.

Keywords. Credit-modular system, the foundations of modern electronics.

УДК 53:378.14 (078.5)

В.С. Іваній, Н.В. Іваній, І.О. Мороз

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ОСОБЛИВОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ВИКЛАДАЧА ФІЗИКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ В УМОВАХ РЕАЛІЗАЦІЇ ІДЕЙ БОЛОНСЬКОЇ КОНВЕНЦІЇ

Постановка проблеми. Перехід людства від індустріального виробництва до науково-інформаційних технологій, формування суспільства високого інтелекту об'єктивно висуває науку як найбільш пріоритетну сферу, що продукує нові знання та освіту, долучає до цих знань суспільство в цілому й кожну людину зокрема. Саме від рівня інтелектуального розвитку людини більшою мірою залежатиме успіх будь-якої виробничої діяльності і взагалі будь-якої сфери життєдіяльності. Якщо ж урахувати зростання тенденції глобалізації, яка з-посеред іншого означає небувале раніше загострення конкуренції між державами-націями, набуває загально-планетарного характеру та охоплює, крім економіки, інші галузі, то стає очевидним, що лише країна, яка забезпечить адекватний вимогам часу розвиток освіти й науки, і фізики зокрема, може сподіватися на достойне місце у світовому співтоваристві.

Аналіз актуальних досліджень. Ще донедавна сфера освіти та навчання на рівні Україна - Європейський Союз не розвивалася, а залишалася в полі зору місцевих, регіональних та національних ініціатив. У листопаді 2002 року Україна подала пропозиції до Європейського Союзу щодо подальшого розвитку співробітництва в цьому напрямку для розгляду в рамках відповідного підкомітету [3, 31]. Отже, Україна чітко визначила орієнтири на входження в освітній та науковий простір Європи, здійснює модернізацію освітньої діяльності в контексті європейських вимог, щораз наполегливіше працює над практичним приєднанням до Болонського процесу.

На сучасному етапі Україна та Євросоюз тісно співпрацюють для підвищення рівня загальної освіти та професійної кваліфікації в Україні як у державному, так і в приватному секторах, що передбачає:

- удосконалення системи вищої освіти та системи підготовки фахівців згідно із сучасними вимогами, разом з тим систему сертифікації і вищих навчальних закладів і дипломів про вищу освіту;
- співробітництво між навчальними закладами, фірмами;
- мобільність для викладачів, випускників вищих навчальних закладів, адміністраторів, молодих учених і дослідників;
- сприяння навчанню в галузі європейських досліджень у відповідних закладах;
- навчання мовами країн Європейського Союзу;
- підготовку викладачів [3, 32].

Обов'язковою вважається також наявність внутрішніх та зовнішніх державних та громадських систем контролю за якістю освіти. Вищезазначені орієнтири більшою або меншою мірою позначаються на функціонуванні вищих навчальних закладів різного рівня акредитації та різного профілю.

Щодо тенденцій та перспектив розвитку в Україні фізичної освіти зокрема, то слід зазначити, що ті дослідження, які проводяться на сучасному етапі в галузі навчання фізики, дають змогу стверджувати, що процес розвитку і цієї освітньої галузі підпорядкований основній меті: піднесенню рівня викладання та глибини знань з фізичної наукової галузі до рівня вимог та запитів європейського ринку праці. Специфіка цієї науки звичайно вимагає детальної конкретизації основних стратегічних завдань та цілей її розвитку і, в першу чергу, підготовки вчителів фізики [2, 127].

Метою статті є визначення стратегічних завдань розвитку сучасної фізичної освіти в системі підготовки майбутніх учителів.

Виклад основного матеріалу. Для конкретизації зазначеної мети, доречно вважати необхідним постановку й розв'язання таких стратегічних завдань:

1. *Суттєво скоригувати спрямованість освітнього фізичного процесу на піднесення ролі студента від суб'єкта навчання до пріоритетного суб'єкта навчального процесу.*

Світ уступив у період, коли зміна ідей, технологій, знань відбувається швидше, ніж зміна поколінь людей. Очевидним є той факт, що навчити людину раз і на все життя не можна. Отже, сьогодні навчальний процес взагалі, і з фізики зокрема, не може бути зорієнтованим лише на засвоєння студентом певної суми знань з фізики. Звичайно, така функція навчального процесу – передача певної суми базових знань – залишається, але, окрім неї, перед викладачами постає завдання: навчити студента самостійно вчитися, опановувати нову інформацію, виробити в нього життєво важливі компетенції.

Тут вартою уваги є проблема діяльності викладача фізики вищого навчального закладу.

Актуальним, на нашу думку, у цьому аспекті є відповідна модернізація самої сутності діяльності викладачів фізики вищих навчальних закладів. З огляду на зазначені нами раніше орієнтири та напрямки розвитку української освіти в аспекті вступу України до Європейського Союзу можна стверджувати, що на даному етапі розвитку фізичної освіти в Україні актуальними стають питання, пов'язані саме з переосмисленням цілей і завдань, змісту, форм, методів і засобів діяльності викладача фізики вищого навчального закладу. Така діяльність повинна розкривати сучасний рівень розвитку суспільства, мати прогнозувальний характер, забезпечувати більш високу ефективність при підготовці у ВНЗ фахівців нефізичного профілю. Крім того, з огляду на поставлене завдання, можна стверджувати, що діяльність сучасного викладача фізики (з перспективою на майбутнє) повинна бути зорієнтована таким чином, щоб на сучасному рівні досягнень науки та культури забезпечити ефективний розвиток у студентів

необхідних умінь та психічних навичок до самоосвіти, переорієнтації, переосмислення та критичного аналізу інформації будь-якого обсягу, глибини та якості. А це, у свою чергу, вимагає від викладача необхідного рівня компетентності не тільки в галузі фізичної науки, але і в загальнонауковому аспекті. Йому необхідно бути не просто передавачем знань, а носієм загальнолюдської культури, що вимагає відповідної переорієнтації методичної діяльності викладача.

2. Модернізація освітянської діяльності в галузі фізики.

Глобалізація наших уявлень про світ, оволодіння людиною його інформаційною багатоманітністю зумовлюють уходження людини в незрівнянно складнішу й масштабнішу систему взаємостосунків, що суттєво ускладнює життєву її поведінку. Тому освіта повинна готувати розвинену, самодостатню, креативну особистість, яка керувалася б у житті не страхом, а власними переконаннями й самостійним свідомим аналізом. Ось чому здійснюється перехід від авторитарної педагогіки до педагогіки толерантності, де навчання та виховання здійснювалися б з урахуванням природних здібностей і психологічних особливостей кожної особистості. Без формування самодостатньої особистості неможливе ні стабільне демократичне суспільство, ні ефективна ринкова економіка, яка вимагає дієвого, активного відповідального громадянина.

У зв'язку з цим постають питання про надання педагогічним працівникам (і майбутнім, і вже з певним багажем педагогічного досвіду) інформації, орієнтирів до найбільш дієвих та ефективних освітніх технологій. Одним із напрямків розв'язання цієї проблеми є створення в педагогічних вищих навчальних закладах спеціалізованих курсів з освітніх технологій. Яскравим прикладом зазначеного може бути курс «Освітні технології», розроблений колективом авторів за редакцією О.М. Пехоти [4]. На жаль, такі курси в Україні поки що не набули достатнього поширення.

Тут необхідно наголосити, що в контексті вступу України до Болонського процесу стають актуальними дослідження в галузі особистісно орієнтовних технологій, адже основною рисою сучасності є перехід до особистісно орієнтованої освіти. Особистість студента в таких освітніх технологіях – це не просто суб'єкт, а пріоритетний суб'єкт; саме особистість майбутнього фахівця визначається метою освітньої системи.

У зв'язку з цим дещо змінюється перелік «навчальних інструментів», яким може користуватися сучасний викладач у процесі навчальної діяльності: при виборі методів, способів і засобів навчання він у своїй діяльності повинен спиратися на принципи особистісного підходу в навчанні, використовувати саме особистісно орієнтовані технології. У цій статті варто акцентувати увагу на модульно-рейтинговій технології, запровадження якої сьогодні відбувається у багатьох вищих навчальних закладах й актуальність якої пов'язана саме із новими орієнтирами фізичної освіти в аспекті вступу України до Євросоюзу.

3. *Переведення матеріально-технічної бази навчального фізичного процесу на сучасний рівень.*

Якщо проаналізувати завдання, які стоять сьогодні перед дидактикою фізики вища школи [2, 177], то можна побачити, що одне з першочергових завдань – це створення нових засобів навчання, нового обладнання, які відповідали б сучасним досягненням науково-технічного прогресу, давали б змогу готувати перспективних фахівців, котрі мали б попит не тільки на вітчизняному ринку праці, але й на світовому. Актуальність цього питання зумовлена рядом причин: динамічними змінами в суспільстві, гіперінформативністю сучасних навчальних курсів, необхідністю забезпечення високонаукових умов для самоосвіти студентів тощо. Якщо говорити конкретно про фізику, то на сучасному рівні розвитку фізичної освітньої галузі помічаються не тільки значне зростання навчальної інформації, але й досить суттєве поглиблення її змісту, розширення й ускладнення понятійного та математичного апарату. Досить часто виявляється, що низький рівень засвоєння навчального матеріалу студентами зумовлений тим, що вони не в змозі перейти від великої кількості абстрактних понять і формул до конкретної сторони явища. Саме тут в нагоді можуть стати новітні засоби навчання нового покоління – комп'ютерні та мультимедійні технології, які розширюють можливості викладача при демонструванні, поясненні та моделюванні явищ, процесів тощо. Отже, важливим стає питання створення новітнього фізичного кабінету, який містить обладнання, що відтворює сучасні досягнення науки, техніки й технології.

Тому на сьогоденному етапі реформування фізичної освіти перед викладачами фізики, крім загальноприйнятих освітніх та виховних завдань, постають ще й такі: підбір ефективних систем навчального експерименту; постійне оновлення навчально-дидактичної бази кабінету (лабораторії) з фізики з урахуванням останніх досягнень науки й техніки; створення спеціальної системи необхідних засобів навчання, дидактичної апробації новостворених засобів навчання та спеціальних систем для критичної оцінки їхньої дії.

4. *Здійснення мовного прориву у фізичній світі.*

Тут, на нашу думку, варто виділити два такі напрямки. *Перший* полягає у забезпеченні знання державної мови, а відповідно досконале володіння понятійним апаратом з фізики державною мовою. Проблема тут чимала й зумовлена вона, передусім, відсутністю україномовного середовища. *Другий напрямок* зумовлений тим, що в сучасному глобалізованому світі людина не може діяти максимально ефективно, не може підтримувати свої професійної компетентності без можливості широкого спілкування зі світом. Тому поряд з ґрунтовним вивченням української, рідної мови, у фізичній освіті вкрай необхідно робити кроки щодо забезпечення вивчення іноземних мов, зокрема вивчення загальнонаукового апарату та понятійного апарату з фізики англійською мовою.

Як ми вже зазначали, одне з важливих завдань сучасної української освітньої галузі – приєднання до Болонського процесу. Отже, приєднання до

Болонського процесу та й безпосередні внутрішні інтереси потребують суттєвого збільшення ролі університетської науки саме в цьому аспекті. Крім того, зростає роль міжнародних університетів. Разом з тим зазначимо, що міжнародні університети існували давно, і сама ідея міжнародного обміну педагогічним досвідом не є новою. Але сам факт підписання Болонської декларації – це фактично спроба домовитися виробити міжуніверситетські «правила гри», які дали б змогу, безперешкодно приїздити до іншого університету для навчання (роботи) і разом з тим повернутися до рідного університету для завершення навчання (роботи) [1,6]. Звичайно, і в цьому напрямку в Україні проводиться робота на належному рівні, і спрямована вона на створення всіх передумов для реалізації базових положень Болонської декларації. Що передбачається цими положеннями? Насамперед – це уніфіковані спеціальності, у тому числі й фізичні. Інша обов'язкова умова – це оволодіння іноземною мовою. Отже, як бачимо, знання іноземної мови – це своєрідний виклик часу, котрий накладає своєрідний відбиток на діяльність сучасного викладача фізики вищої школи. Оскільки у вітчизняних університетах вивчається «розмовна» іноземна мова, стає необхідністю самостійне (у переважній більшості) оволодіння спеціалізованим мовним апаратом.

Висновки. Отже, узагальнюючи все сказане, слід зазначити, що на сучасному етапі розвитку суспільства відбуваються принципові зміни як у системі всеукраїнської освіти, так і в системі фізичної освіти зокрема. Ці зміни зумовлені головним чином вступом України до Європейського Союзу та підписанням нею Болонської конвенції. У зв'язку з цим актуальними стають питання модернізації цілей, завдань, змісту, форм, методів і засобів діяльності викладача фізики вищої школи. Адже саме від ефективності цієї діяльності, її змістовної наповненості, різноманітності, рівня науковості та методичної і дидактичної глибини залежить і рівень професійної компетентності випускників вищих навчальних закладів, а отже, і місце України в світовому освітньому просторі, її авторитет і визнання як вільної демократичної держави, яка має майбутнє.

Література

1. Бех П. КНУ ім.Тараса Шевченка – традиції і сьогодення // Сучасна освіта. – 2007. – №11-12 (24). – С. 6-7.
2. Валова О., Величко С. Створення засобів навчання нового покоління: проблеми та здобутки // Наукові записки. – Серія: педагогічні науки. – Вип. 55. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2008. – С. 175-180.
3. Вища освіти України і Болонський процес: Навчальний посібник / За ред. В.Г. Кременя. Авторський колектив: М.Ф. Степко, Я.Я. Болюбаш, В.Д. Шинкарук, В.В. Грубіянко, І.І. Бабин. – К.: Освіта, 2004. – 384 с.
4. Освітні технології: Навч.-метод.посіб. / О.М. Пехота, А.З. Кіктенко, О.М. Любарська та ін.; За ред. О. М. Пехоти. – К.: А. С. К., 2006. – 256 с.

Анотація. Іваній В.С., Іваній Н.В., Мороз І.О. Особливості діяльності викладача фізики вищої школи в умовах реалізації ідей Болонської конвенції. У статті розглядаються актуальні питання методики викладання фізики, що пов'язані зі вступом України до Болонського процесу. Увага звертається на деякі аспекти діяльності викладача фізики вищого педагогічного навчального закладу в системі підготовки майбутнього вчителя.

Ключові слова. Фізика, викладач, студент, вищий педагогічний заклад.

Аннотация. Иваний В.С., Иваний Н.В., Мороз И.О. Особенности деятельности преподавателя физики высшей школы в условиях реализации идей Болонской конвенции. В статье рассматриваются актуальные вопросы методики преподавания физики, которые связаны со вступлением Украины в Болонский процесс. Внимание обращается на некоторые аспекты деятельности преподавателя физики высшего педагогического учебного заведения в системе подготовки будущего учителя.

Ключевые слова. Физика, преподаватель, студент, высшее педагогическое учреждение.

Summary. Ivaniy W., Ivaniy N., Moroz I. At this work actual questions method of physics, that connected with entry of Ukraine to process of Bolonya. The pressing questions of teaching method of physics, which are related to entering process are examined Ukraine into Bolonya. Are under review attention to some aspects of action teachers of physics higher educational establishment are turned to.

Keywords. Physics, teacher, student, higher pedagogical educational establishment.

УДК: 539.21

В.О. Кравченко, В.Б. Лобода*Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка***ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ПЛІВКОВИХ СПЛАВІВ CoNi**

В останні роки значна увага приділяється вивченню тонких магнітних плівок, що обумовлено їх унікальними властивостями та новими можливостями їх застосування. Вивчення фізичних властивостей тонких магнітних плівок є комплексною проблемою, яка передбачає створення матеріалів із заданою мікроструктурою, встановлення взаємозв'язку між структурою та властивостями і як наслідок – створення плівкових матеріалів з властивостями, які задовольняють вимоги сучасного рівня розвитку техніки та технології. Зростання інтересу до вивчення таких об'єктів обумовлене також відкриттям явища гігантського магнітоопору в просторово-модульованих системах, зокрема, в багатошарових плівкових структурах, що складаються із по чергово нанесених шарів феромагнітних і немагнітних матеріалів, та його застосуванням для розробки магнітних зчитуючих голівок, магнітних сенсорів, магніторезистивної пам'яті.

Поряд зі створенням плівок чистих металів перспективним напрямком є одержання систем на основі сплавів. Перевага сплавів перед чистими металами полягає у тому, що зміною складу можна одержати матеріали з покращеними фізико-хімічними, механічними та експлуатаційними властивостями. Однак проблема розробки технології одержання плівкових сплавів заданого складу, структури та із необхідними властивостями на сьогодні вирішена не повністю.

З літератури [1, 2] відомо, що для одержання тонких плівок сплавів застосовуються 2 основні групи методів: 1) формування багатокомпонентних плівок на підкладці (розпилення окремих компонентів; відпалювання багатошарових структур з дифузійним перемішуванням); 2) використання масивних сплавів наперед заданого складу (випаровування скінченних наважок; вибухове випаровування; випаровування в стаціонарних умовах).

Друга група методів є достатньо перспективною з точки зору практичного застосування завдяки відносній простоті. Однак при цьому властивості плівок можуть змінюватись внаслідок фракціонування при випаровуванні та зміни хімічного та фазового складу одержаного плівкового сплаву порівняно з вихідним.

В роботі представлені результати дослідження елементного складу плівкових сплавів CoNi, одержаних шляхом випаровування масивних наважок відомого складу.

Для конденсації тонких плівок сплавів нами використовувалася стандартна вакуумна установка ВУП-5М виробництва Сумського ВАТ "Selmi" (граничний вакуум 10^{-5} Па; тиск залишкової атмосфери у процесі отримання зразків складав 10^{-3} - 10^{-4} Па). Вихідним матеріалом для плівкових сплавів виступали підготовлені

масивні наважки відповідного складу. Для приготування сплавів системи CoNi використовувалися чисті метали (не гірше 99,9%). Концентрація компонент змінювалася за рахунок зміни масових співвідношень металів (відносна похибка визначення маси не гірша за 5%). Наважки виготовлялися методом плавлення вихідних матеріалів в керамічному тиглі в умовах високого вакууму з витримкою протягом 1 год при температурі, близькій до температури плавлення для гомогенізації. Втрата маси при цьому не перевищувала 1-2%.

Згідно з даними фазової діаграми (рис.1, [3]), для сплавів CoNi при температурах, близьких до температури плавлення, та в рідкому стані у всій області концентрацій спостерігається повна взаємна розчинність компонент. При цьому лінії ліквідуса та солідуса співпадають, що виключає можливість фракціонування сплаву при плавленні. В загальному випадку при випаровуванні бінарних сплавів склад плівки відрізняється від складу вихідного матеріалу внаслідок того, що один з компонентів може мати більшу швидкість випаровування. Швидкість випаровування матеріалу при температурі T визначається формулою [1]:

$$v = kp\sqrt{\frac{M}{T}} = A_1 p, \quad (3.1)$$

де k – стала;

p – тиск пари;

M – молекулярна маса речовини;

T – температура випаровування.

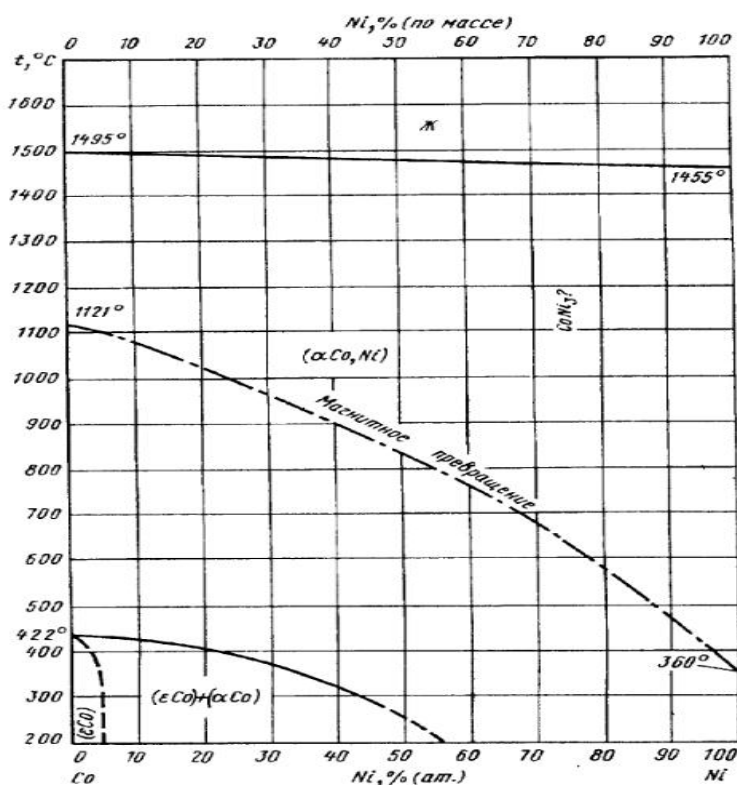


Рис. 1. Фазова діаграма сплаву CoNi в масивному стані [3]

При випаровуванні сплавів у вакуумі тиск пари кожної з компонент над розплавом визначається складом сплаву і відрізняється від значень для чистих компонент. У найпростішому випадку тиск пари компоненти А при наявності компоненти В визначається законом Рауля:

$$\frac{p_A - p_{AB}}{p_A} = C_B, \quad (3.2)$$

де C_B – атомна доля компоненти В.

У роботі [1] запропоновано метод розрахунку фракціонування бінарних систем при випаровуванні скінченних наважок. Нехай в початковий момент часу у випарнику міститься бінарний сплав з масовим вмістом компонент m_{01} та m_{02} . За час dt з врахуванням виразу для швидкості випаровування (1) зменшення маси кожної з компонент складає:

$$dm_A = -kp_{0A} f_A \sqrt{\frac{\mu_A}{T}} C_A(t) dt, \quad (3.3)$$

$$dm_B = -kp_{0B} f_B \sqrt{\frac{\mu_B}{T}} C_B(t) dt, \quad (3.4)$$

де k – стала, яка залежить від вибору системи одиниць;

p_{0A}, p_{0B} – тиск насиченої пари чистих компонент А та В сплаву при температурі T ;

f_A, f_B – коефіцієнти активності компонент:

$$f_A = \frac{\alpha_A}{C_A}, \quad (3.5)$$

де $\alpha_A = \frac{p_{AB}}{p_A}$ – активність компоненти А (аналогічно для компоненти В);

$C_A(t), C_B(t)$ – атомні долі компонент;

μ_A, μ_B – їх молярні маси.

У разі виконання закону Рауля (ідеальні розплави) маємо:

$$1 - \frac{p_{AB}}{p_A} = C_B,$$

$$\alpha_A = \frac{p_{AB}}{p_A} = 1 - C_B = C_A, \quad (3.6)$$

звідки $f_A = f_B = 1$.

Згідно з даними [4], однакові тиски насиченої пари для Со та Ні досягаються при близьких температурах (наприклад, $p_{Co} = 1,33$ Па при $T = 1790$ К, p_{Ni} має таке ж значення при $T = 1800$ К; подібна ситуація має місце і для більших величин тисків), тому можна прийняти $p_A = p_B$. Крім того, молярні маси Со і Ні близькі ($\mu_{Co} = 58,9$ г/моль, $\mu_{Ni} = 58,7$ г/моль), а, отже, для масових долей Со і Ні одержуємо співвідношення:

$$c_{Co} = \frac{C_{Co} \mu_{Co}}{C_{Co} (\mu_{Co} - \mu_{Ni}) + \mu_{Ni}} = \frac{58,9}{C_{Co} (58,9 - 58,7) + 58,7} C_{Co} = \frac{58,9}{58,7 + 0,2 C_{Co}} C_{Co} \approx C_{Co}.$$

Тоді

$$kp_{0A} f_A \sqrt{\frac{\mu_A}{T}} \approx kp_{0B} f_B \sqrt{\frac{\mu_B}{T}}.$$

В результаті масова доля Co в одержаному сплаві становить

$$c'_{Co} = \frac{dm_{Co}}{dm_{Co} + dm_{Ni}} = \frac{C_{Co}}{C_{Co} + C_{Ni}} = C_{Co} = c_{Co}. \quad (3.7)$$

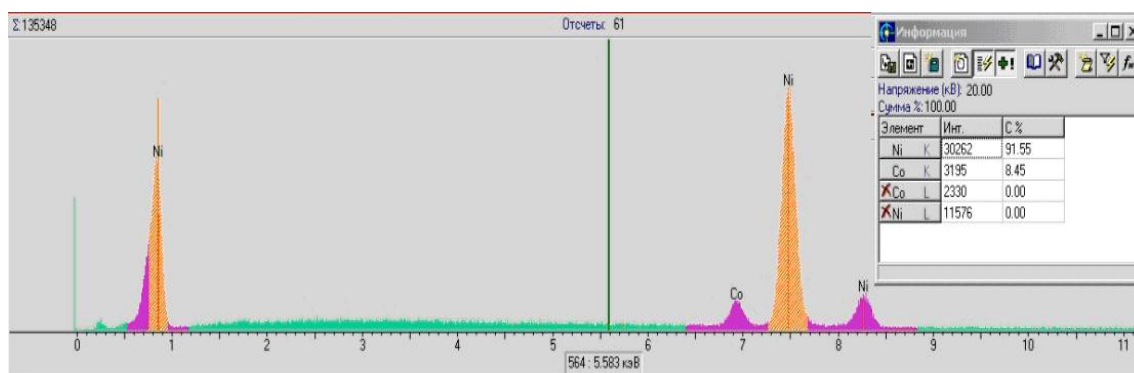
Таким чином, за умови виконання закону Рауля концентрація компонент у плівковому сплаві CoNi повинна бути такою ж, як і в масивному зразку, а плівки повинні бути гомогенними за хімічним складом.

Для перевірки викладених вище міркувань (щодо відповідності складу плівкових сплавів CoNi складу наважок) нами були проведені дослідження складу наважок і плівок методом рентгенівського мікроаналізу з використанням рентгенівського мікроаналізатора з дисперсією за енергіями (ЕДС). На рис. 2 приведено спектри характеристичного рентгенівського випромінювання для масивних наважок сплаву CoNi різного складу. Як видно з результатів комп'ютерної обробки цих спектрів (табл. 1), склад приготованих сплавів (наважок) у межах похибки вимірювань відповідає їх розрахунковому складу при їх приготуванні.

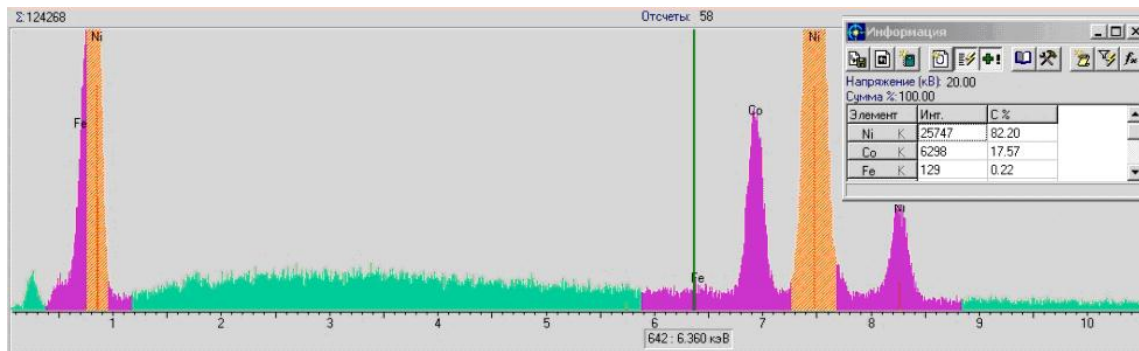
Таблиця 1.

Хімічний склад вихідних наважок сплаву CoNi та відповідних плівкових сплавів CoNi за даними мікрорентгеноспектрального аналізу

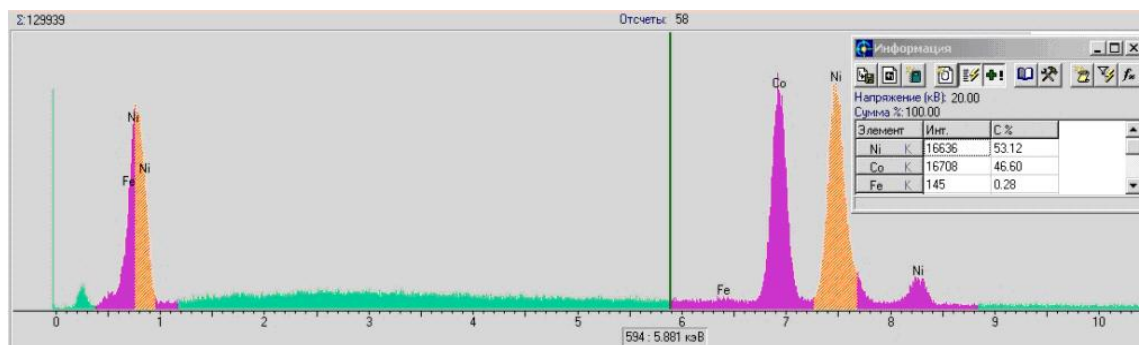
Розрахунковий вміст Co у наважках, мас. %	Вміст елементів у наважках за результатами мікроаналізу, мас. %		Вміст елементів у плівковому сплаві, мас. %			
			Розрахунок за допомогою програми (врахування поправок)		Розрахунок без врахування поправок	
	Co	Ni	Co	Ni	Co	Ni
10	8,5	91,6	—	—	—	—
20	17,7	82,3	19,8	80,2	17,8	82,2
40	42,3	57,7	33,1	66,9	36,2	63,8
50	46,7	53,3	40,5	59,5	42,7	57,3
90	87,1	12,9	86,4	13,6	88,0	12,0



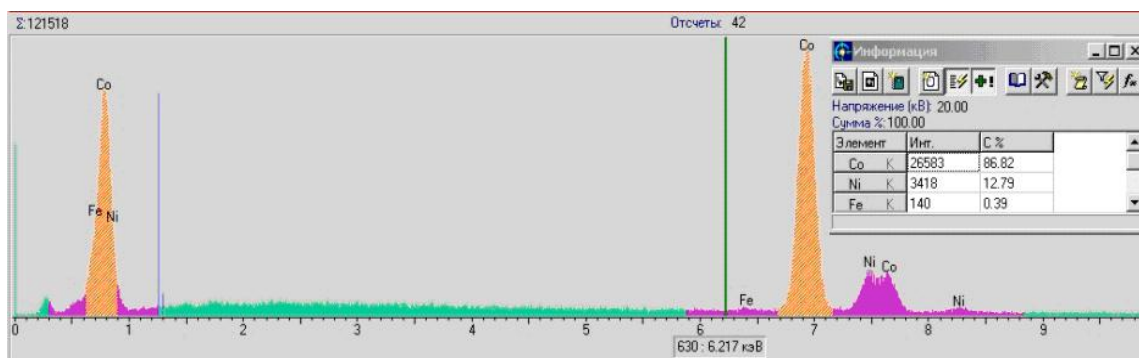
2а



26



2в

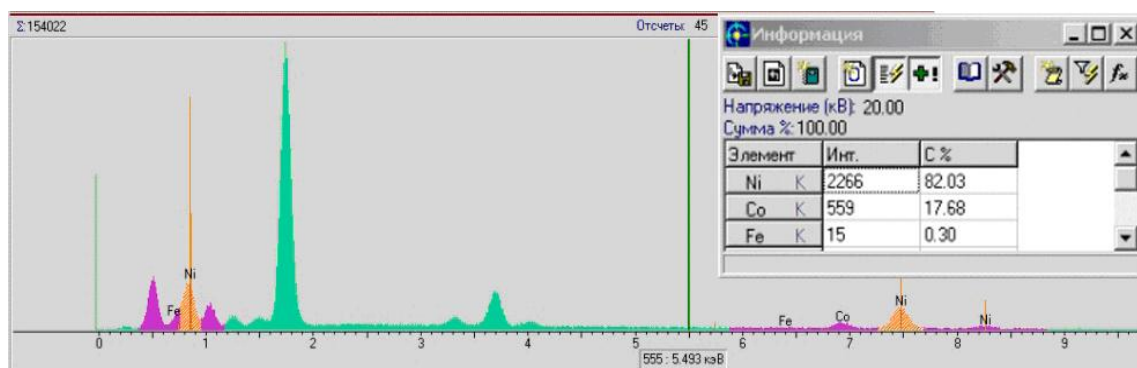


2г

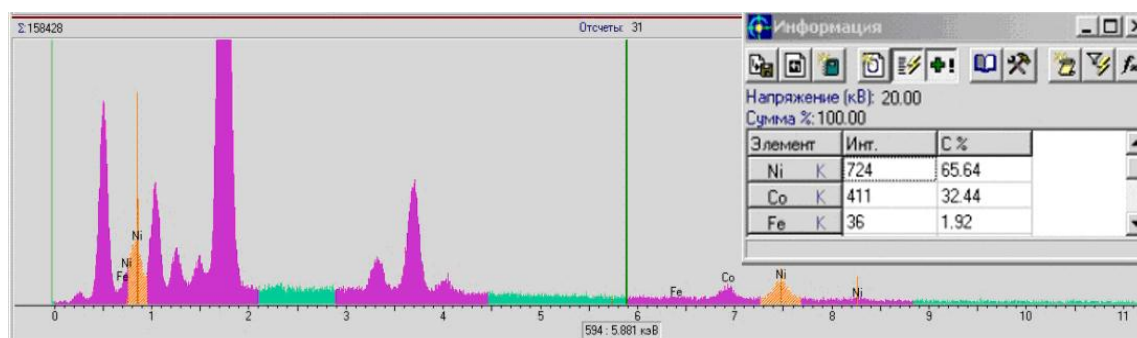
**Рис. 2. Характеристичні рентгенівські спектри від вихідних наважок сплаву CoNi.
Вміст Co, мас. %: а – 10 %; б – 20 %; в – 50 %; г – 90 %**

Аналогічні дослідження плівкових сплавів (рис. 3, табл. 1) вказують на те, що припущення про ідентичність складу плівок і складу масивних вихідних наважок в цілому підтверджується. В табл. 1 приведено дані, що дозволяють провести порівняння складу масивних та плівкових сплавів. Для плівок також спостерігається досить добре співпадання розрахункового та визначеного рентгенівським мікроаналізом хімічного складу. Слід, однак, зауважити, що при дослідженні плівок інтенсивність рентгенівського випромінювання набагато (в 10-20 разів) менша, ніж для масивних матеріалів, внаслідок малої маси речовини в досліджуваній області. Очевидно, що за таких умов можливі значні статистичні відхилення істинних концентрацій компонент у порівнянні з даними, одержаними з використанням комп'ютерного забезпечення до мікроаналізатора. Крім того, програмне забезпечення мікроаналізатора при одержанні кінцевого результату

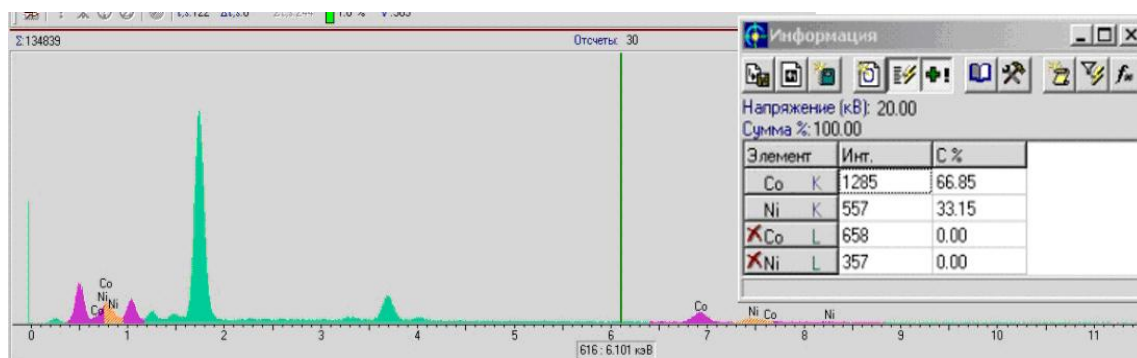
враховує поправки, зумовлені рядом ефектів, таких як поглинання рентгенівського випромінювання в товщі зразка, величина атомного номеру елемента та вторинна флюоресценція. Ці ефекти мають місце для масивних зразків, однак у випадку наших плівок ними можна знехтувати [5] внаслідок малої кількості атомів у товщі плівки в області, з якої відбувається генерація рентгенівського випромінювання. Внаслідок цього більш коректно при розрахунку складу плівкового сплаву використовувати відношення вимірених за допомогою ЕДС інтенсивностей ліній характеристичного випромінювання, одержаних від плівкових зразків без врахування поправок, обумовлених вказаними ефектами).



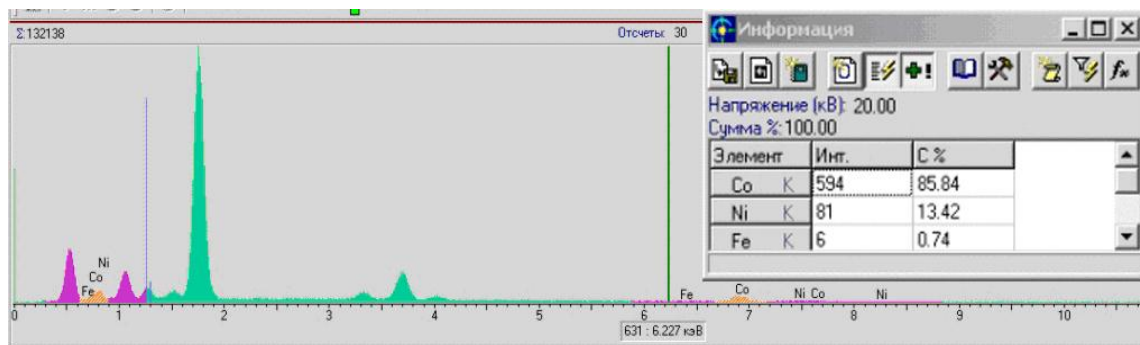
3а



3б



3в



Зг

Рис. 3. Характеристичні рентгенівські спектри від плівкових сплавів CoNi.

Вміст Co, мас. %: а – 20 %; б – 40 %; в – 70 %; г – 90 %

Ці міркування непогано підтверджуються даними, наведеними в табл. 1. Порівнюючи результати мікроаналізу масивних наважок (другий стовпчик таблиці) і плівок (третій та четвертий стовпчики таблиці) бачимо, що розрахунок складу плівок з використанням програмного забезпечення мікроаналізатора дає більші відхилення складу плівок від складу масивних наважок.

Внаслідок незначних відмінностей у довжинах хвиль характеристичних ліній Fe, Co і Ni використання програмного забезпечення мікроаналізатора при аналізі спектру приводило до появи в складі зразків CoNi і як можливого елемента Fe з невеликою концентрацією. Однак інтенсивність ліній характеристичного рентгенівського випромінювання Fe практично знаходиться на рівні фону, що суттєво менше за інтенсивність характеристичного випромінювання основних елементів (Co і Ni). У спектрах плівкових зразків спостерігається також ряд ліній характеристичного рентгенівського випромінювання елементів, що входять до складу підкладки – скла (частина ліній у лівій половині спектрів, рис. 3). При розрахунку складу зразків вони не враховувалися і приведені в таблиці 1 дані для плівок обчислені з урахуванням цих зауважень.

Проведені дослідження показали, що запропонована технологія одержання плівкових сплавів CoNi (використання наважок відомого складу) дозволяє одержувати плівки цих сплавів з наперед заданим вмістом компонент.

Література

1. Костржицкий А.И. Лебединский Многокомпонентные вакуумные покрытия / А.И. Костржицкий, О.В. Лебединский. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
2. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / Костржицкий А.И., Карпов В.Ф., Кабанченко М.П., Соловьева О.Н. – М.: Машиностроение, 1991. – 176 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник: в 3 т. / [под ред. Н.П. Лякишева]. – М.: Машиностроение, 1996 – Т.2. – 1997. – 1024 с.
4. Технология тонких пленок: справочник: в 2 т. / [под ред. Л. Майссела, Р. Гленга]. – М.: Сов. Радио, 1977. – Т. 2. – 768 с.

5. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / [Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин и др.]; пер. с англ. – Москва: Мир, 1984. – Т.1. – 303 с.

Анотація. Кравченко В.О., Лобода В.Б. Дослідження елементного складу плівкових сплавів CoNi. В роботі розглянуто результати дослідження елементного складу плівкових сплавів CoNi, одержаних методом електронно-променевої конденсації у вакуумі з масивних наважок відомого складу. Розрахунок показує, що хімічний склад плівкових сплавів даної системи повинен відповідати складу вихідного матеріалу. Дослідження масивних наважок та одержаних плівок підтверджує цей висновок, а запропонована методика може бути застосована для одержання плівкових сплавів заданої концентрації.

Ключові слова. Тонкі плівки сплавів, електронно-променево випаровування, елементний склад.

Аннотация. Кравченко В.А., Лобода В.Б. Исследование элементного состава пленочных сплавов CoNi. В работе рассмотрены результаты исследования элементного состава пленочных сплавов CoNi, полученных методом электронно-лучевой конденсации в вакууме из массивных навесок известного состава. Расчет показывает, что химический состав пленочных сплавов данной системы должен соответствовать составу исходного материала. Исследования массивных навесок и полученных пленок подтверждает этот вывод, а предложенная методика может быть использована для получения пленочных сплавов заданной концентрации.

Ключевые слова. Тонкие пленки сплавов, электронно-лучевое испарение, элементный состав.

Summary. Kravchenko V., Loboda V. Study of element composition of films alloys CoNi. In this paper the results of a study of the elemental composition of thin-film alloys CoNi, obtained by electron-beam vacuum condensation of massive portions of known composition. The calculation shows that the chemical composition of thin-film alloys of this system must match the composition of the source material. Studies of massive portions and the films confirms this conclusion, and the proposed technique can be used to produce thin-film alloys of a given concentration.

Keywords. Thin film alloys, electron beam evaporation, the elemental composition.

УДК 58:427.12(057.4)

І.О. Мороз, В.С. Іваній, Р.І. Холодов*Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка,
Інститут прикладної фізики НАН України***ОСОБЛИВОСТІ РОЗГЛЯДУ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ
В КУРСІ ФІЗИКИ**

Постановка проблеми та аналіз досліджень. Питання про міру руху було одним із основних на початку розвитку фізики як науки. Протягом багатьох десятиліть не втихала суперечка між сучасником Ньютона – німецьким філософом та математиком Лейбніцом і картезіанцями – прихильниками французького вченого Рене Декарта, яка почалася ще наприкінці XVII століття. У суперечку було втягнуто багато найвидатніших представників науки того часу. Треба було відповісти на питання про те, що слід вважати мірою руху: декартову міру – кількість руху (імпульс) або «живу силу» Лейбніца (за сучасними уявленнями – енергію). Суперечка була розв'язана по суті лише у середині XIX століття, після відкриття закону збереження енергії. Врешті-решт, виявилось, що обидві міри руху – і кількість руху (імпульс), і «жива сила» (енергія) однаково важливі. Вони одночасно виступають характеристиками даної форми руху. І для тієї, і для іншої міри руху існує універсальний закон збереження.

Метою статті є розгляд закону збереження імпульсу з класичних та релятивістських позицій.

Виклад основного матеріалу. Закон збереження імпульсу в класичній фізиці

Розглянемо вільну механічну систему N тіл, які можна розглядати як матеріальні точки (частинки). Нехай у такій системі тіла взаємодіють як між собою, так і з тілами, що не входять в систему, тобто в системі діють внутрішні та зовнішні сили.

Виходячи з загального вигляду рівняння руху

$$\frac{d}{dt} m \vec{v} = \vec{F}, \quad (1)$$

Запишемо рівняння руху a -тої частинки системи:

$$\frac{d}{dt} m_a \vec{v}_a = \vec{F}_a^{ext} + \sum_{j=1, j \neq a}^N \vec{F}_{ja}^{int}, \quad a = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

де $\vec{F}_{ja}^{int}$ – сила, що діє з боку j -тої частинки на вибрану a -тую, $\vec{F}_a^{ext}$ – результуюча зовнішня сила, що діє на a -ту частинку і підсумуємо цей вираз за всіма матеріальними точками системи:

$$\frac{d}{dt} \sum_{a=1}^N m_a \vec{v}_a = \sum_{a=1}^N \vec{F}_a^{ext} + \sum_{a=1}^N \sum_{j=1, j \neq a}^N \vec{F}_{ja}^{int}. \quad (3)$$

Врахуємо III закон Ньютона $\sum_{a=1}^N \sum_{j=1, j \neq a}^N \vec{F}_{ja}^{int} = 0$.

У результаті в рівнянні руху (3) залишаються лише зовнішні сили.

Введемо означення *головного вектора зовнішніх сил* $\vec{F}$, що діють на всю систему, а також повного імпульсу $\vec{P}$ цієї системи:

$$\vec{F} = \sum_{a=1}^N \vec{F}_a^{ext}, \quad \vec{P} = \sum_{a=1}^N \vec{p}_a = \sum_{a=1}^N m_a \vec{v}_a, \quad (4)$$

тоді рівняння (3) набуває вигляду:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F} \quad \text{або} \quad d\vec{P} = \vec{F} dt. \quad (5)$$

Якщо головний вектор зовнішніх сил дорівнює нулю, або механічна система замкнута, тобто відсутні зовнішні сили $\vec{F} = 0$,

$$\vec{P}(t_2) - \vec{P}(t_1) = 0 \Rightarrow \vec{P} = \sum_{a=1}^N \vec{p}_a = \text{const} \quad (6)$$

Закон збереження імпульсу є наслідком однорідності простору, тому що III закон Ньютона випливає із однорідності простору. Дійсно, через однорідність простору не повинно бути зміни потенціальній енергії при паралельному перенесенні системи. Нехай паралельне перенесення задається наступним перетворенням радіус-вектора для кожної частинки механічної системи: $\vec{r}_a \rightarrow \vec{r}'_a = \vec{r}_a + \delta\vec{r}$. Тоді при малому $\delta\vec{r}$ сумарну потенціальну енергію всієї системи можна розкласти у ряд Тейлора і обмежитися двома першими доданками:

$$\sum_a U(\vec{r}_a + \delta\vec{r}) = \sum_a U(\vec{r}_a) + \sum_a \delta\vec{r} \frac{\partial U(\vec{r}_a)}{\partial \vec{r}}.$$

У результаті зміну потенціальній енергії одержимо у вигляді:

$$\Delta U = \sum_a U(\vec{r}_a + \delta\vec{r}) - \sum_a U(\vec{r}_a) = \sum_a \delta\vec{r} \frac{\partial U(\vec{r}_a)}{\partial \vec{r}}. \quad (7)$$

Враховуючи однорідність простору ця величина повинна бути рівною нулю. Через довільність малої величини $\delta\vec{r}$, маємо: $\sum_a \frac{\partial U(\vec{r}_a)}{\partial \vec{r}} = 0$.

І оскільки вираз $\frac{\partial U(\vec{r}_a)}{\partial \vec{r}}$ має зміст результуючої сили, що діє на a -ту частинку з боку інших частинок, то останній вираз є III законом Ньютона.

Закон збереження імпульсу в релятивістській механіці

Тепер звернемося до випадку руху тіл з великими швидкостями - близькими до швидкості світла. Як буде показано нижче, для замкнутої механічної системи, що складається із релятивістських частинок, закон збереження ньютонівського імпульсу не виконується. Виникає альтернатива: відмовитися від ньютонівського визначення імпульсу, або від закону збереження

цієї величини. Враховуючи величезну роль, яку відіграють закони збереження, в теорії відносності за фундаментальний приймають саме закон збереження імпульсу і вже звідси знаходять вираз для самого імпульсу.

Покажемо, перш за все, що дві вимоги: а) закон збереження імпульсу повинен виконуватися в будь-якій інерціальній системі відліку; б) перетворення швидкостей при переході від однієї інерціальної системи до іншої визначається за релятивістським законом Лоренца, приводять до висновку, що імпульс частинки повинен залежати від її швидкості не лінійно (на відміну від ньютонівської механіки).

Розглянемо пружне зіткнення двох частинок. При цьому систему будемо вважати замкненою. Потрібно знайти такий вираз для імпульсу частинок p , щоб він приймав вигляд $\vec{p} = m\vec{v}$ при нерелятивістських швидкостях $v \ll c$ і задовольняв закону збереження імпульсу при зіткненнях частинок з довільними швидкостями. Спочатку покажемо на конкретному прикладі, що ньютонівський (нерелятивістський) імпульс $\vec{p} = m\vec{v}$ не зберігається при зіткненнях, у яких беруть участь частинки з релятивістськими швидкостями. На рис. 1 приведена ілюстрація зіткнення між частинками (кулями) з рівними масами. Виберемо таку систему відліку K , щоб частинки зближувалися з рівними за величиною і протилежними за напрямком швидкостями (система центра мас), і нехай при цьому траєкторії руху знаходяться в площині x, y .

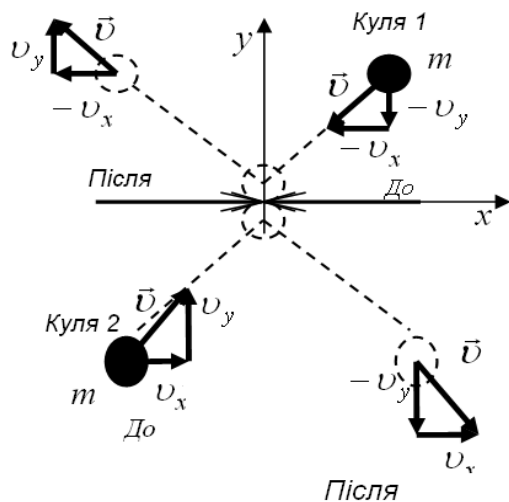


Рис. 1. Зіткнення двох куль з однаковими масами m у площині xy

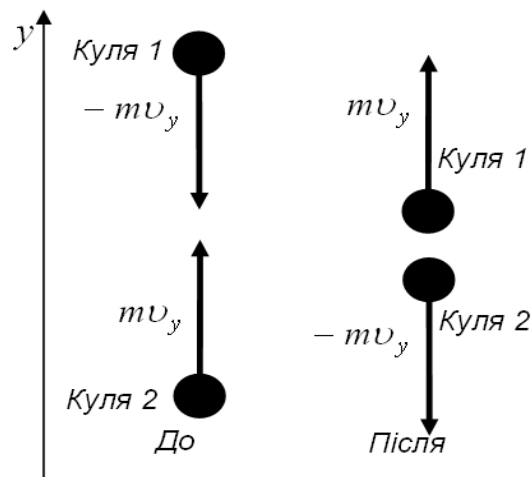


Рис. 2. Проекції імпульсів куль до і після зіткнення в напрямі y

У вибраній системі відліку x -ові компоненти швидкостей частинок не змінюються, а y -ові змінюють знак. У результаті, якщо складова швидкості першої частинки на вісь y в системі відліку K до зіткнення була рівною $(-v_y)$, то після зіткнення вона стає рівною $(+v_y)$ (див. рис.2).

Введемо наступні позначення: $\vec{p}(1_{до})$ – класичний імпульс першої кулі до зіткнення, $\vec{p}(1_{після})$ – класичний імпульс першої кулі після зіткнення, і аналогічні

позначення для імпульсу другої кулі – $\vec{p}(2до)$ і $\vec{p}(2після)$. Компоненти цих імпульсів відповідно є рівними (див. рис.1):

для першої кулі:

$$p_x(1до) = -mv_x, \quad p_y(1до) = -mv_y, \quad (8)$$

$$p_x(1після) = -mv_x, \quad p_y(1після) = -mv_y. \quad (9)$$

Показано проекції швидкостей на напрямки x і y до і після зіткнення для другої кулі:

$$p_x(2до) = mv_x, \quad p_y(2до) = mv_y, \quad (10)$$

$$p_x(2після) = mv_x, \quad p_y(2після) = -mv_y. \quad (11)$$

Приріст складової p_y кулі 1 дорівнює $(+2mv_y)$, а для кулі 2 він дорівнює $(-2mv_y)$, так що повний приріст проекції ньютонівського імпульсу на вісь y дорівнює нулю. Приріст проекції ньютонівського імпульсу на вісь x також дорівнює нулю ($v_x = \text{const}$), внаслідок чого повний класичний імпульс системи двох частинок дорівнює нулю.

Таким чином, ньютонівський вираз для імпульсу $\vec{p} = m\vec{v}$, навіть якщо він, взагалі кажучи, помилковий, не проявляє у даній системі відліку своєї помилковості. Закон збереження цієї величини виконується.

Розглянемо тепер теж саме зіткнення у системі K' , яка рухається із швидкістю $V = v_x$ відносно системи K . Компоненти швидкостей першої і другої кулі в даній системі відліку знайдемо використовуючи релятивістську теорему додавання швидкостей:

Повний імпульс в напрямі y дорівнює нулю

$$v'_x = \frac{v_x - V}{1 - Vv_x/c^2}, \quad v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 - Vv_x/c^2}.$$

З урахуванням того, що $V = v_x$ для компонент швидкостей куль в новій системі відліку маємо наступні вирази. Для першої кулі:

$$v'_x(1до) = \frac{-2v_x}{1 + v_x^2/c^2}, \quad v'_y(1до) = \frac{-v_y \sqrt{1 - v_x^2/c^2}}{1 + v_x^2/c^2}, \quad (12)$$

$$v'_x(1після) = \frac{-2v_x}{1 + v_x^2/c^2}, \quad v'_y(1після) = \frac{v_y \sqrt{1 - v_x^2/c^2}}{1 + v_x^2/c^2}. \quad (13)$$

Для другої кулі:

$$v'_x(2до) = 0, \quad v'_y(2до) = \frac{v_y \sqrt{1 - v_x^2/c^2}}{1 + v_x^2/c^2}, \quad (14)$$

$$v'_x(2після) = 0, \quad v'_y(2після) = \frac{-v_y \sqrt{1 - v_x^2/c^2}}{1 - v_x^2/c^2}. \quad (15)$$

Із цих виразів випливає, що модуль швидкості не змінюється як для першої кулі, так і для другої, тобто картина зіткнення залишається симетричною відносно вісі y' . При цьому друга частинка рухається уздовж вісі y (x компонента швидкості дорівнює нулю). У новій системі K' складові повного класичного імпульсу кожної частинки в напрямі y' до і після зіткнення виявляються неоднаковими (див. рис.3). Дійсно, y -компонента повного класичного імпульсу до зіткнення $P'_y(\text{до})$, згідно з (12) і (14), дорівнює:

$$p'_y(\text{до}) = mv'_y(1\text{до}) + mv'_y(2\text{до}) = 2mv_y \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} \frac{v_x^2/c^2}{1 - v_x^4/c^4},$$

а після зіткнення, згідно з (13) і (15), має вигляд:

$$p'_y(\text{після}) = mv'_y(1) + mv'_y(2) = -2mv_y \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} \frac{v_x^2/c^2}{1 - v_x^4/c^4},$$

тобто відрізняється від попереднього виразу знаком. Має місце зміна сумарної складової класичного імпульсу на вісь y (рис.4).

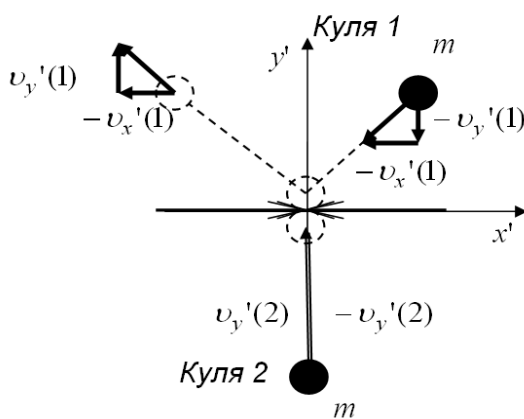


Рис. 3. Зіткнення двох куль відносно системи відліку K'

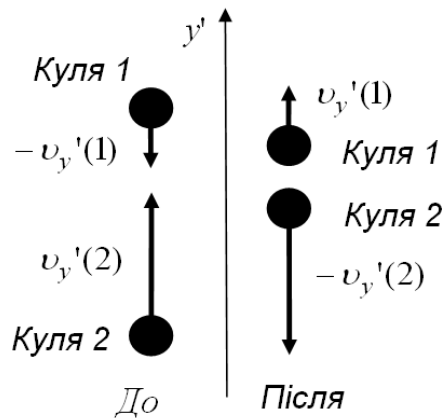


Рис. 4. Проекції імпульсів куль до і після зіткнення у напрямі вісі y в системі K'

Таким чином, у новій системі відліку x -ва компонента імпульсу системи не змінюється, а y -ва змінюється, тобто закон збереження класичного імпульсу не виконується. Ми бачимо, що вираз, у якому імпульс є пропорційним швидкості, не може забезпечити збереження імпульсу у всіх системах відліку. Звідси витікає, що: або збереження імпульсу несумісне з перетворенням Лоренца, або повинно існувати інше визначення імпульсу, згідно з яким збереження імпульсу виконується у всіх системах відліку, які рухаються одна відносно одної з постійними швидкостями.

Будемо шукати вираз для імпульсу, який був би інваріантний відносно перетворень Лоренца. Цей вираз повинен бути таким, щоб складова імпульсу частинки на вісь y не залежала явно від x компоненти швидкості системи відліку. Якщо такий вираз буде знайдений, то збереження y компоненти імпульсу в одній системі відліку забезпечуватиме її збереження і у всіх інших. Ми вже знаємо, що відносно перетворення Лоренца зсув в напрямі y однаковий у всіх системах

відліку. Проте час Δt , що витрачається на проходження відстані Δy залежить від системи відліку і тому складова швидкості теж залежить від вибору системи відліку. Для вимірювання проміжку часу Δt замість лабораторного годинника скористаємось уявним годинником, розташованим на частинці. Останній буде вимірювати власний час частинки $\Delta \tau$. Таким чином, величина $\Delta y / \Delta \tau$ буде однаковою для всіх систем відліку.

Як нам уже відомо, проміжки часу Δt і $\Delta \tau$ пов'язані співвідношенням: $\Delta \tau = \Delta t \sqrt{1 - v^2 / c^2}$, тоді:

$$\frac{\Delta y}{\Delta \tau} = \frac{\Delta y}{\Delta t} \frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{\Delta y}{\Delta t} \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} = \frac{v_y}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}.$$

Із останнього виразу виходить, що у компонента вектора $\vec{v} / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ однакова у всіх інерціальних системах відліку, які рухаються одна відносно одної вздовж осі x . Тому, якщо ми назвемо релятивістським імпульсом вектор

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad (16)$$

то закон збереження його проекції на напрям y виконуватиметься в будь-якій інерціальній системі відліку, що відрізняється від системи зі спостерігачем, який покоїться в ній, лише величиною постійної швидкості u напрямі вісі x . Отже, для визначеного таким чином імпульсу, виконується закон збереження імпульсу.

Перевіримо це на розглянутому вище прикладі зіткнення двох куль, які розглядається відносно двох систем відліку K і K' . Випишемо проекції релятивістських імпульсів куль у системі K' , використовуючи вирази для компонент швидкостей (12)-(15).

Для першої кулі:

$$p'_x(1\partial o) = \frac{-2mv_x}{1 + v_x^2 / c^2} \frac{1}{\sqrt{1 - (\vec{v}'(1\partial o))^2 / c^2}}, \quad (17)$$

$$p'_y(1\partial o) = \frac{-mv_y \sqrt{1 - v_x^2 / c^2}}{1 + v_x^2 / c^2} \frac{1}{\sqrt{1 - (\vec{v}'(1\partial o))^2 / c^2}}, \quad (18)$$

$$p'_x(1\text{ісля}) = \frac{-2mv_x}{1 + v_x^2 / c^2} \frac{1}{\sqrt{1 - (\vec{v}'(1\text{ісля}))^2 / c^2}}, \quad (19)$$

$$p'_y(1\text{ісля}) = \frac{mv_y \sqrt{1 - v_x^2 / c^2}}{1 + v_x^2 / c^2} \frac{1}{\sqrt{1 - (\vec{v}'(1\text{ісля}))^2 / c^2}}, \quad (20)$$

Для другої кулі:

$$p'_x(2\partial o) = 0, \quad p'_y(2\partial o) = \frac{mv_y \sqrt{1 - v_x^2 / c^2}}{1 - v_x^2 / c^2} \frac{1}{\sqrt{1 - (\vec{v}'(2\partial o))^2 / c^2}}, \quad (21)$$

$$p'_x(2\text{після}) = 0, \quad p'_y(2\text{після}) = \frac{-mv_y\sqrt{1-v_x^2/c^2}}{1-v_x^2/c^2} \frac{1}{\sqrt{1-(\vec{v}'(2\text{після}))^2/c^2}}. \quad (22)$$

Квадрати швидкостей куль до і після зіткнення, які визначаються виразом $v_x^2 + v_y^2$ у випадку руху в площині x, y , відповідно дорівнюють:

для першої кулі

$$(\vec{v}'(1\text{до}))^2 = \left(\frac{-2v_x}{1+v_x^2/c^2} \right)^2 + \left(\frac{-v_y\sqrt{1-v_x^2/c^2}}{1+v_x^2/c^2} \right)^2 = \frac{4v_x^2 + v_y^2(1-v_x^2/c^2)}{(1+v_x^2/c^2)^2},$$

$$(\vec{v}'(1\text{після}))^2 = \left(\frac{-2v_x}{1+v_x^2/c^2} \right)^2 + \left(\frac{v_y\sqrt{1-v_x^2/c^2}}{1+v_x^2/c^2} \right)^2 = \frac{4v_x^2 + v_y^2(1-v_x^2/c^2)}{(1+v_x^2/c^2)^2};$$

для другої кулі

$$(\vec{v}'(2\text{до}))^2 = 0 + \left(\frac{v_y\sqrt{1-v_x^2/c^2}}{1-v_x^2/c^2} \right)^2 = \frac{v_y^2}{1-v_x^2/c^2},$$

$$(\vec{v}'(2\text{після}))^2 = 0 + \left(\frac{-v_y\sqrt{1-v_x^2/c^2}}{1-v_x^2/c^2} \right)^2 = \frac{v_y^2}{1-v_x^2/c^2}.$$

Слід звернути увагу на те, що квадрат швидкості, як першої, так і другої кулі не змінюється після їх зіткнення:

$$(\vec{v}'(1\text{до}))^2 = (\vec{v}'(1\text{після}))^2 = (\vec{v}'(1))^2,$$

$$(\vec{v}'(2\text{до}))^2 = (\vec{v}'(2\text{після}))^2 = (\vec{v}'(2))^2.$$

Ці квадрати швидкостей входять у вирази для імпульсів у вигляді множників $1/\sqrt{1-(\vec{v}'(1))^2/c^2}$ і $1/\sqrt{1-(\vec{v}'(2))^2/c^2}$, які дорівнюють:

$$1/\sqrt{1-(\vec{v}'(1))^2/c^2} = (1+v_x^2/c^2)/\sqrt{(1-v_x^2/c^2)(1-v^2/c^2)}, \quad (23)$$

$$1/\sqrt{1-(\vec{v}'(2))^2/c^2} = \sqrt{1-v_x^2/c^2}/\sqrt{1-v^2/c^2}. \quad (24)$$

Із знайдених компонент релятивістських імпульсів куль (17-22) утворюємо компоненти повного імпульсу системи куль.

х компоненти:

$$P'_x(\text{до}) = p'_x(1\text{до}) + p'_x(2\text{до}) = \frac{-2mv_x}{1+v_x^2/c^2} \frac{1}{\sqrt{1-(\vec{v}'(1))^2/c^2}},$$

$$P'_x(\text{після}) = p'_x(1\text{після}) + p'_x(2\text{після}) = \frac{-2mv_x}{1+v_x^2/c^2} \frac{1}{\sqrt{1-(\vec{v}'(1))^2/c^2}}.$$

у компоненти:

$$P'_y(\text{до}) = \frac{-mv_y}{\sqrt{1-v^2/c^2}} + \frac{mv_y}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = 0,$$

$$P'_y(\text{після}) = \frac{mv_y}{\sqrt{1-v^2/c^2}} + \frac{-mv_y}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = 0.$$

У результаті маємо:

$$P'_x(\partial o) = P'_x(\text{після}), \quad P'_y(\partial o) = P'_y(\text{після})$$

або у векторній формі: $\vec{P}'(\partial o) = \vec{P}'(\text{після})$, тобто закон збереження релятивістського імпульсу дійсно виконується.

Відзначимо, що за умови $v \ll c$, тобто при нерелятивістських швидкостях вираз (16) набуває вигляду класичного імпульсу:

$$\vec{p} = m\vec{v},$$

що ми і вимагали при пошуку виразу для релятивістського імпульсу.

У розглянутому вище прикладі, ми досліджували закон збереження імпульсу на простому прикладі зіткнення двох однакових частинок. Одержані результати легко узагальнити на випадок системи N частинок. Для цього необхідно застосувати їх до будь-яких двох частинок цієї системи і говорити про них як про єдину підсистему з повною масою M і повним імпульсом $\vec{P}$. Цю підсистему можна потім розглядати як окрему частинку і, комбінуючи її з третьою частинкою, одержати наступну пару, до якої застосувати всі вищезгадані процедури. По індукції описаний процес можна продовжувати до тих пір, поки ми не задіємо всі частинки описуваної системи.

Отже, в релятивістській механіці закон збереження імпульсу замкнутої системи частинки виконується у всіх інерціальних системах відліку, що відповідає уявленням про однорідність простору.

Література

1. Бом Д. Специальная теория относительности. – М: Мир, 1967. – 285 с.
2. Матвеев А.И. Электродинамика и теория относительности. – М: Высшая школа, 1964. – 343 с.
3. Угаров В.А. Специальная теория относительности. – М: Наука, 1969. – 304 с.

Анотація. Мороз І.О., Іваній В.С., Холодов Р.І. Особливості розгляду закону збереження імпульсу в курсі фізики. В статті розглянуто важливі методологічні й методичні підходи до особливостей викладання закону збереження імпульсу в класичній та релятивістській механіці.

Ключові слова. Імпульс, механіка, система відліку, закон збереження.

Аннотация. Мороз И.А., Иваний В.С., Холодов Р.И. Особенности рассмотрения закона сохранения импульса в курсе физики. В статье рассмотрены важные методологические и методические подходы к особенностям изложения закона сохранения импульса в классической и релятивистской механике.

Ключевые слова. Импульс, механика, система отсчета, закон сохранения.

Summary. Moroz I., Ivaniy V., Kholodov R. Features of consideration of law of maintenance of impulse are in the course of physics. In the floor the important methodological and methodical going is considered near the features of teaching of law of maintenance of impulse in classic and relativistic mechanics.

Keywords. Impulse, mechanics, frame of reference, law of maintenance.

УДК 539.19(072.8)

І.О. Мороз, О.В. Яременко, Л.О. Яременко

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ЗАКОН МАКСВЕЛЛА ПРО РОЗПОДІЛ ШВИДКОСТЕЙ МОЛЕКУЛ»

Розглядаючи питання обґрунтування основ молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) необхідно підкреслити, що одним із важливих елементів теми є питання про розподіл молекул за швидкостями. Ця тема є досить складною, оскільки крім знань фізики потребує знання елементів математики, а саме теорії ймовірностей.

На початок викладання теми ці відомості студентам невідомі, тому вважаємо за потрібне викласти їх в найбільш елементарному виді.

Після повідомлення цих даних переходимо до з'ясування основного змісту.

При цьому концентруємо увагу на викладенні наступних питань: функція розподілу, розподіл молекул за швидкостями, характеристичні швидкості, розподіл молекул за відносними швидкостями. Використовуючи при цьому доступний математичний апарат.

Як відомо, молекули газу безперервно й хаотично рухаються, дуже часто ($\approx 10^9$ разів в секунду) зазнають зіткнень між собою та зі стінками посудини. В процесі цих зіткнень хаотично змінюється як величина, так і напрямок швидкості, а значить і кінетична енергія та імпульс молекул, які залежать від швидкості. Тому характеристики стану окремих молекул є випадковими величинами і для описуваних випадкових величин і їх розподілу за можливими своїми значеннями потрібно в першу чергу познайомитись з деякими елементами теорії ймовірності.

Подією називають будь-яке явище, яке відбулося або могло відбутися. Всі події можна розділити на закономірні та випадкові. Наприклад, при киданні грального кубика (кубика із цифрами 1, 2, ..., 6) обов'язково одна із цифр буде зверху. Тому подія, яка полягає в тому, що при киданні кубика випаде одна із цифр - це закономірна подія. Але всі цифри рівноправні, і подія, яка полягає у тому, що при киданні випаде конкретна цифра, наприклад 4, є випадковою подією і заздалегідь не можна вказати результат випадання конкретної цифри. Аналогічно буде при киданні монети - у кожному досліді може випасти герб або цифра. У той же час, якщо зробити дуже велику кількість кидань монети, то приблизно у половині випадків випаде герб, а у випадку грального кубика - кожна із цифр випаде приблизно $1/6$ разів. Частоту появи випадкової події характеризують їхньою ймовірністю.

Ймовірність ω очікуваної випадкової події визначається границею відношення числа появ цієї події ΔN до загального числа всіх подій N , коли останнє необмежено зростає:

$$\omega = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\Delta N}{N} \quad (1)$$

У розглянутих прикладах з кубиком та монетою ймовірність появи в одному досліді конкретної цифри дорівнює $1/6$, а герба - $1/2$.

Із визначення ймовірності випливають межі її вимірювання:

$$0 \leq \omega \leq 1.$$

Якщо $\omega = 0$, то подія не відбувається (подія неможлива), якщо $\omega=1$, то подія відбудеться (достовірна подія). Якщо відома ймовірність події ω і число всіх можливих подій N , то число очікуваних подій Z приблизно дорівнює:

$$Z \approx \omega N \quad (2)$$

Події A і B називаються несумісними (взаємовиключними), якщо настання події A виключає настання події B . Наприклад, випадання герба виключає випадання цифри при киданні монети.

Ймовірність появи однієї із двох несумісних подій (A або B) дорівнює сумі ймовірностей кожної із цих подій (теорема додавання ймовірностей):

$$\omega_{(A+B)} = \omega_{(A)} + \omega_{(B)}. \quad (3)$$

Наприклад, ймовірність того, що при киданні грального кубика випаде цифра 1 або 3 дорівнює:

$$\omega(1 \text{ або } 3) = \omega(1) + \omega(3) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3}.$$

Із теореми про додавання ймовірностей випливає, що сума ймовірностей всіх несумісних подій дорівнює одиниці:

$$\sum \omega_i = 1. \quad (4)$$

Це співвідношення називається умовою нормування ймовірностей.

Особливу роль у фізиці мають так звані незалежні події, тобто події, настання яких не залежить від того, наступили чи ні інші події. Наприклад, подія, яка полягає в тому, що баскетболіст попадає м'ячем у кільце, і подія, яка полягає в тому, що йому випав парний проїзний квиток, це незалежні події.

Ймовірність складної події, яка полягає у тому, що незалежні події наступили, визначається теоремою множення ймовірностей. Нехай є дві незалежні події, ймовірність яких $\omega_{(A)}$ і $\omega_{(B)}$. Тоді ймовірність складної події $\omega_{(A,B)}$ дорівнює добутку ймовірностей незалежних подій, через які складна подія реалізується:

$$\omega_{(A,B)} = \omega_{(A)} \cdot \omega_{(B)}. \quad (5)$$

При вимірюванні фізичних величин кожний вимір дає випадкове значення вимірюваної величини, тому використовують їх середнє значення. Якщо вимірювана величина N_1 раз приймає значення x_1 , N_2 рази – x_2 і т.д., то середнє значення визначається формулою:

$$\langle x \rangle = \frac{N_1 x_1 + N_2 x_2 + \dots + N_k x_k}{\sum N_i} = \frac{\sum_1^k N_i x_i}{N} = \sum_1^k \frac{N_i}{N} x_i.$$

Але відношення $\frac{N_i}{N}$ при достатньо великому числі загальних вимірів N – це ймовірність значення величини x_i , тоді середнє значення величини x буде визначатись за формулою:

$$\langle x \rangle = \sum_1^k \omega_i x_i . \quad (6)$$

Якщо вимірювана величина x приймає неперервний ряд значень і $d\omega$ – ймовірність того, що величина x приймає значення в межах від x до $x + dx$, то середнє значення величини x буде дорівнювати:

$$\langle x \rangle = \int x d\omega . \quad (7)$$

Як і у випадку дискретних значень, сума ймовірностей при неперервній зміні вимірюваної величини нормується одиницею $\int d\omega = 1$. Це означає, що величина x приймає хоча б одне із своїх можливих значень.

Розглянуті елементи теорії ймовірності дуже часто використовуються в молекулярній фізиці, тому що молекули безперервно й хаотично рухаються, зіштовхуючись одна з одною та стінками, змінюють свою швидкість як за величиною, так і за напрямком. В зв'язку з цим швидкість молекули, її компоненти, імпульс та його компоненти, кінетична енергія завжди є випадковими величинами. Однак, незважаючи на випадковість їх значень, у газі в стані рівноваги повинен існувати цілком певний розподіл молекул за згаданими фізичними величинами. Встановити розподіл молекул, наприклад, за швидкістю, це значить вказати, яке число (або доля, частина) молекул мають швидкість у певному інтервалі швидкостей. Якщо відомо число (або доля) молекул у кожному інтервалі можливих швидкостей, то тим самим буде повністю заданий розподіл молекул за швидкістю. Цей розподіл аналітично визначається деякою функцією, яка називається функцією розподілу. З'ясуємо її зміст. Нехай число молекул в одиниці об'єму n , число молекул в одиниці об'єму, які мають швидкість від v до $v + dv$, позначимо dn . Це число молекул буде тим більшим, чим більша концентрація n , чим більший інтервал dv швидкості і буде залежати від того, де взятий цей інтервал (за аналогією з тим, що кількість людей, віком від 20 до 25 років не дорівнює кількості людей у віці від 100 до 105 років, хоча інтервал – 5 років – однаковий). Тому можна записати:

$$\begin{aligned} dn &\sim n, \\ dn &\sim dv, \end{aligned}$$

або:

$$dn = c n dv,$$

де c – коефіцієнт пропорційності, який залежить від швидкості, тобто c є функцією швидкості $c = f(v)$. Це і є функція розподілу молекул за швидкістю. Тоді кількість молекул в одиниці об'єму, які мають швидкість від v до $v + dv$, запишеться у вигляді:

$$dn = f(v) n dv,$$

звідки:

$$\frac{dn}{n} = f(v)dv. \quad (8)$$

Ліва частина цього виразу при досить великій кількості молекул – це ймовірність того, що деяка молекула має швидкість, величина якої знаходиться в інтервалі від v до $v + dv$. Ця ймовірність буде дорівнювати:

$$d\omega = f(v)dv. \quad (9)$$

Аналогічний вираз можна записати для молекул, x – компонента швидкості яких, наприклад, має значення від v_x до $v_x + dv_x$:

$$d\omega_{v_x} = \left(\frac{dn}{n} \right) = f(v_x)dv_x. \quad (10)$$

Оскільки за означенням ймовірності $\frac{dn}{n}$ у формулі (8) – це ймовірність того, що будь-яка молекула в одиниці об'єму має швидкість від v до $v + dv$, то функція розподілу $f(v) = \frac{dn}{n \cdot dv} = \frac{d\omega}{dv}$ є величиною ймовірності в інтервалі dv , тобто є густиною імовірності.

Аналогічні міркування можуть бути проведені при обговоренні функцій розподілу за іншими фізичними (і не фізичними) величинами, наприклад, розподіл людей за зростом, віком, масою тощо.

Встановлення явного вигляду функції розподілу є досить важливим завданням, тому що за відомою функцією розподілу будь якої фізичної величини x можна визначити середнє значення цієї величини:

$$\langle x \rangle = \int x f(x) dx.$$

Молекули газу перебувають у стані безперервного хаотичного руху і дуже часто зазнають зіткнень між собою та стінками посудини. Тому значення всіх динамічних характеристик молекул (швидкість, імпульс, кінетична енергія та ін.) у кожен момент часу є випадковими величинами. Але в стані термодинамічної рівноваги, коли відсутні макроскопічні потоки переносу маси, енергії, імпульсу тощо, зміна динамічних характеристик однієї частини молекул повинна компенсуватись такою ж зміною цих величин другої частини молекул. Це означає, що в стані термодинамічної рівноваги в газі (та в інших макроскопічних системах, які описуються статистичними закономірностями і в них виконуються закони збереження) повинен існувати цілком закономірний розподіл молекул за динамічними характеристиками.

Розглянемо, які фізичні міркування можуть привести до встановлення максвелівського закону розподілу молекул за швидкостями. Насамперед зазначимо, що рух молекул газу є хаотичним (про це говорять численні досліди;

наприклад, тиск газу на всі стінки посудини і окремі її ділянки однаковий), тому функція розподілу не повинна залежати від напрямку руху. Але, оскільки вона є функцією швидкості, то, без сумніву, повинна залежати від швидкості. Ця залежність не може бути лінійною, оскільки швидкість – величина векторна і у випадку лінійної залежності була б залежність функції розподілу від напрямку швидкості. Тому можемо постулювати, що функція розподілу молекул за швидкостями може мати вигляд $f = f(v^2)$.

Виходячи із ймовірнісних викладок, приходимо до висновку, що кількість молекул, швидкості яких знаходяться в інтервалі від v до $v + dv$, тобто ймовірність того, що довільно взята молекула має швидкість у зазначеному інтервалі, буде виражатися формулою:

$$d\omega = f(v)dv. \quad (11)$$

Аналогічні формули можна записати й для розподілу молекул за проекціями швидкості:

$$\begin{aligned} d\omega_{v_x} &= f(v_x)dv_x; \\ d\omega_{v_y} &= f(v_y)dv_y; \\ d\omega_{v_z} &= f(v_z)dv_z. \end{aligned} \quad (12)$$

Причому у цих виразах аналітичний вид функцій $f(v_x)$, $f(v_y)$ і $f(v_z)$ повинен бути однаковий, тому що рух молекул хаотичний і всі напрямки рівноправні. Крім того, по цій же причині досить правдоподібним є те, що ймовірність деякої молекули мати проекцію v_x , яка лежить в інтервалі від v_x до $v_x + dv_x$ не залежить від того, які в цієї молекули дві інші проекції швидкості. Тобто, ми маємо справу з незалежними подіями, за допомогою яких реалізується складна подія - швидкість молекули знаходиться в інтервалі від v до $v + dv$. Тому, можна застосувати теорему про множення ймовірностей:

$$d\omega_v = f(v_x)dv_x f(v_y)dv_y f(v_z)dv_z, \quad (13)$$

або

$$f(v)dv = f(v_x)dv_x f(v_y)dv_y f(v_z)dv_z. \quad (14)$$

Якщо умовно звести початки векторів швидкості усіх молекул в одну точку, то вони утворять сферичний «їжачок» і, оскільки рух молекул хаотичний, то швидкості молекул в інтервалі від v до $v + dv$ потраплять в об'єм кульового прошарку товщиною dv (рис. 1). При цьому їх проекції попадають у відповідні інтервали своїх значень, наприклад, від v_x до $v_x + dv_x$. Таким чином, можна розглядати гіпотетичний декартовий тривимірний простір, у якому вимірами (осями координат) будуть проекції швидкості v_x, v_y, v_z . У такому просторі інтервали значень проекцій швидкостей молекул (від v_x до $v_x + dv_x$; від v_y до

$v_y + dv_y$; від v_z до $v_z + dv_z$) утворюють кульовий прошарок, який можна розглядати як елемент об'єму.

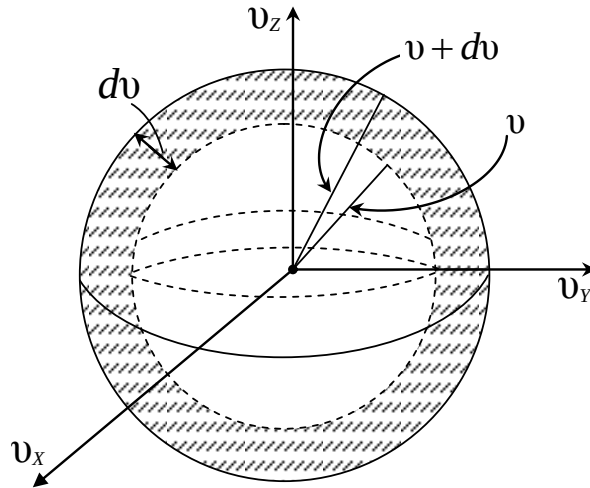


Рис. 1. Тривимірний простір швидкостей

Елемент об'єму в декартовій системі координат у такому просторі буде виражатись аналогічно елементу об'єму звичайного тривимірного простору ($dx dy dz$), тобто він дорівнює $dv_x dv_y dv_z$. З іншої сторони, оскільки кінець векторів швидкості молекул, які мають швидкість обмежену інтервалом від v до $v + dv$, попадають в кульовий прошарок товщиною dv , то під множником dv у виразі (14) потрібно розуміти не просто нескінченно малий інтервал швидкості, а величину об'єму $dv_x dv_y dv_z$ цього прошарку в просторі, у якому осями координат є v_x , v_y , v_z . Тому, виконавши відповідні скорочення, вираз (14) можна записати у вигляді:

$$f(v) = f(v_x) f(v_y) f(v_z). \quad (15)$$

Після певних математичних перетворень, одержимо:

$$f(v_x) = \frac{\alpha}{(\pi)^{1/2}} e^{-\alpha^2 v_x^2}, \quad f(v_y) = \frac{\alpha}{(\pi)^{1/2}} e^{-\alpha^2 v_y^2}, \quad f(v_z) = \frac{\alpha}{(\pi)^{1/2}} e^{-\alpha^2 v_z^2}. \quad (16)$$

Відповідні їм ймовірності будуть мати вигляд:

$$d\omega_{v_x} = \frac{\alpha}{\pi^{1/2}} e^{-\alpha^2 v_x^2} dv_x,$$

$$d\omega_{v_y} = \frac{\alpha}{\pi^{1/2}} e^{-\alpha^2 v_y^2} dv_y,$$

$$d\omega_{v_z} = \frac{\alpha}{\pi^{1/2}} e^{-\alpha^2 v_z^2} dv_z.$$

Або

$$d\omega_v = \frac{\alpha^3}{\pi^{3/2}} e^{-\alpha^2 v^2} dv_x dv_y dv_z. \quad (17)$$

У даному випадку радіусом кульового прошарку є величина швидкості v . Отже об'єм кульового прошарку, в який попадають кінці векторів швидкості молекул, що мають модуль швидкості від v до $v + dv$ буде дорівнювати $4\pi v^2 dv$. Тому у виразі (17) можна зробити заміну: $dV_x dV_y dV_z = 4\pi v^2 dv$ і в ньому залишиться невизначеною константа α . Для її визначення, користуючись формулою (7), знайдемо середнє значення квадрата швидкості молекул:

$$\langle v^2 \rangle = \int_0^{v_{\max}} v^2 d\omega_v = \frac{4\pi\alpha^3}{\pi^{\frac{3}{2}}} \int_0^{v_{\max}} v^4 e^{-\alpha^2 v^2} dv.$$

Замінюючи верхню межу в інтегралі на нескінченність і використовуючи формули Пуассона, отримаємо:

$$\langle v^2 \rangle = \frac{3}{2\alpha^2}. \quad (18)$$

Середня кінетична енергія молекул теж виражається через середнє значення¹ квадрата швидкості, тобто:

$$\varepsilon = \frac{3kT}{2} = \frac{m\langle v^2 \rangle}{2},$$

звідки маємо:

$$\langle v^2 \rangle = \frac{3kT}{m}. \quad (19)$$

Порівнявши цей результат з (18), визначаємо значення постійної α :

$$\alpha = \sqrt{\frac{m}{2kT}}.$$

Тоді розподіл молекул за модулем та компонентами швидкості остаточно можна записати у вигляді:

$$d\omega_v = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv; \quad (20)$$

$$d\omega_{v_x} = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} dv_x. \quad (21)$$

За аналогією (21) можна записати розподіл молекул для проекцій швидкості на інші вісі.

Функції розподілу за проекціями та модулем швидкості молекул, як це слідує із формул (20,21), мають вигляд:

$$f(v_x) = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}}, \quad (22)$$

¹ Корінь квадратний із середнього значення квадрата швидкості молекул називають середньоквадратичною швидкістю.

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}. \quad (23)$$

Графіки функцій розподілу за компонентами та модулем швидкості наведені на рис. 2. Відмітимо, що величина $f(v)dv$ у вибраній на рис. 2 системі координат, чисельно дорівнює площі криволінійної трапеції висотою $f(v)$, основа якої опирається на інтервал швидкості dv . Згідно з (2), ця площа чисельно дорівнює ймовірності того, що довільно взята молекула газу має швидкість, величина якої знаходиться в інтервалі від v до $v + dv$. Тому вся площа під кривою розподілу дорівнює одиниці:

$$\int_0^{\infty} f(v)dv = 1.$$

Як бачимо із рис. 2 графік функції $f(v)$ проходить через початок координат і це означає, що у газі немає нерухомих молекул.

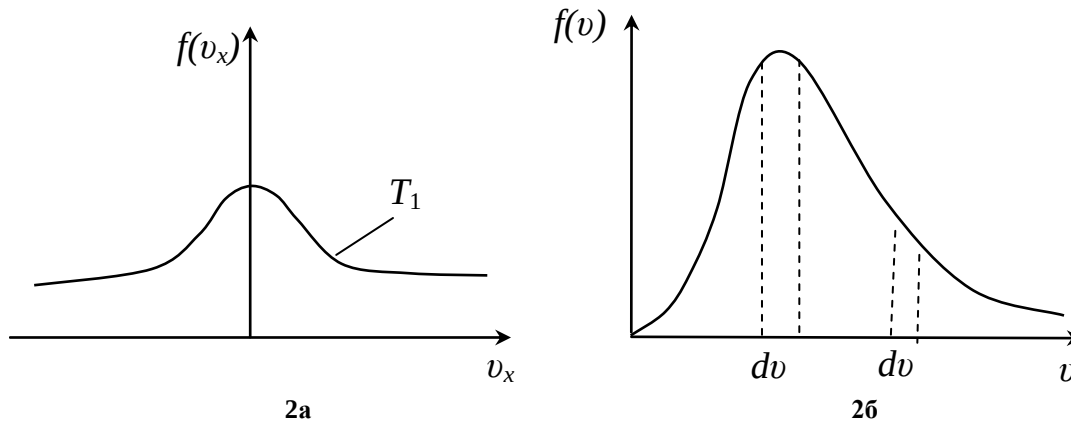


Рис. 2. Графік залежності функції розподілу молекул за проекціями (а) та модулем швидкості (б)

В області великих швидкостей графік $f(v)$ асимптотично наближається до осі абсцис. Це говорить про те, що в газі також мало молекул, які мають дуже велике значення швидкості. Найбільша доля молекул мають швидкості, які лежать в інтервалі, що відповідає максимуму кривої розподілу.

Оскільки між швидкістю молекул та імпульсом і кінетичною енергією існує однозначний зв'язок, то можна встановити й розподіл молекул за імпульсом і його проекціями та за кінетичною енергією.

Встановивши закон розподілу молекул за їх динамічними характеристиками, можна більш строго підійти до доведення основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії та формули, яка визначає середнє значення кінетичної енергії молекул.

Розглядаючи це питання у МКТ ми усі молекули умовно розбивали на групи, у яких молекули рухаються з однаковою швидкістю і з таким наближенням визначали тиск газу. Але тепер відомо, що в газі в дійсності немає груп молекул, які мають однакові швидкості. Швидкості (імпульси, кінетична енергія) молекул

розподілені за законом Максвелла. Тому час dt , а площу стінки dS посудини попадуть молекули, які мають проекцію² швидкості від V_x до $V_x + dV_x$ в кількості: $dN = nV_x dt dS d\omega_{(V_x)}$. Кожна з цих молекул, як уже раніше зазначалось, передасть стінці посудини імпульс $(2mV_x)$. Всі молекули, проекція імпульсу яких лежить в межах від V_x до $V_x + dV_x$, передадуть стінці імпульс $(dp = 2nmV_x^2 dt dS d\omega_{(V_x)})$. Тому тиск $dP = \frac{dp}{dt dS}$ цієї частини молекул буде дорівнювати $dP = (2nmV_x^2 d\omega_{(V_x)})$.

$$\text{Тоді } P = 2mn \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} \int_0^\infty V_x^2 e^{-\frac{mV_x^2}{2kT}} dV_x = nkT.$$

Одержали результат, який ми уже мали, опираючись на зазначені вище наближення. Це свідчить, що в фізичних дослідженнях потрібно не сліпо додержуватись строгості математичних викладок, а - строго слідувати фізичному змісту математичних перетворень, навіть, якщо вони наближені. В більшості випадків наближені розрахунки, при зберіганні фізичного змісту, значно скоріше приводять до правильного результату, ніж строгі, однак складні в математичному плані, фізичні теорії. В підтвердження цієї думки, пригадаємо, що кінетична енергія молекул і температура зв'язані лінійною залежністю, згідно з якою кінетична енергія молекул виражається формулою $\tilde{\varepsilon} = \frac{3}{2}kT$. Але, значення кінетичної енергії, внаслідок хаотичних зіткнень молекул між собою та зі стінками посудини, являється випадковим і середнє її значення можна вирахувати за формулою:

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}} \int_0^\infty \varepsilon \sqrt{\varepsilon} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} d\varepsilon = \frac{3}{2}kT.$$

Таким чином бачимо, що основне рівняння МКТ і середнє значення кінетичної енергії більш строго можна отримати виходячи із розподілу Максвелла.

Література

1. Дущенко В.П., Кучерук І. М. Загальна фізика: фізичні основи механіки: Молекулярна фізика і термодинаміка: Навч. посібник. - 2-ге вид., перероб. і доп. - К.: Вища шк., 1993. - 431 с.: іл.
2. Кікоїн І.К., Кікоїн А.К. Молекулярна фізика: Навчальний посібник для фіз. ін-тів і фак. / Пер. з рос. вид. В.В.Яновського. - К.: Рад. школа, 1968. - 477 с.: іл.
3. Мороз І.О., Яременко О.В. Молекулярна фізика: навчальний посібник. - Суми: Видавництво «МакДен», 2010. - 376 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учебное пособие для студентов физических специальностей вузов. Т.2: Термодинамика и молекулярная физика - М.: Наука, 1975. - 551 с.

² Ось ox перпендикулярна до одиничної площадки на стінці посудини.

Анотація. Мороз І.О., Яременко О.В., Яременко Л.О. Деякі аспекти викладання теми «Закон Максвелла про розподіл швидкостей молекул». Розглядаються питання пов'язані з викладанням теми «Розподіл Максвелла молекул за швидкостями» та його застосування до обґрунтування МКТ газів.

Ключові слова. Розподіл, ймовірність, функція розподілу.

Аннотация. Мороз И.А., Яременко А.В., Яременко Л.А. Некоторые аспекты преподавания темы «Закон Максвелла о распределении по скоростям молекул». Рассматриваются вопросы, связанные с изложением темы «Распределение Максвелла молекул по скоростям» и его применение к обоснованию МКТ газов.

Ключевые слова. Распределение, вероятность, функция распределения.

Summary. Moroz I., Yaremenko A., Yaremenko L. Some aspects of teaching about the "Law of Maxwell's velocity distribution of molecules. The questions related to the presentation topic, "The Maxwell distribution of molecules in velocity and its application to the justification ILC gases.

Keywords. Distribution, the probability distribution function.

УДК 621.534.762.

А.П. Шипиленко

*Сумський державний університет***КОМБИНИРОВАННЫЕ, МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ Ti-Si-N И ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ, ИХ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА**

Наноккомпозиты как класс наноматериалов характеризуются гетерогенной структурой образований практически невзаимодействующими фазами со средними размерами, в интервале $(5\div 35)\text{nm}$ [1-3]. Как правило, такими структурными элементами являются аморфная матрица и включения нанокристаллической фазы. При этом, аморфная составляющая наилучшим образом согласовывается с поверхностью нано кристаллитов и обеспечивать хорошее сцепление, что приводит к значительному увеличению прочности, а высокие механические свойства такого композита обеспечиваются малым размером второй фазы в сочетании с хорошей прочностью межзеренных границ. На сегодняшний день принято делить наноккомпозитные материалы на 3 класса по величине твердости: твердые наноккомпозиты с твердостью ≥ 20 до 40 GPa, сверх твердые, которые находятся в интервале ≥ 40 до 80 GPa, и ультратвердые наноккомпозитные покрытия с очень высокой твердостью ≥ 80 GPa [3-4].

Если создать комбинацию покрытия по меньшей мере из 2-х слоев, из твердого сплава на основе WC-Co-Cr; толщиной свыше 100 μm (плазменно-детонационным или детонационным способом) а верхнее тонкое наноккомпозитное покрытие толщиной в единицы микрон (около 3 μm), например из Ti-Si-N, которое при этом имеет более высокие физико-механические характеристики, такие как твердость H, модуль упругости E, величина упругого восстановления We, сопротивление материала пластической деформации H/E и индекс пластичности H^2/E^3 , в результате у нас получится комбинированное покрытие обладающее высокими защитными функциями.

Таким образом, целью настоящей работы было создание комбинированных и наноккомпозитных покрытий на основе Ti-Si-N/WC-Co-Cr; Ti-Si-N/(Cr₃C₂)₇₅-(Ni-Cr)₂₅ и исследование их физико-химических и механических свойств.

На полированные образцы Si толщиной 400 μm , осаждали покрытия вакуумно-дуговым источником с высокочастотным разрядом (ВЧ), использовали сплавной спеченный катод из Ti с содержанием Si $(5\div 10)\text{at.}\%$. Использовалась установка Булат 3Т с вакуумом $5\times 10^{-3}\text{Pa}$, ток катода 100 А. На другую серию образцов из стали 3 (0,3% - С) круглых, размером 20 mm в диаметре и толщиной $(5\div 7)\text{mm}$, наносили покрытие с помощью плазменно-детонационной установки «Импульс - 6» [5].

Для анализа элементного состава использовали методы: резерфордовское обратное рассеяние ионов (РОР) $^4\text{He}^+$ с энергией 1,76 MeV растровую электронную микроскопию (РЭМ) с (EDS) на установке РЭММА – 103М (Selmi,

Украина), дифракцию рентгеновских лучей на установке ДРОН – 3 и Advantage 8 (USA).

В работах S.НАО с соавторами [6] и Verpek S. с соавторами [7] было показано с помощью моделирования структуры Ti-Si-N что в виде двух подрешеток из решетки TiN и SiN и оценено влияние границ раздела и влияние примесных атомов

На рис.1 представлено изображение поверхности покрытия, с помощью РЭМ, видно, что капельная фракция превращается в процессе осаждения в плоские участки, которые разбиты (или разделены) тонкими прослойками разделенными на более мелкие участки размерами 300-500 nm. По-видимому эти видимые «трещинки» образуются за счет релаксации высоких внутренних напряжений.

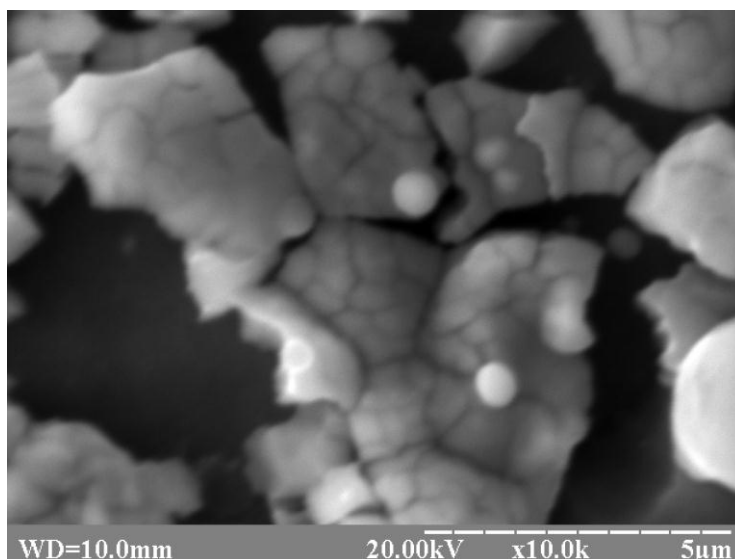


Рис. 1. Изображение участка покрытия Ti-Si-N/WC-Co-Cr поверхности, полученного с помощью SEM

На рисунке 2а представлено изображение поверхности нанокompозитного комбинированного покрытия из Ti-Si-N/(Cr₃C₂)₇₅-(NiCr)₂₅. Тонкое покрытие, полученное с помощью вакуумно-дугового источника повторяет рельеф поверхности покрытия, нанесенного с помощью плазменно-детонационной технологии. Со средними размерами шероховатости от 14 до 22 µm (после оплавления и после дугового нанесения тонкого покрытия). Ниже представлено изображение рентгеновского энергодисперсного спектра, из которого следует, от концентрации N~2,4%; Si~1,6%; Ti~76%; Cr~6,6 и Ni~4,8% и Fe~0,8 вес.%, Ni, Cr, Fe из толстого покрытия (рис. 2б)

На рис.3а представлены результаты POP анализа для толстого покрытия из WC-Co-Cr (без тонкого покрытия из Ti-Si-N), а с правого боку представлены результаты анализа полученные на комбинированном покрытии (рис. 3б).

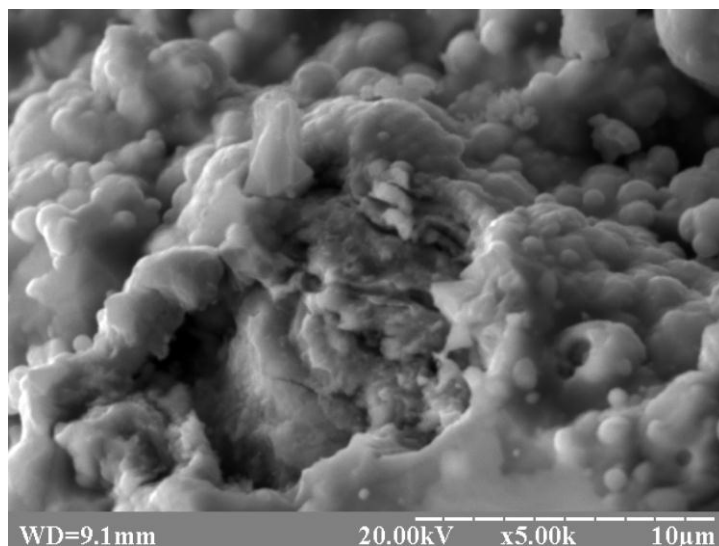


Рис 2а. Изображения участка поверхности нанокompозитного комбинированного покрытия $\text{Ti-Si-N}/(\text{Cr}_3\text{C}_2)_{75}\text{-(NiCr)}_{25}$

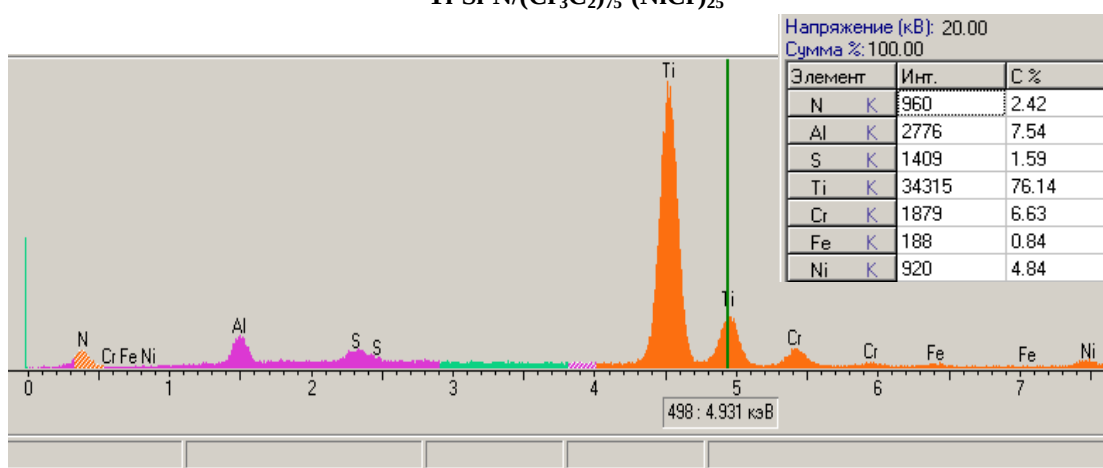


Рис 2б. Элементный состав покрытия полученный с помощью энергодисперсионного рентгеновского анализа с участка поверхности комбинированного покрытия

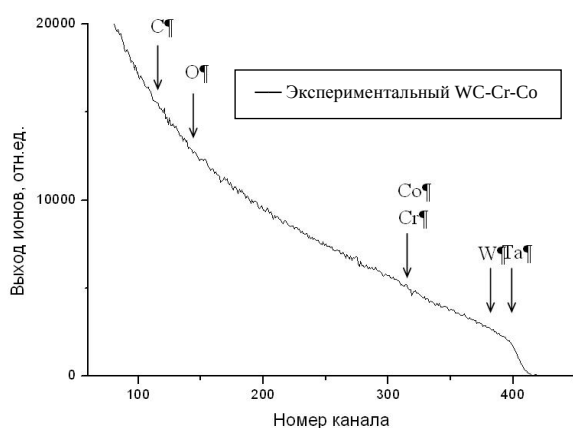


Рис. 3а. Энергетические спектры обратного резерфордского рассеяния ионов (RBS), полученного из толстого покрытия WC-Co-Cr

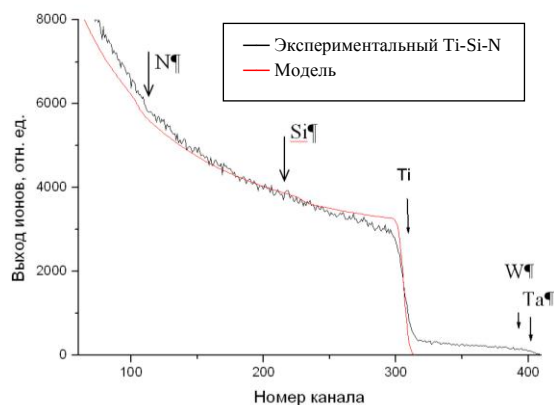


Рис. 3б. Энергетические спектры обратного резерфордского рассеяния ионов (RBS), полученных со стороны верхнего тонкого покрытия из Ti-Si-N/WC-Co-Cr

Как видно из результатов расчетов (распределения элементов) по стандартной программе [8], оценки концентрации показывают, что $N_2=30\%$; $Si \approx 5 \div 6 \text{ at.}\%$, а $Ti \approx (64 \div 65) \text{ at.}\%$. Из спектра, полученного на толстом покрытии (исходное толстое покрытие) трудно оценить концентрацию элементов из-за высокой шероховатости поверхности покрытия полученного плазменно-детонационным методом.

На рисунке 4 представлены фрагменты дифрактограмм полученные на нанокompозитном, комбинированном покрытии $Ti-Si-N/(Cr_3C_2)_{75}-(Ni-Cr)_{25}$. Как видно из дифрактограмм в покрытии основными фазами являются Cr_3Ni_2 (нижнее - толстое покрытие) и $(Ti;Si)N$ и TiN (тонкое покрытие верхнее покрытие). Кроме того, есть дополнительные фазы чистого Cr и присутствует в небольшой концентрации оксид титана Ti_9O_{17} . Ввиду малого содержания Si происходит наложение фазы $Ti-Si-N$ и TiN . $(Ti;Si)N$ представляет из себя твердый раствор на основе TiN (внедрение Si). Данные фазы хорошо разделяются на угле $72-73^\circ$.

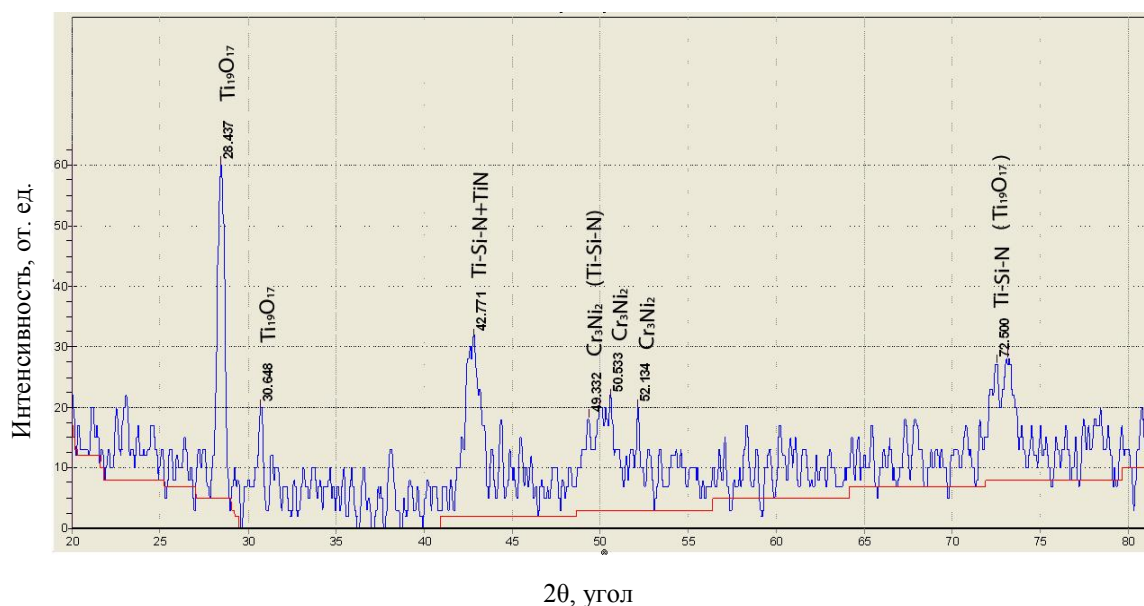


Рис. 4. Участок дифрактограммы комбинированного нанокompозитного покрытия из $Ti-Si-N/(Cr_3C_2)_{75}-(NiCr)_{25}$

На рис. 5 представлены участки покрытия из $(Cr_3C_2)_{75}-(NiCr)_{25}$ толстого (нижнего покрытия) и распределения интенсивностей рентгеновского излучения основных элементов. Основной состав этого покрытия: никель и хром ($Ni \sim 36\%$ и $Cr \sim 64\%$), присутствует также C (углерод), кислород и Si .

Из-за того что тонкое (верхнее) покрытие очень малой толщины, трудно на поперечных шлифах его выделить. Присутствуют области, отвечающие чистому никелю и хрому. В матрице никеля (белая область) присутствует большое количество включений (зерна) хрома с размером (мелкие $< 1 \mu m$, средние $-(4 \div 5) \mu m$ и крупные $-(15 \div 20) \mu m$). Белая область – область богатая Ni (до $90 \text{ at.}\%$). Серая область – область Cr (до $92 \text{ at.}\%$). Из-за маленькой толщины $Ti-Si-N$ в этом

эксперименте не удалось определить состав и толщину. Однако, при получении косых шлифов под углом 7° , удалось получить содержание тонкого покрытия из Ti-Si-N и содержание нижнего толстого покрытия из $(\text{Cr}_3\text{C}_2)_{75}\text{-(NiCr)}_{25}$ по 10÷12 точкам косого шлифа [9].

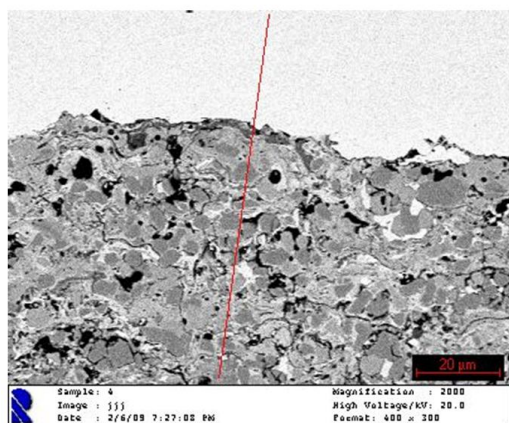


Рис. 5а. Участок поперечного сечения комбинированного покрытия полученные с помощью сканирующей электронной микроскопии микроанализом

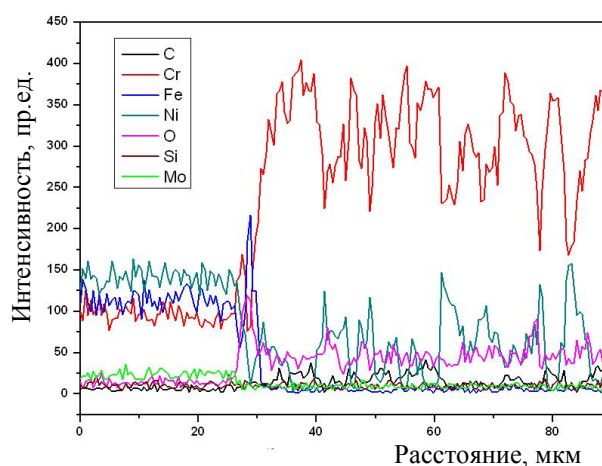


Рис. 5б. Распределение элементов по глубине комбинированного покрытия из Ti-Si-N(Cr_3C_2)-(NiCr) $_{25}$ на участках, показанных на рис.5а.

Следует отметить то, что твердость верхнего слоя комбинированного, нанокompозитного покрытия составила ($38\div45\text{GPa}$), при максимальной твердости толстого покрытия из твердого сплава 17 GPa. Размер зерен оцененный по полуширине дифракционных пиков показал, что их размеры составляют от 18 до 25 nm. Предварительные испытания на износ (при трении цилиндра по поверхности) показали их значительное уменьшение, так же как и коррозионные испытания в соленом растворе.

Литература

1. Н. Gleiter Nanostructured materials: basic concepts and microstructures Acta. Mater. 200, v48, p. 1-29
2. S.Veprek, M. Veprek-Heijman, P.Karvankova, S.Prochazka "Different approaches to superhard coatings and nanocomposites" Thin Solid Films, 2005, v.476, p.1-29.
3. J.Musil: Physical and mechanical properties of hard nanocomposite films prepared by reactive magnetron Sputtering. Invited Chapter-10 in the book " Nanostructured Hard Coatings" 2005, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA 2007.
4. А.Д.Погребняк, А.П.Шпак, Н.А. Азаренков, В.М. Береснев Успехи физических наук, 2009, 179, п.1.р. 35-64.
5. К.К.Кардыжанов, Ф.Ф. Комаров, А.Д. Погребняк, и др. «Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов» – М.: МГУ, 2005. – 640 с.

6. Sh.Hao, B. Delley, S. Veprek, Cath. Stampf Superhard Nitride-Based Nanocomposites: Role of Interfaces and Effect of Imputing Phys. Rev. Lett. 2006, 97, 086102 p 086102. 1-4
7. S. Veprek, A.S. Argon, R.F. Zhang Origin of the hardness enhancement in superhard nc-TiN/ α -Si₃N₄ and ultrahard nc-TiN/ α -Si₃N₄/TiSi₂ Philosophical Magazine Letters, 2007, №12. 955-966.
8. Н. Дуб, Н.В. Новиков Испытание твердых тел на твердость Сверхтвердые материалы – 2004. – С. 1-23.
9. А.Д. Погребняк, Ю.Н. Тюрин Модификация свойств материалов и осаждение покрытий с помощью плазменных струй //УФН, 2005. – т.175, № 5.–С. 514-543.

Аннотация. Шипиленко А.П. Комбинированные, многокомпонентные покрытия на основе Ti-Si-N и твердых сплавов, их структура и свойства. Покрытия состоят из Ti~60 at.%; N~30 at.%; Si от 7 до 10 at.%; WC~86%; Co~10%; Cr~4%; и (Cr₃C₂-Ni)₇₅-(NiCr)₂₅. Верхнее (тонкие) покрытия были получены вакуумно-дуговым источником с ВЧ разрядом, а толстые получены детонацией. В комбинированном покрытии состоящем из тонкого и толстого (сотни мкм) покрытия получен следующий фазовый состав (Ti, Si)N; TiN; WC W₂C; Cr₃C₂; Cr₃Ni₂; CrC. Покрытия из Ti-Si-N/WC-Co-Cr имеет твердость 35GPa, а модуль упругости 286±18 GPa.

Ключові слова. Наноккомпозити, поверхня, структура, Ti-Si-N.

Анотация. Шипиленко А.П. Комбинированные, многокомпонентные покрытия на основе Ti-Si-N и твердых сплавов, их структура и свойства. Покрытия состоят из Ti ~ 60 at.%; N ~ 30 at.%; Si от 7 до 10 at.%; WC ~ 86%; Co ~ 10%; Cr ~ 4%; и (Cr₃C₂)₇₅-(NiCr)₂₅. Верхнее (тонкие) покрытия были получены вакуумно-дуговым источником с ВЧ разрядом, а толстые получены детонацией. В комбинированном покрытии состоящем из тонкого и толстого (сотни мкм) покрытия получен следующий фазовый состав (Ti, Si) N; TiN; WC W₂C; Cr₃C₂; Cr₃Ni₂; CrC. Покрытия из Ti-Si-N/WC-Co-Cr имеет твердость 35GPa, а модуль упругости 286 ± 18 GPa.

Ключевые слова. Наноккомпозиты, поверхность, структура, Ti-Si-N.

Summary. Shypylenko A. Combined, multicomponent coatings based on Ti-Si-N and hard alloys, their structure and properties. Coatings consist of Ti ~ 60 at.%; N ~ 30 at.%; Si from 7 to 10 at.%; WC ~ 86%; Co ~ 10%; Cr ~ 4%, and (Cr₃C₂-Ni)₇₅-(NiCr)₂₅. The upper (thin) coatings were obtained by vacuum-arc source with a HF discharge, and thick obtained detonation. In the combined coating consisting of thin and thick (hundreds of microns) coatings obtained the following phase composition (Ti, Si) N; TiN; WC W₂C; Cr₃C₂; Cr₃Ni₂; CrC. Coatings Ti-Si-N/WC-Co-Cr has a hardness of 35GPa, and the elastic modulus of 286 ± 18 GPa.

Keywords. Nanocomposite, surface, structure, Ti-Si-N.

УДК 535.24.2

Ю.А. Шкурдода, В.Н. Коломиец

Сумский государственный педагогический университет имени А.С. Макаренко

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК Co/Ag/Co

Введение

Одним из важнейших и интенсивно развиваемых направлений современной физики твердого тела является исследование искусственно синтезированных сверхструктур. К таким сверхструктурам относятся и получаемые с помощью новейших технологий мультислой – периодические системы, состоящие из чередующихся слоев различных материалов. Интерес к исследованию многослойных систем обусловлен тем, что они могут обладать свойствами, принципиально отличающимися от свойств входящих в них слоев-компонентов.

К числу наиболее удивительных и важных открытий в физике твердого тела конца прошедшего века, несомненно, можно отнести и открытие в 1989 г. эффекта гигантского магнитосопротивления (ГМС) магнитных многослойников [6]. Эффект наблюдается в многослойных образцах, состоящих из чередующихся слоев ферромагнитных и немагнитных металлов, и состоит в уменьшении электросопротивления образца (параллельно его границам) при включении относительно слабого внешнего магнитного поля, индукция которого порядка 100 мТл. Практическую ценность этого эффекта трудно переоценить. Чрезвычайная чувствительность проводимости многослойников (даже при комнатных температурах) к наличию слабого магнитного поля делает перспективным их применение в различных электронных устройствах.

Интерес к исследованию многослойных систем связан не только с постоянным поиском новой элементной базы микроэлектроники, но и с возможностью получения в таких исследованиях важной фундаментальной информации о взаимодействии квазичастиц твердого тела с границами раздела материалов с различающимися физическими характеристиками.

К настоящему времени выполнено значительное число теоретических и экспериментальных работ по исследованию ГМС. Но еще до конца не ясны особенности влияния температуры отжига на поведение магнитосопротивления (МС) и магнитные параметры многослойных систем. Исходя из этого, в работе проведены исследования зависимости МС и магнитных параметров от температуры отжига трехслойных пленок Co/Ag/Co с различной толщиной прослойки серебра.

Методика и техника эксперимента. Трехслойные пленки Co/Ag/Co с толщинами слоев $d_{Co} = 10-70$ нм и $d_{Ag} = 5-50$ нм были получены в вакуумной

установке ВУП-5М (давление остаточной атмосферы 10^{-3} - 10^{-4} Па) методом электронно-лучевого (Co) и резистивного (Ag) испарения. Пленки осаждались на стеклянные подложки (измерение электросопротивления и МС) при комнатной температуре. Толщина слоев контролировалась по времени напыления при известной скорости конденсации. Для определения скорости конденсации была получена серия однослойных пленок Co и Ag, толщина которых измерялась при помощи микроинтерферометра МИИ-4 и компьютерной системы регистрации интерференционной картины [1]. Для параллельной ориентации осей легкого намагничивания в слоях кобальта пленки осаждались во внешнем магнитном поле с напряженностью $H = 8$ кА/м (100 Ое).

Отжиговые эксперименты для стабилизации структурного состояния пленок производились в специально изготовленной установке в условиях сверхвысокого безмасляного вакуума (10^{-6} - 10^{-7} Па) в постоянном магнитном поле, приложенном в плоскости пленки с напряженностью $H = 150$ кА/м (подробное описание установки см. в [1]). Время отжига при температурах 400, 550 и 700 К составляло 1 час. В этой же установке производились и измерения МС пленок. Величина МС рассчитывалась по формуле:

$$\Delta R/R_0 = (R(H) - R_0)/R_0,$$

где $R(H)$ – электрическое сопротивление образца во внешнем магнитном поле H ; R_0 – минимальное электрическое сопротивление размагниченного образца.

Магнитосопротивление пленок

В трехслойных пленках Co/Ag/Co с толщинами слоев $2d_{Co} = 50$ -70 нм и $d_{Ag} = 5$ -50 нм было исследовано влияние температуры отжига на вид магниторезистивного гистерезиса и величину продольного и поперечного МС. На рис.1 в качестве иллюстрации приведены зависимости МС от индукции внешнего магнитного поля для неотожженной и отожженной при разных температурах трехслойной пленки с $2d_{Co} = 50$ нм и $d_{Ag} = 10$ нм.

Для неотожженных и отожженных при 400 К пленок с $d_{Ag} = 10$ -14 нм ход кривых продольного и поперечного МС подобен. Более того, для неотожженных образцов упомянутые зависимости почти совпадают. После отжига при 400 К характер зависимостей сохраняется, величина продольного МС немного возрастает, а величина поперечного МС возрастает почти в 2 раза. Следует также отметить, что как для неотожженных пленок, так и отожженных при 400 К, наблюдается только уменьшение электросопротивления при внесении образцов в магнитное поле не зависимо от его направления (на рис. 1 и рис. 2 знак "–" показывает, что электросопротивление падает при внесении образца в магнитное поле). Этот факт является характерным признаком возникновения ГМС.

С увеличением температуры отжига до 550 К форма петель магниторезистивного гистерезиса существенно изменяется. Как видно из рис.1, для пленок прошедших отжиг при 550 К, появляется анизотропное магнитосопротивление (АМС). Особенностью полевых зависимостей МС

является несовпадение их пиков для продольного и поперечного МС. Для продольного МС пики расположены в более слабых магнитных полях.

Для пленок прошедших отжиг при 700 К сохраняется АМС, петли магниторезистивного гистерезиса становятся более четкими и пики полевых зависимостей для продольного и поперечного МС хорошо совпадают.

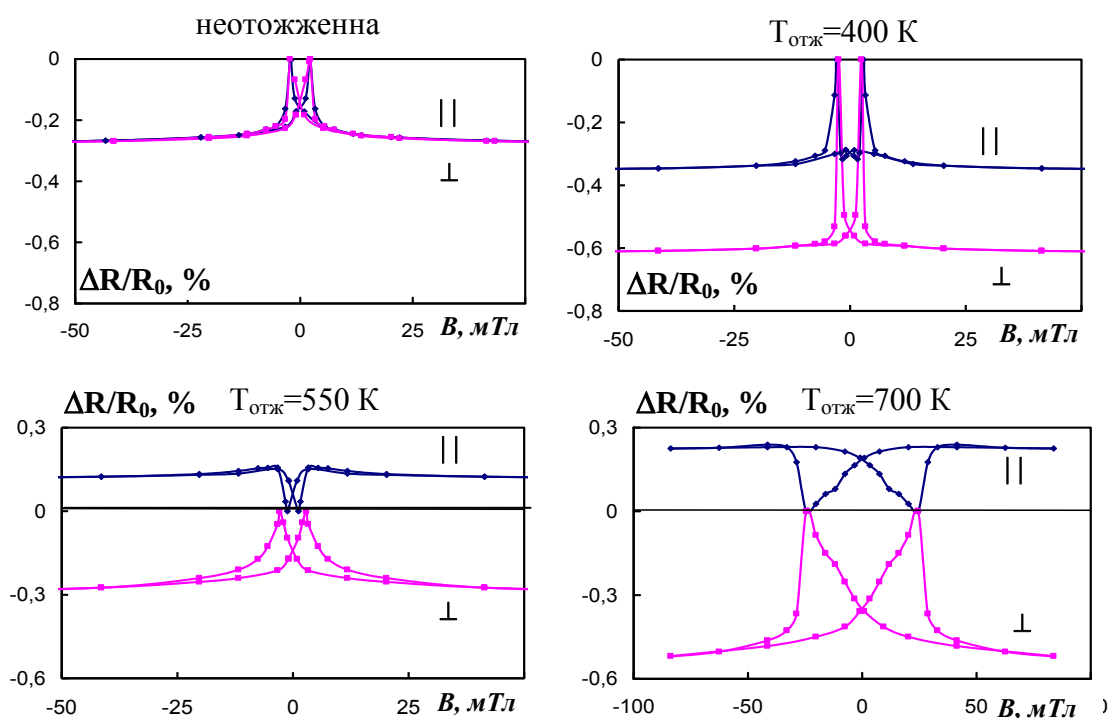


Рис. 1. Зависимость продольного (||) и поперечного (⊥) МС от индукции внешнего магнитного поля B для неотожженной и отожженной при различных температурах пленки Co/Ag/Co ($2d_{\text{Co}} = 50$ нм, $d_{\text{Ag}} = 10$ нм)

Для неотожженных пленок с $d_{\text{Ag}} = 6-9$ нм также наблюдается отсутствие анизотропии МС, но величина МС при этом не превышает 0,3%. В следствии малости серебряной прослойки, для этих пленок прошедших отжиг при 400 К уже наблюдается АМС. Величина МС при этом существенно не изменяется. После отжига при более высоких температурах поведение петель магниторезистивного гистерезиса для этих пленок подобно поведению полевых зависимостей для пленок с $d_{\text{Ag}} = 10-14$ нм.

Для неотожженных и отожженных при разных температурах трехслойных пленок с $d_{\text{Ag}} < 6$ нм или с $d_{\text{Ag}} > 20$ нм наблюдается только АМС.

На рис.2 приведены зависимости $(\Delta R/R_0)_{\text{max}} = f(T_{\text{отж}})$ для продольного (||) и поперечного (⊥) МС трехслойных пленок с разными толщинами магнитных и немагнитных слоев. Для пленок с $2d_{\text{Co}} = 50$ нм и $d_{\text{Ag}} = 10$ нм (рис.2а) отжиг при 400 К приводит к увеличению поперечного МС в 2 раза, а продольное МС увеличивается незначительно. Увеличение МС после отжига при 400 К, возможно, связано с расслоением кобальта и серебра на границе раздела, ведущим к образованию более гладкой границы раздела и уменьшению величины

флуктуаций товщини срібляної прослойки. В результаті магнітостатическа зв'язь між шаром кобальту зменшується, а антиферромагнітна збільшується. Як відзначають автори [2] в даній ситуації не виключено, що, по мимо вказаних вище причин, на поведінку величини МС плінок також оказує вплив механізм розсіяння електронів в магнітних шарах зв'язаний з шерохватостями межзеренних границь. Так, з ростом температури отжигу збільшується глибина дифузії проміжочного шару срібра в об'ємі шарів кобальту, що веде до зростанню ролі спин-залежного розсіяння на границях зерен в ефекті ГМС плінок. Ідущий одночасно з процесом дифузії отжиг надлишкових вакансій в об'ємі шарів кобальту також є причиною невеликого зросту ГМС, оскільки збільшується потік спин-поляризованих електронів, що рухаються до границі розділу між шарами.

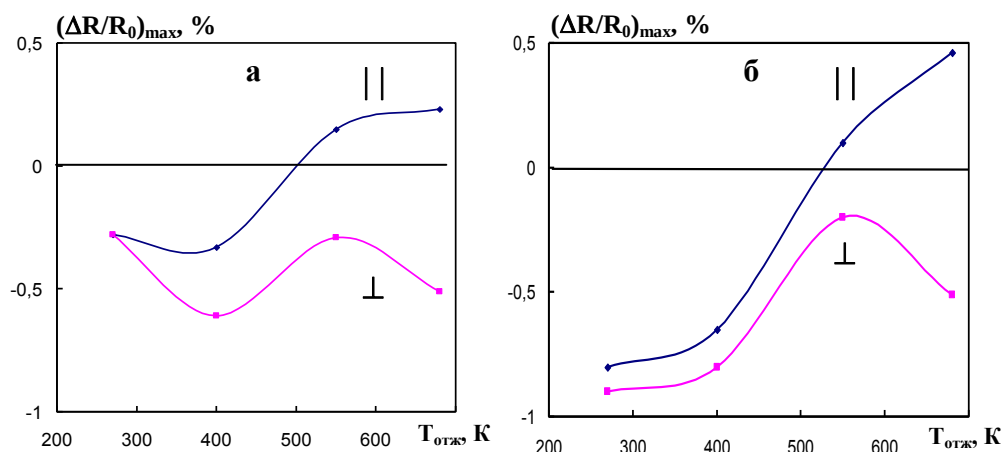


Рис. 2. Зависимость продольного (||) и поперечного (⊥) магнитосопротивления $(\Delta R/R_0)_{\max}$ от температуры отжига $T_{\text{отж}}$ для трехслойных пленок Co/Ag/Co (а: $2d_{\text{Co}}=50$ нм, $d_{\text{Ag}}=10$ нм; б: $2d_{\text{Co}}=70$ нм, $d_{\text{Ag}}=15$ нм)

При дальнейшем росте температуры отжига наблюдается существенное уменьшение величины МС и переход к АМС. Уменьшение $(\Delta R/R_0)_{\max}$ после отжига при 550 К, обусловлено увеличением размеров зерна, которое приводит к образованию структурно-не сплошной прослойки серебра и ведет к прямой обменной связи между слоями кобальта. Появление прямой обменной связи между слоями кобальта приводит также и к возникновению АМС. Отжиг при 700 К приводит только к увеличению АМС.

Несколько иное поведение зависимости $(\Delta R/R_0)_{\max}=f(T_{\text{отж}})$ наблюдается для продольного (||) и поперечного (⊥) МС трехслойных пленок $2d_{\text{Co}}=70$ нм и $d_{\text{Ag}}=15$ нм (рис.2б). Отжиг при 400 К, не приводит к увеличению величины МС, а наоборот приводит к незначительному ее уменьшению. По-видимому в этих неотожженных пленках слои Со связаны как магнитостатическим взаимодействием, возникающим из-за шероховатостей на границе раздела, так и относительно сильным антиферромагнитным взаимодействием [3]. Антиферромагнитное взаимодействие приводит к возникновению в этой системе

эффекта ГМС (1% при комнатной температуре). По нашему мнению даже низкотемпературный отжиг приводит к ослаблению антиферромагнитного взаимодействия между слоями Co.

При дальнейшем росте температуры отжига величина MC резко падает и наблюдается переход к АМС. Далее поведение зависимости $(\Delta R/R_0)_{\max} = f(T_{\text{отж}})$ подобно зависимостям для пленок с $d_{\text{Ag}} = 10$ нм.

Магнитные параметры пленок

По петлям магниторезистивного гистерезиса были определены коэрцитивная сила H_C и поле насыщения H_S . Коэрцитивная сила определялась по расположению пиков петли, а поле насыщения принимали равным полю, измеренном на высоте $0,9(\Delta R/R_0)_{\max}$ на кривой $\Delta R/R_0 = f(H)$.

Как известно в трехслойных пленках коэрцитивная сила определяется компонентой, обусловленной обменной связью ферромагнитных слоев H_C^* и компонентой, обусловленной закреплением доменной границы структурными дефектами H_C^0 [4]:

$$H_C = H_C^* + H_C^0.$$

Структурными дефектами поликристаллических пленок являются границы между зернами, дисперсия осей кристаллографической анизотропии, шероховатости поверхности.

Кривые зависимости $H_C = f(T_{\text{отж}})$ для трехслойных пленок Co/Ag/Co с разными толщинами серебряной прослойки представлены на рис. 3.

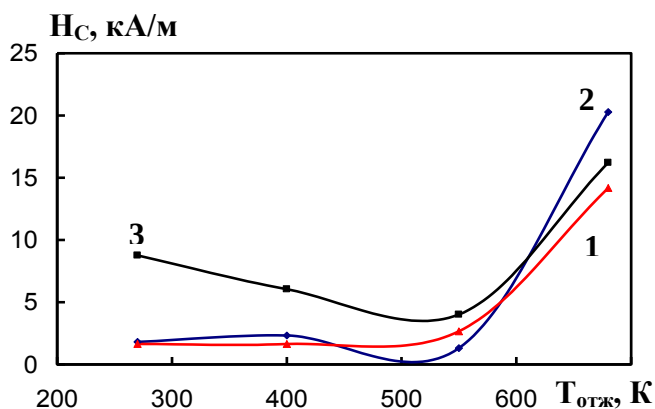


Рис. 3. Зависимость коэрцитивной силы H_C от температуры отжига $T_{\text{отж}}$ для трехслойных пленок Co/Ag/Co

(1: $2d_{\text{Co}} = 70$ нм, $d_{\text{Ag}} = 5$ нм; 2: $2d_{\text{Co}} = 50$ нм, $d_{\text{Ag}} = 10$ нм; 3: $2d_{\text{Co}} = 70$ нм, $d_{\text{Ag}} = 15$ нм)

Для пленок с $d_{\text{Ag}} = 5$ нм с изначальным АМС кривая зависимости $H_C = f(T_{\text{отж}})$ подобна поведению H_C однослойных пленок чистого кобальта представленных в работе [4]. Коэрцитивная сила этих пленок, отожженных при 400 К не изменяется, отожженных при 550 К, увеличивается в 2,5 раза, а отожженных при 700 К – в 5-6 раз. Увеличение H_C при отжиге трехслойных пленок с изначальным АМС обусловлено по нашему мнению теми же причинами,

что и для пленок чистого Co (ростом размера зерна и перераспределением точечных дефектов по межзеренным границам).

В пленках Co/Ag/Co с $d_{Ag}=10$ нм отожженных при 400 К снятие внутренних напряжений и выравнивание промежуточного слоя по толщине, по видимому, сопровождается усилением обменной связи между слоями Co. Это является причиной возрастания компоненты коэрцитивной силы, обусловленной обменной связью ферромагнитных слоев H_C^* .

После отжига при 550 К H_C данных пленок уменьшается почти в 2 раза, хотя рост размера зерна способствует возрастанию компоненты коэрцитивной силы, обусловленной взаимодействием доменной стенки со структурными дефектами. По видимому увеличение размера зерна приводит также и к увеличению шероховатости границ раздела, что ослабляет обменную связь между слоями Co и приводит к более существенному уменьшению компоненты H_C^* .

Отжиг при 700 К приводит к росту H_C более чем в 10 раз. Значительный рост H_C после высокотемпературного отжига можно объяснить существенным ростом размера зерна и увеличением дефектности межзеренных границ.

Иная ситуация наблюдается в неотожженных и отожженных при 400 К пленках с $d_{Ag}=15$ нм. Для неотожженных пленок характерны большие значения H_C (8-10 кА/м), которые обусловлены, по видимому, большой силой антиферромагнитной межслойной обменной связи. После отжига при 400 К значение H_C уменьшается в 1,3-1,5 раза. По нашему мнению, для данных пленок даже низкотемпературный отжиг приводит к уменьшению обменной связи, что является причиной уменьшения коэрцитивной силы. Дальнейший ход кривой зависимости $H_C=f(T_{отж})$ подобный поведению H_C пленки с $d_{Ag}=10$ нм.

На рис. 4 представлены кривые зависимости $H_S=f(T_{отж})$ для трехслойных пленок Co/Ag/Co с разными толщинами серебряной прослойки (H_S – поле в котором магнитные моменты в нижнем и верхнем слоях Co выстраиваются параллельно).

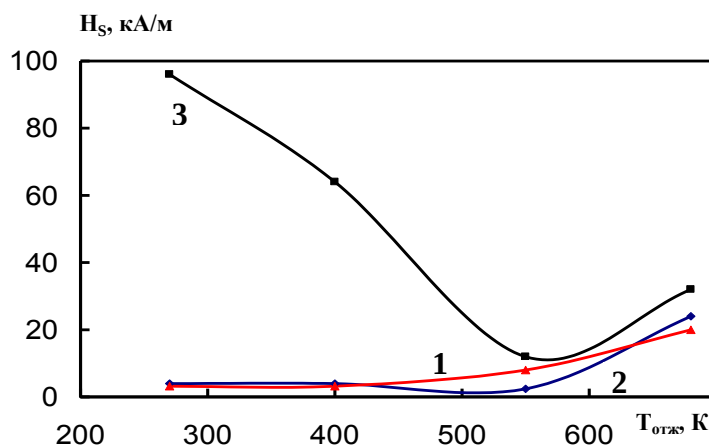


Рис. 4. Зависимость поля насыщения H_S от температуры отжига $T_{отж}$ для трехслойных пленок Co/Ag/Co

(1: $2d_{Co}=70$ нм, $d_{Ag}=5$ нм; 2: $2d_{Co}=50$ нм, $d_{Ag}=10$ нм; 3: $2d_{Co}=70$ нм, $d_{Ag}=15$ нм)

Так как поле насыщения пропорционально силе антиферромагнитной междослойной обменной связи, а последняя определяет величину ГМС, то наблюдается корреляция кривых $(\Delta R/R_0)_{\max} = f(T_{\text{отж}})$ и $H_S = f(T_{\text{отж}})$. Следует также отметить, что наблюдается корреляция между значениями коэрцитивной силы и поля насыщения в трехслойных пленках Co/Ag/Co. Подобные корреляции наблюдали и авторы [5] для трехслойных пленок Co/Cu/Co. Из этого следует, что коэрцитивная сила, обусловлена обменной связью между ферромагнитными слоями. Минимум на кривых $H_S = f(T_{\text{отж}})$ так как и для кривых $(\Delta R/R_0)_{\max} = f(T_{\text{отж}})$ и $H_C = f(T_{\text{отж}})$ связанный с переходом ГМС в АМС.

Выводы

- 1 Установлено, что в трехслойных пленках Co/Ag/Co с $d_{\text{Ag}} = 10$ нм отжиг при 400 К приводит к увеличению МС, а пленках с $d_{\text{Ag}} = 15$ нм к его уменьшению.
- 2 Установленный переход от ГМС к АМС в трехслойных пленках Co/Ag/Co после отжига при 550 К обусловленный нарушением непрерывности промежуточного слоя серебра.
- 3 Показано, что антиферромагнитная связь между слоями кобальта обуславливает большую величину коэрцитивной силы. При низкотемпературном отжиге H_C изменяется не значительно, а при высокотемпературном существенно увеличивается. Минимум, который наблюдается на кривых зависимости $H_C = f(T_{\text{отж}})$ связанный с переходом ГМС в АМС (исчезновение антиферромагнитной связи между слоями Co).
- 4 Установлено, что в трехслойных пленках Co/Ag/Co наблюдается корреляция между значениями коэрцитивной силы и поля насыщения.

Литература

1. Лобода В.Б. Электропроводность тонких пленок Ni и сплавов Ni-Cu в слабых магнитных полях в интервале температур 100-700К / В.Б. Лобода, С.Н. Пирогова, Ю.А. Шкурдода // Вісник СумДУ. – 2003. – №10(56). – С. 89-99.
2. Свиркова Н.Н. Влияние рассеяния электронов на междослойных границах магнитных слоев на магниторезистивное отношение поликристаллического сэндвича при поперечном переносе заряда / Н.Н. Свиркова // ЖТФ. – 2004. – Т. 74, №3. – С. 14-19.
3. Физика тонких пленок / [Под ред. Франкомба М.Х. и Гофмана Р.М.]. – Москва: Мир, 1973. – Т. 6. – 1973. – 392 с.
4. Чеботкевич Л.А. Влияние кристаллической структуры и междослойной обменной связи на коэрцитивную силу Co/Cu/Co – пленок / Л.А. Чеботкевич, Ю.Д. Воробьев, А.С. Самардак, А.В. Огнев // ФТТ. – 2003. – т. 45, №5. – С. 863-866.
5. Чеботкевич Л.А. Структура и магнитные свойства отожженных пленок Co/Cu/Co / Л.А. Чеботкевич, Ю.Д. Воробьев, И.Н. Буркова, А.В. Корнилов // ФММ. – 2000. – т. 89, №3. – 2002. – С. 56-61.

6. Baibich M.N. Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices / M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert [et all.] // Phys. Rev. Lett. – 1988. – V. 61, № 21. – P. 2472-2476.

Анотація. Шкурдода Ю.О., Коломієць В.М. Вплив температури відпалювання на магнітоопір та магнітні параметри тришарових плівок Co/Ag/Co. Досліджувались тришарові плівки Co/Ag/Co з товщиною шарів $2d_{\text{Co}} = 50\text{-}70$ нм і $d_{\text{Ag}} = 5\text{-}50$ нм. Показано, що в невідпалених зразках з товщиною $d_{\text{Ag}} = 10\text{-}20$ нм реалізується ефект гігантського магнітоопору (ГМО). В даній системі спостерігається кореляція між значеннями коерцитивної сили та поля насичення.

Ключові слова. Гігантський магнітоопір, анізотропний магнітоопір, коерцитивна сила, поле насичення.

Аннотация. Шкурдода Ю.А., Коломиец В.Н. Влияние температуры отжига на магнитосопротивление и магнитные параметры трехслойных пленок Co/Ag/Co. Исследовались трехслойные пленки Co/Ag/Co с толщиной слоев $2d_{\text{Co}} = 50\text{-}70$ нм и $d_{\text{Ag}} = 5\text{-}50$ нм. Показано, что в неотожженных образцах с толщиной $d_{\text{Ag}} = 10\text{-}20$ нм реализуется эффект гигантского магнитосопротивления (ГМС). В данной системе наблюдается корреляция между значениями коэрцитивной силы и поля насыщения.

Ключевые слова. Гигантское магнитосопротивление, анизотропное магнитосопротивление, коэрцитивная сила, поле насыщения.

Summary. Shkurdoda Y., Kolomiets V. The influence of the annealing temperature on magnetoresistance and magnetic parameters of three-layer films Co/Ag/Co. The three-layer Co/Ag/Co films with the layer thickness $2d_{\text{Co}} = 50\text{-}70$ nm and $d_{\text{Ag}} = 5\text{-}50$ nm have been analyzed. It has been proved that the effect of giant magnetoresistance (GMR) is observed in the unannealed samples with the interlayer thickness $d_{\text{Ag}} = 10\text{-}20$ nm. The correlation between the values of the coercive force and the saturation fields has been detected in the above-mentioned system.

Key words. Giant magnetoresistance, anisotropic magnetoresistance, coercive force, saturation field.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

С.І. Петренко

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ДИДАКТИЧНИЙ ТЕСТ І ЕФЕКТИВНІСТЬ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Освіта є одним з визначальних факторів розвитку перетворень в Україні. Тому до її організації потрібні особливі підходи, зокрема цілеспрямована інтенсифікація навчального процесу й активізація окремих його складових.

Одним із можливих шляхів, що дозволяють активізувати процес навчання є тестування. У сучасній педагогічній практиці тестові завдання використовуються для перевірки навчальних досягнень з метою їх оцінки, а також для корекції процесу навчання.

Дидактичний тест – це система завдань специфічної форми і певного змісту, яка дає змогу якісно оцінити структуру й виміряти рівень засвоєння знань та сформованості вмінь і навичок учнів з предмета. Дидактичні тести розрізняють за багатьма ознаками. Так, наприклад, виділяють тести стандартизовані, розроблені фахівцями в спеціалізованих установах. Такі завдання придатні для проведення цілої серії повторних вимірювань у великих навчальних групах (наприклад, для проведення зовнішнього незалежного оцінювання, у великих групах студентів на курсі тощо) – і неформальні, розроблені самими викладачами для кожної конкретної навчальної ситуації.

За характером дій, необхідних для виконання запропонованих у тесті завдань, дидактичні тести розподіляють на пізнавальні і психомоторні. Пізнавальні тести потребують, щоб учень, вирішуючи тестові завдання, використовував знання й інтелектуальні вміння. Для оцінки цих відповідей часто використовується бінарна система, яка розрізняє тільки два види відповідей – правильні й неправильні. Психомоторні тести містять завдання, які вимагають від учня використання вмінь і навичок переважно репродуктивного характеру, наприклад, відповідно рухатись, здійснювати робочі маніпуляції з предметами тощо. При цьому дії, як правило, оцінюються за точністю, швидкістю, якістю виконання і т. п.

За різноманітністю цілей розрізняють тести готовності до навчання та тести результатів навчання. Тести готовності до навчання (вхідного контролю) призначені для прогнозування якості навчання в майбутньому. Вони використовуються під час вступу до навчального закладу, перед початком вивчення предмета, розділу, теми тощо. Завдання такого тесту базуються на основних знаннях і навичках з відповідної галузі науки, потрібних для подальшого навчання. Тести результатів навчання орієнтовано на встановлення

безпосередніх результатів навчання. Вони застосовуються для виявлення якості вивчення матеріалу відповідного предмета або його частини. Результати тестування можуть бути використані з метою корекції навчальних досягнень учнів.

За способом проведення тестування можна розділити на усні, письмові та автоматизовані. Усні завдання зазвичай проводяться в режимі запитання – відповідь. В більшості випадків воно має за мету перевірити швидкість процесів мислення. письмове та автоматизоване тестування можливо проводити в режимі обмеження часу. Автоматизоване тестування передбачає використання комп'ютерної техніки або інших спеціалізованих технічних пристроїв, та відповідного програмного забезпечення. Проведення автоматизованого тестування передбачає володіння навичками роботи з відповідною технікою і програмним забезпеченням.

Для реалізації функцій вимірювання якості знань тест має містити достатню кількість тестових завдань, яка визначає довжину тесту. За цією ознакою тести можуть бути короткими (10-20 завдань), середніми та довгими (300 і більше завдань).

За рівнями складності можна виділити такі групи тестових завдань, які дають змогу виявити сформовані рівні компетентності учнів з навчальної теми чи розділу дисципліни:

Тести початкового рівня (тести на впізнавання, розуміння) належать до методів контролю засвоєння знань на понятійному рівні. До цих тестів можна віднести завдання, які передбачають відповідь «так» або «ні», завдання на розпізнавання, які містять запитання зі змістом «що це таке?».

Тести середнього рівня передбачають перевірку засвоєння знань на репродуктивному рівні (відтворення й застосування) і містять завдання-підставки («закінчити визначення», «підставити пропущене слово»), завдання на класифікацію та встановлення відповідності, завдання на вибір правильної відповіді.

Тести достатнього рівня містять завдання, які вирішуються за певним алгоритмом, а також завдання на класифікацію та встановлення відповідності.

Тести високого рівня дають змогу виявити високий рівень засвоєння знань і містять завдання, які потребують розв'язання практичних завдань проблемного характеру, критичної оцінки, аналізу й синтезу інформації або застосування отриманих знань у нетипових умовах.

Завдання є основним елементом кожного дидактичного тесту. За способом виконання завдань тести поділяють на:

- закриті (із запропонованою відповіддю, з вимушеною відповіддю), коли учню пропонуються на вибір декілька відповідей, з яких одна або кілька правильні;
- відкриті, що потребують детальної або короткої відповіді, яку учень висловлює довільно й самостійно.

Тести закритої форми можна представити в вигляді цілого ряду завдань різних за формою та способом виконання:

- дихотомічні;
- з вибором відповіді;
- завдання на приєднання;
- завдання на впорядкування.

Дихотомічне завдання містить твердження, відносно якого учень повинен вирішити, правильне воно чи неправильне, або запитання, на яке потрібно відповісти «так» чи «ні». Недоліком дихотомічних завдань є досить висока ймовірність угадування правильної відповіді.

Завдання з вибором відповіді є найпоширенішим видом тестів. Вони складаються з так званої основи й комплексу запропонованих відповідей. Основа містить запитання, неповне твердження чи короткий текст з інформацією, важливою для запитання. У комплексі пропозицій 3—5 варіантів відповіді одна або кілька з яких вірні, інші правдоподібні, але помилкові.

Завдання на приєднання (на відповідність) розробляються за принципом встановлення відповідності їхніх частин. Завдання включає інструкцію і дві або більше сукупності (стовпці) понять, слів, фраз, графічних зображень, формул, знаків тощо. До кожного елемента першої групи учень повинен приєднати один з елементів другої групи у такий спосіб, щоб установлена відповідність правильно відображала їхній взаємозв'язок.

Завдання на впорядкування на встановлення правильної послідовності містять інструкцію та групу понять або компонентів діяльності в довільному порядку. Учень повинен розмістити ці поняття (компоненти) у послідовності відповідно до вимог інструкції, наприклад, за хронологією, за величиною, за важливістю тощо.

Відкриті тексти з короткою відповіддю й закриті становлять групу так званих об'єктивних завдань і дають змогу однозначно визначити, правильна чи неправильна відповідь. При цьому спосіб розв'язання, як правило, не оцінюється.

У відкритих тестах з короткою відповіддю учень повинен вписати її у відповідне місце. Правильною може бути словесна або несловесна відповідь (число, символ, умовний знак, математична залежність, рівняння чи формула, простий графік тощо), результат короткого розрахунку. Розрізняють дві форми завдань з короткою відповіддю — основну й додаткову. Основна форма завдання містить запитання, на яке потрібно дати відповідь, або завдання, яке слід виконати. Додаткове завдання являє собою твердження, у якому пропущено важливу інформацію, що надає цьому твердженню відповідного правильного змісту. Учень повинен вписати цю інформацію у відведене місце. При використанні відкритих тестів в автоматизованому режимі тестування необхідно мати однозначну відповідь.

У випадку використання відкритих завдань із детальною відповіддю часто оцінюється не тільки результат, а й хід вирішення завдання. Детальною

відповіддю можуть бути міркування, опис, детальний розрахунок, обґрунтування, розв'язання проблеми, схема, креслення тощо. Іноді в оцінюванні таких відповідей враховується їхня оригінальність. Необхідно зазначити, що за виконання складних і великих за обсягом завдань оцінка відповіді може бути трудомісткою та залежати від суб'єктивного підходу вчителя.

Невід'ємними компонентами кожного типу тестів є вказівка (інструкція) до завдання (що зробити? — вибрати, підкреслити, назвати, розв'язати, установити відповідність тощо) і власне зміст завдання — фрагмент питання теми, яка вивчається. Відсутність інструкції перетворює тест на перелік вибірково залучених компонентів змісту та допускає багатозначність його трактування й виконання. [3]

Процес розробки дидактичного тесту передбачає декілька етапів розроблення дидактичного тесту

Етап планування. Визначення мети й загального змісту тесту відповідно до бази знань теми. Аналіз навчального матеріалу й визначення цілей навчання. Розроблення проекту тесту та критеріїв оцінювання виконаних завдань.

Етап побудови. Створення проекту завдань тесту. Оцінка завдань компетентними особами (виконання аналізу тестових завдань та їхньої відповідності з іншими видами робіт з теми). Редагування завдань і розроблення детальних інструкцій щодо їхнього виконання. Складання зразка тесту.

Етап перевірки й корекції. Перевірка зразка тесту у вибраній групі студентів. Статистичний аналіз результатів тесту й окремих відповідей. Редагування тесту й розроблення вказівок до нього.

Використання тесту. Розроблення стандарту тесту. Упровадження тестових завдань у процес вивчення предмета та своєчасна їхня корекція відповідно до зміни навчальної ситуації. [2]

Тести є незамінними для перевірки засвоєння теоретичних матеріалів на репродуктивному й алгоритмічно-дійовому рівнях. Самі тести можна проводити у вигляді тестових диктантів, роботи на бланках або в вигляді комп'ютерного тестування. Вони дають змогу охопити всіх учнів протягом короткого часу на занятті. Незважаючи на широке впровадження тестів у практику перевірки знань учнів, необхідно наголосити на їхній специфічності й обмеженості. Важливо пам'ятати, що не всі учні здатні до швидкого реагування в умовах стресу, яким є кожен контрольний захід. Тому на практиці потрібно варіювати використання всіх способів проведення тестувань, в тому числі і без контролю часу. Регулярне використання тестових завдань в навчальному процесі нівелює стресовість ситуації під час сеансів контролю навчальних досягнень.

Для проведення усного та письмових тестувань доцільно використовувати таблиці відповідей, в відповідних клітинки яких проставляється відповідний знак, що позначає варіант правильної відповіді. З метою оперативного отримання результатів контролю для викладача доцільно виготовити бланк трафарету відповідей. При виготовленні трафарету клітинки, що відображають вірні

варіанти відповідей пробиваються і перевірка результатів відбувається шляхом механічного накладення трафарету на бланк. цілком зрозуміло, що цей варіант підходить тільки для тестів закритої форми.

Зразок 1. Таблиця відповідей для тестів закритої форми.

	A	B	C	D
1	☐	☐	☐	☐
2	☐	☐	☐	☐
3	☐	☐	☐	☐
4	☐	☐	☐	☐

	A	B	C	D
5	☐	☐	☐	☐
6	☐	☐	☐	☐
7	☐	☐	☐	☐
8	☐	☐	☐	☐

	A	B	C	D
9	☐	☐	☐	☐
10	☐	☐	☐	☐
11	☐	☐	☐	☐
12	☐	☐	☐	☐

Тести закритої форми вимагають іншого підходу для проведення процесу тестування, тому і таблиці відповідей будуть мати інший вигляд. З метою напрацювань різних дидактичних ситуацій можливий варіант роздільного використання таблиць відповідей з текстовим і числовим варіантами.[1,133]

Зразок 2. Таблиця відповідей для тестів відкритої форми з текстовим варіантом відповіді

1	
2	
3	
4	

Використання тестових завдань відкритої форми з числовим варіантом відповіді передбачає заздалегідь погоджені правила заповнення таблиці відповідей.

Зразок 3. Таблиця відповідей для тестів відкритої форми з числовим варіантом відповіді [4]

№ завд.	Відповідь					
1						
2						
3						
4						
5						

Автоматизоване тестування передбачає наявність відповідного програмного забезпечення. Всі програми для проведення комп'ютерного

тестування складаються з двох-трьох модулів. Перший модуль призначений для створення бази тестових завдань і другий модуль для проведення процесу тестування. В практичній роботі використати можна серверний набір програм My Test, що безкоштовно поширюється на сайті www.klyaksa.net. Ця програма містить і третій серверний модуль, що дозволяє, використовуючи локальну мережу організувати централізований збір і обробку результатів тестування. Недоліком цієї програми є фіксований набір тестових запитань. Але можливість введення різноманітних видів тестових завдань переважає цей невеликий недолік. Програма дозволяє вводити тестові завдання восьми типів: одиночний вибір, вибір декількох варіантів, встановлення відповідності, встановлення порядку, ручне введення числа, ручне введення тексту, встановлення істинності або хибності виразу, а також вибору місця на малюнку. Кожне завдання може мати свою систему оцінювання в залежності від складності. Тестування можна проводити в режимах: навчання, вільному і штрафному. Режим навчання передбачає виведення повідомлень про помилки і пояснення до завдання. У вільному режимі можна пропускати завдання а також повертатися до будь-якого завдання. Штрафний режим передбачає пропуск питань і віднімання балів за невірні відповіді. Програма дозволяє організувати тестування без обмеження часу і з обмеження часу. Обмеження часу можна встановити як для всього тесту, так і для кожного завдання. Існує можливість створення паперового варіанту тестових завдань. Для запобігання механічного завдання запитань і варіантів відповідей доцільно встановити довільний порядок виведення завдань і варіантів відповідей.

Окремо потрібно сказати про можливості серверної версії програми. Вона дозволяє створити серверний журнал тестування який збирає інформацію про тестування більше ніж за тридцять параметрами, і проводити аналіз результатів, як в табличному вигляді, так і в вигляді діаграми результатів.[5]

Одним із напрямків використання тестового контролю знань, умінь та навичок можна вважати самоперевірку та самооцінку учня (студента). Використання тестових завдань в контрольно-навчальних цілях дозволяє знайти недоліки в знаннях і використати всі можливості для їх ліквідації. В таких випадках можна говорити про значний навчальний і корекційний потенціал тестових завдань. Використання цього потенціалу повинно стати потужним механізмом в підвищенні ефективності навчального процесу. Оперативний аналіз знань учнів (студентів) дозволяє викладачу внести необхідні корективи для підготовки та проведення занять. Правильно поставлений контроль засвоєння може і повинен надати викладачу чітке уявлення про якість його роботи, про допущені ним помилки та шляхи їх своєчасного виправлення.

Література

1. Бодрик О.О., Збірник завдань для державної підсумкової атестації з інформатики. 11 клас./ О.О.Бодрик, О.Г.Захар, Ж.В.Потапова – Х.: Видавництво «Ранок», 2010. – 136 с.

2. Клайн Пол. Справочное руководство по конструированию тестов. Перевод Е. П. Савченко. – М.: «ПАН Лтд.», 1994. – 283 с.
3. Майоров А. Н. Теория и практика создания тестов для системы образования. – М.: Народное образование, 2000. – 352 с.
4. <http://test.svitosvit.ua/default.aspx?id=18516>
5. <http://mytest.klyaksa.net/>

Анотація. Петренко С.І. Дидактичний тест і ефективність навчального процесу. Дидактичний тест один із можливих шляхів, що дозволяють активізувати процес навчання. Використання потенціалу тестових завдань повинно стати потужним механізмом в підвищенні ефективності навчального процесу. Оперативний аналіз знань учнів (студентів) дозволяє викладачу внести необхідні корективи для підготовки та проведення занять.

Ключові слова. Дидактичний тест, тестові завдання, тести, тестування.

Аннотация. Петренко С.И. Дидактический тест и эффективность учебного процесса. Дидактический тест один из возможных путей, которые позволяют активизировать процесс обучения. Использование потенциала тестовых заданий должно стать мощным механизмом в повышении эффективности учебного процесса. Оперативный анализ знаний учащихся (студентов) позволяет преподавателю внести необходимые коррективы в процесс подготовки и проведение занятий.

Ключевые слова. Дидактический тест, тестовые задания, тесты, тестирование.

Summary. Petrenko S. The Didactic test and efficiency of the scholastic process. The Didactic test is one of the possible ways, which allow to actuate the process of the education. The Use of the potential of the test tasks may be the powerful mechanism in increasing of efficiency of the scholastic process.

Keywords. The Didactic test, test tasks, tests, testing.

УДК 371

О.В. Семеніхіна, В.Г. Шамоня*Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка***ДО ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ еБуків В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС**

Інформаційні технології швидко проникають в усі галузі народного господарства. Нас невідворотно очікує масове розповсюдження портативних і надійних високопродуктивних пристроїв (нетбуки, комунікатори, планшети тощо). Їх невеликі розміри і великі потужності вже сьогодні вимагають нових підходів до сприйняття та представлення інформації, типовим носієм якої раніше була книга. Це, в свою чергу, вимагає нового стилю роботи з інформаційними джерелами і навчальними матеріалами. Тому сьогодні достатньо актуальними для освітньої галузі є проблеми свідомого використання технічних пристроїв та електронних навчальних засобів. Серед таких наразі варто виділити рідери.

Рідером називають електронний пристрій для візуалізації текстової інформації. Він має прямокутну форму книжкового формату, екран в 10 дюймів і кілька кнопок знизу для навігації. Дисплеєм рідера слугує так званий електронний папір, зображення на якому мало відрізняється від книжкової сторінки, а текст відображається електронним чорнилом (eINK). В основу роботи такого чорнила покладено принцип електрофорезу або ефект електрозмочування, які дають змогу відтворювати до 16 відтінків сірого кольору. При цьому, на відміну від традиційних дисплеїв, на електронному папері не відбувається зміна картинки по декілька разів на секунду, тому при роботі з таким папером не так заморюються очі.

Не дивлячись на те, що електронні книги за рядом параметрів поступаються паперовим, вони активно будуть входити в наше життя, оскільки така книга важить близько 200г, і при цьому у флеш-пам'ять такої книги вміщається текст кількох сотень звичайних книг. Сьогодні букридери здатні відтворювати вміст файлів в форматах fb2, doc, txt, pdf, DjVu, rtf, html, prc, chm, але не всі моделі одночасно, використання кольорового електронного чорнила ще неможливе, але інформаційні технології розвиваються дуже швидко, тому ці проблеми будуть вирішені.

З цих міркувань в ряді країн близького і далекого зарубіжжя керівництвом держав прийнято рішення про перехід до електронних навчальних видань і «букридизації» галузі освіти. Так, міністерство освіти Південної Кореї заявило про повну відмову від паперових підручників до 2011 року. Американський департамент освіти на програму «букридизації» планує виділити до \$9 млрд. В Росії розпочато експеримент з впровадження букридерів (українського виробництва!) в Московських школах. На теренах України такий експеримент започатковано для 7-11 класів з 1 вересня 2010 року (проект «Школьний

електронний учебник PocketBook901»), але помітна витратність (кожен букрідер коштує не менше \$400) ще й досі перебиває позитивні зрушення.

В інтернеті розповсюджено інформацію про букрідери та еБуки. Науковці ще не прийшли до одностайності в коректному формулюванні відмінностей цих засобів. Але пропонується, з чим ми і погоджуємось, під букрідером розуміти пристрій, який представляє текстову інформацію на електронному папері, під еБуком розуміти саме електронну версію представлення певної інформації (електронну (цифрову) версію підручника, навчального посібника, цілої навчально-методичної системи тощо). В подальшому під словом еБук будемо розуміти програмно-апаратний комплекс, котрий складається з пристрою відтворення різноманітних даних (текст, звук, відео тощо) та спеціалізованого наповнення педагогічного спрямування.

Хоча наразі відсутній напрацьований досвід використання еБуків в загальноосвітніх навчальних закладах, все ж таки можна виділити їх певні особливості як фізичні, так і методичні.

По-перше, еБуки легкі та зручні у використанні, їх нетрадиційна форма слугує активізатором уваги учня. Все це позитивно впливає на емоційний та фізичний стан учнів загальноосвітніх закладів. Але для шкільних паперових підручників стали нормою двокольоровий (і більше) друк тексту і кольорові вкладки. Хоча еБуки і підтримують кілька відтінків сірого кольору, з позицій кольорового сприйняття навчального матеріалу вони дещо програють.

По-друге, сучасні електронні посібники побудовані з використанням екранів «E-ink» (електронне чорнило). Такі екрани, як уже зазначалося, працюють за принципом різниці коефіцієнтів відбиття зовнішнього світла, що з позицій фізіології зорового сприйняття є більш прийнятним порівняно з екранами комп'ютерів, котрі є джерелами світла, яке випромінюється. Але вирізнення букв залежить від яскравості фону і контрастності тексту. Різні характеристики звичайного паперу (у тому числі, і яскравість) регламентуються державними стандартами, чого не можна сказати про виробників еБуків – вони не сертифікують свої пристрої. Порівняння «на глазок» дає зображення на електронному папері менш яскравим і контрастним, ніж на звичайному – «домашній» дослідження показали, що електронний папір відбиває близько 50% падаючого світла на відміну від звичайного паперу, який відбиває 80%.

По-третє, сучасні еБуки для оперування представленим контентом використовують технології сенсорного керування. Вони є звичними і зрозумілими для учнів, але не обов'язково для вчителів, особливо старшого покоління.

До того ж, сьогодні еБуки розповсюджуються в готовому запрограмованому вигляді, оскільки для освіти – це новація, і не кожен вчитель підготовлений до використання таких засобів у навчальному процесі. Це зумовлює необхідність додаткового вивчення відповідного програмного забезпечення як учителем, так і учнями. Але... Працювати в школу молодь майже не йде (матеріальний стимул замалий), основний прошарок освітян – вчителі,

старші за 40 років. Вони навчалися ще за класичними методиками і майже не використовують сьогодні комп'ютер на власних уроках, тому можна очікувати, що такі новації вони зустрінуть прискіпливо і неохоче.

Разом з цим варто зазначити, що створені вчителями електронні презентації, в основу яких покладені кольорові зображення, музичний супровід тощо, через відсутність підтримки таких файлів в еБуках будуть покладені «на полку» – потрібно буде створювати або нове ПЗ, яке б читало формати презентацій, або нові вчительські навчальні матеріали, які буде «розуміти» еБук.

Методичним недоліком еБуків можна вважати обмеженість в демонстрації кількох сторінок одночасно – на екрані еБука відображається лише одна, вибрана з багатьох тисяч, сторінка навчального матеріалу. Тому, навіть за наявності гіперпосилань, буде важко напрацьовувати в учнів перехресні локальні та міжпредметні зв'язки.

Не тільки перевагою, але і недоліком можна вважати передбачений в еБуці доступ до Інтернет через технології wi-fi, оскільки не виключена можливість використовувати учнями контент не з навчальною метою (а з еБуками вчителям контролювати ненавчальну діяльність учнів буде ще важче).

Також можна стверджувати тезу про те, що розповсюдження пошукових серверів Інтернет суттєво знизило пізнавальну активність сучасної молоді (учнів і студентів). Легкий доступ до великої інформаційної бази і миттєве здійснення пошуку потрібного матеріалу не спонукають сучасну молодь до бажання цю інформацію аналізувати і перетворювати у власні знання. Іншими словами, доступність до інформаційної бази не веде до утворення індивідуальних асоціативно-перехресних понятійних зв'язків, які вимагають їх систематичного напрацювання.

До того ж, наявність в еБуці доступу до мережі відкриває не лише можливість поповнення навчальної інформації, а і доступ до стороннього, як правило, відволікаючого від навчання контенту (різноманітна реклама, соціальні мережі, художній і медіа контент тощо), що не сприяє зосередженості учнів на навчальному матеріалі.

Не можна обійти стороною матеріальні затрати на створення бази еБуків. В масштабах держави підручників знадобиться декілька мільйонів, що в сучасних цінах складатиме близько десятка мільярдів гривень, причому немає гарантії, що ця апаратна база не застаріє упродовж 4-5 років (типовий період старіння персональних комп'ютерів). Розробка, оновлення та вдосконалення програмної компоненти електронних посібників за неписаними нормами сьогодення складає потрібну вартість апаратної частини, тобто декілька десятків мільярдів гривень, причому ця компонента потребує оновлення суттєво частіше, ніж компонента апаратна.

Варто зазначити, що навантаження на навколишнє середовище від виробництва такої кількості електронних підручників сумірне з витратами на друк відповідної кількості традиційних підручників, тому, чи варто переходити на

еБуки з екологічних міркувань – питання суперечливе. Але широке запровадження еБуків напевне послугує стимулом до розвитку методичних досліджень як в сторону розробки нових педагогічних технологій навчання з використанням саме цього типу посібників, так і в сторону вдосконалення внутрішньої структури таких підручників.

Звернемо увагу на те, що навчальний еБук відрізняється від поширеного в побуті поняття еБук саме програмним наповненням педагогічного спрямування. І якщо вдома можна користуватися еБуком як пристроєм для читання різного роду літератури, то використання еБука в навчанні передбачає встановлення і використання програмного забезпечення спеціалізованого призначення. На думку дослідників такий програмний продукт має представляти цілий методичний комплекс, який складається з фактичного теоретичного і практичного наповнення курсу, напрацьованої методики його вивчення і дозволяє самостійно чи з допомогою вчителя опанувати відповідний матеріал.

Важливими вимогами побудови такого програмного продукту виступають повнота викладу, структурування матеріалу, забезпечення індивідуалізації, доступності, використання голосових і візуальних образів, організація зворотного зв'язку (вправи, тести, діалоговий режим) тощо. Він може мати традиційні структурні елементи: основний текст, допоміжні тексти та позатекстові компоненти (апарат організації засвоєння, ілюстративний матеріал). Проте завдяки електронній формі представлення навчального матеріалу можливими є гіпертекстова організація інформації (оперативність доступу до різноманітних інформаційних масивів; надійна система орієнтування; створення умов для побудови власної системи причинно-наслідкових зв'язків) та мультимедіа-наповнення (об'єднання графічних образів, відео, звуку та інших спеціальних ефектів комп'ютерними засобами), що є незаперечною дидактичною перевагою, оскільки дозволяє удосконалити структурні компоненти традиційного посібника і створити цілісне навчальне середовище.

При розробці такого програмного забезпечення варто оцінити наявність діалогового режиму спілкування, підтримку можливості оперативного оновлення даних із всесвітньої мережі, функціональність, простоту навігації, швидкість завантаження, відповідність рівню комп'ютерної техніки, наявної в навчальному закладі, дизайн-ергономіку, типи модулів навчального матеріалу (текстові модулі, гіпертекстові посилання, статичні ілюстрації, відео- і аудіофрагменти); модулі діагностики знань, систему багаторівневої допомоги.

Сучасне суспільство напрацьовує нову інформаційно-освітню базу упродовж 10-12 років. Цей період суттєво менший за час зміни поколінь, в тому числі і вчителів. І якщо кожна дитина в школі буде використовувати еБук як основне джерело поповнення знань, то основною метою підготовки сучасного вчителя варто ставити не тільки набуття фактичних знань з предмету (хоча сам по собі цей фактор дуже важливий), не тільки здатність самостійно вдосконалювати свою фахову та методичну підготовку (особливо в галузі інформаційних

технологій), а і розуміння фізичних принципів роботи навчальних еБуків, методичних особливостей його використання в навчальному процесі, вміння не тільки оновлювати, а і створювати власне програмне забезпечення для підтримки вивчення предмету чи впровадження власної методики навчання. Можливість оперативної заміни програмного та фактичного наповнення електронних підручників дозволяє широко запровадити творчий підхід до викладання спеціальних дисциплін як в плані спеціалізації, так і в індивідуалізації підходів до навчання.

В цьому плані варто передбачити в межах навчальних програм педвузів навчання елементарних навичок програмування гіпертекстів та використання різноманітних мультимедійних засобів.

На завершення хочемо додати, що впровадження в навчальний процес новацій завжди тернисте. Експериментальні дослідження в цьому напрямку дадуть підґрунтя для вдосконалення не тільки апаратної, але і внутрішньої програмної та фактичної складових засобу навчання нового покоління – еБука.

Анотація. Семеніхіна О.В., Шамоня В.Г. До проблем впровадження еБуків в навчальний процес. У статті розглянуто позитивні та негативні сторони впровадження електронних підручників як програмно-апаратних комплексів у навчальний процес загальноосвітніх та вищих навчальних закладів.

Ключові слова. еБук, рідер, електронний підручник.

Аннотация. Семенихина Е.В., Шамоня В.Г. К проблемам использования еБуков в учебном процессе. В статье рассмотрены позитивные и негативные моменты использования электронных учебников как программно-аппаратных комплексов в учебном процессе общеобразовательных и высших учебных заведений.

Ключевые слова. еБук, ридер, электронный учебник.

Summary. Semenihina O., Shamonya V. The problems of the use eBook in education. This article touches upon positive and negative moments in use of electronic textbook in scholastic process .

Keywords. eBook, rider, electronic textbook.

УДК 004.67+371.214.46

Н.В. Шамшина*Сумский государственный педагогический университет имени А.С. Макаренко*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА MS EXCEL ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НА РЕКУРСИЮ

Рекурсия – это тонкий и изящный инструмент, который при умелом использовании способен сослужить добрую службу программисту. Одно из важных достоинств рекурсивных алгоритмов заключается в том, что они просты и наглядны. Изящество рекурсии в программировании можно сравнить только с изяществом метода индукции в математике. «Когда изучаются циклы – основа вычислительных процессов, без рекурсивных определений не обойтись. Циклы и рекурсия – близнецы-братья» [2]. С их помощью строятся лаконичные и легко понимаемые алгоритмы, а затем и соответствующие информационные модели в виде рекурсивных программ на том или ином языке программирования [4].

Обычно начинающий программист, впервые услышавший про рекурсию, впадает в легкое замешательство. Первоначальное знакомство с ней может вызвать непонимание и легкий шок. В общеобразовательной школе изучению рекурсии уделяют мало внимания. Тема трудна и для учеников и для учителей. Умение описывать вычислительный процесс как циклический или рекурсивный дело далеко не простое.

Между тем, немало практических задач и большинство нетривиальных (олимпиадных) задач имеют рекурсивную природу. Следовательно, необходимо не только знакомить студентов различных специальностей и старших школьников с рекурсивными алгоритмами, но и уделять внимание поиску новых методик и технологий обучения, ориентированных на прочное усвоение соответствующих знаний.

Анализ современных методологических исследований [2–4] показывает, что преподаватели информатики педагогических вузов и популяризаторы информационных технологий в Интернете заинтересованно относятся к данному вопросу, хотя исследований теоретического и практического характера по теме очень мало.

Дидактические преимущества рекурсивного подхода, по сравнению с простым описанием функций и решением с его помощью соответствующих прикладных задач, положительно оценили коллеги Тульского государственного педагогического университета имени Л.Н. Толстого. Экспериментальная группа студентов показала лучшие результаты, по сравнению с контрольной группой, при решении задач через год после освоения курса «Финансовые функции». Сделан вывод о том, что рекурсивный подход «дает возможность не только всесторонне понять содержание излагаемого материала, но сделать это быстро и эффективно. И что особенно важно, полученные знания становятся достоянием

долговременной памяти» [3]. Исследования проводились с использованием экономических задач, решения которых оформлялись в виде рекурсивных программ-функций на языке программирования вычислительной среды Mathcad.

Специализированные математические программы, языки высокого уровня, а вместе с ними и основы программирования студенты изучают на старших курсах сталкиваясь при этом с некоторыми трудностями, поскольку им приходится осваивать незнакомый язык программирования и одновременно логику программы. Можно ли студентов первых курсов и старших школьников учить понятиям «рекурсия» и «циклы» как можно раньше, просто и наглядно, например, используя табличный процессор Excel? Ответ – ДА! Excel является прекрасной средой для начального обучения программированию в школе и ВУЗе.

Видимо это утверждение не слишком охотно воспринимается опытными программистами, так как автор лекций «Основы офисного программирования и документы Excel» В.А. Биллиг на страницах Интернет-Университета Информационных Технологий пишет следующее: «Я высказываю и пытаюсь обосновать здесь "крамольную" мысль о том, что Excel является прекрасной средой начального обучения программированию в школе и в вузах» [2].

Цель данной статьи – показать дидактические возможности Excel и целесообразность его использования при решении математических и практических задач по теме «Рекурсивные вычисления».

Итак, покажем, что применяя Excel можно освоить рекурсивный подход к решению математических и практических задач. Рассмотрим конкретные задачи на рекурсию и их реализацию в программе Excel.

Рекурсией в программировании называется ситуация, в которой какая-либо подпрограмма прямо или через другие подпрограммы вызывает себя в качестве подпрограммы. Реализуемый при этом алгоритм называется рекурсивным [4].

В математике очень часто встречаются последовательности чисел, в которых каждый следующий член выражается через предыдущие. Формулы, выражающие очередной член последовательности через один или несколько предыдущих членов, называют рекуррентными соотношениями.

В арифметической прогрессии, например, каждый следующий член равен предыдущему, увеличенному на разность прогрессии: $a(i) = a(i-1) + d$.

При вычислении факториала $n!$, который определяют как произведение первых n чисел натурального ряда $n! = 1 * 2 * 3 * \dots * n$, также можно использовать рекуррентное соотношение, в котором $n!$ выражается через предыдущий $(n-1)!$, т.е. используется рекуррентная формула:

$$0! = 1, \text{ для любого } n > 0 \quad n! = n * (n-1)!$$

Аналогично при вычислении суммы ряда чисел $S = 1 + 2 + 3 + \dots + n$ можно использовать рекуррентное соотношение:

$$S(1) = 1, \text{ для любого } n > 0 \quad S(n) = n + S(n-1)$$

Важное место в математике занимает последовательность чисел известная как ряд Фибоначчи, так как проявляется в самых неожиданных ее приложениях.

Строгое определение этого ряда следующее: каждое число ряда, начиная со второго, равно сумме двух предыдущих. Вот эта задача в том виде, как формулирует ее сам Фибоначчи: «Пара кроликов через месяц производит на свет другую пару, а потомство они дают со второго месяца после своего рождения. Итак, через месяц будет две пары, через два месяца – три пары, а через четыре месяца – пять, так как к паре, рожденной первой парой, добавятся первые дети от второй пары...». Продолжая процесс, получим количество пар кроликов по месяцам: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 35, 56...эти числа и представляют ряд, названный по имени автора задачи [2].

Рекуррентные соотношения, определяющие вычисление чисел Фибоначчи:
 $F(1) = 1; F(2) = 2; \text{ при } k = 3 \dots N \quad F(k) = F(k-2) + F(k-1)$

Наличие рекуррентного соотношения позволяет использовать рекурсию. Эти и другие задачи используются при обучении программированию в темах: циклы, рекурсия. Иногда их решение вызывает у студентов некоторые трудности, поскольку им приходится осваивать незнакомый язык программирования и одновременно логику программы. В табличном процессоре Excel эти задачи решаются наглядно просто и без программирования, путем создания и копирования формул на рабочем листе.

Это возможно благодаря тому, что одним из преимуществ Excel, его важной особенностью, является применяемый способ задания ссылок на ячейки в формулах. Excel позволяет задавать разные типы ссылок на ячейки: абсолютные, относительные и полуабсолютные. Относительные ссылки – это ссылки относительно положения самого объекта-формулы. Если изменяется положение формулы, то соответственно меняется и ячейка, на которую она ссылается. Ссылки на ячейки можно задавать в двух форматах: A1 и R1C1. По умолчанию ссылки в первом формате являются относительными. Так, например, ссылка F20 является относительной и при копировании формулы (смене положения формулы) будет определять другую ячейку, в зависимости от изменения первоначального положения формулы. Чтобы сделать ссылку абсолютной, нужно добавить символы \$ перед именем столбца и индексом строки: \$F\$20, в этом случае при смене положения формулы на листе ссылка будет указывать на ту же самую ячейку. Пример полуабсолютной ссылки: F\$20, \$F20.

В формулах часто используются относительные ссылки в формате R1C1, в котором явно можно указывать смещение относительно объекта-формулы, например следующим образом: =RC[-2]*RC[-1], что означает перемножить ячейки, одна из которых находится в той же строке, но на два столбца левее от формулы, а другая в той же строке, но на один столбец левее от формулы. Правило записи таких ссылок легко понять из таблицы 1.

Стиль ссылок R1C1 полезен при вычислении положения столбцов и строк в макросах.

Таблица 1.

Ссылка	Значение
R	Абсолютная ссылка на текущую строку
C	Абсолютная ссылка на текущий столбец
R2C2	Абсолютная ссылка на ячейку, расположенную во второй строке и во втором столбце
R[-1]	Относительная ссылка на строку, расположенную выше текущей ячейки
C[-1]	Относительная ссылка на столбец, расположенный левее текущего столбца
R[-2]C	Относительная ссылка на ячейку, расположенную на две строки выше и в том же столбце
RC [-2]	Относительная ссылка на ячейку, расположенную на два столбца левее и в той же строке
R[2]C[2]	Относительная ссылка на ячейку, расположенную на две строки ниже и на два столбца правее

Рассмотрим программную реализацию задачи Фибоначчи в Excel с использованием модуля VBA. При указании ссылок в формуле (Formula) задано смещение по строкам, а столбец не указан, что по умолчанию предполагает использование столбца A объекта (Range). Относительные ссылки позволяют реализовать рекурсивные вычисления.

```
Public Sub Fib()
```

```
    Range("A1") = 1: Range("A2") = 2
```

```
    Range("A3:A20").Formula = "=R[-2]+R[-1]"
```

```
End Sub
```

Однако та же задача совершенно естественно решается в Excel без всякого программирования. Достаточно записать значение 1 в ячейку A1, значение 2 – в ячейку A2, формулу " $=A1+A2$ " – в ячейку A3, после чего скопировать формулу в нужный диапазон ячеек от A4 до A20. При копировании формулы будет учтена относительность ссылок, так что в ячейке A20 соответствующая формула будет иметь вид – " $=A18+A19$ ".

Аналогично можно решить задачи для факториала, суммы ряда чисел, вычислить члены арифметической или геометрической прогрессии. Пример рабочего листа Excel с формулами и результатами расчетов приведен на рис. 1 и рис. 2.

При расчете факториала и суммы ряда натуральных чисел для проверки использовались встроенные функции Excel ФАКТР() и СУММ().

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1		1	=C1	=ФАКТР(C1)		1	=G1	=СУММ(\$G\$1:G1)	
2	2		2	=D1*C2	=ФАКТР(C2)		2	=G2+H1	=СУММ(\$G\$1:G2)	
3	=A1+A2		3	=D2*C3	=ФАКТР(C3)		3	=G3+H2	=СУММ(\$G\$1:G3)	
4	=A2+A3	Ч	4	=D3*C4	=ФАКТР(C4)		4	=G4+H3	=СУММ(\$G\$1:G4)	
5	=A3+A4	и	5	=D4*C5	=ФАКТР(C5)		5	=G5+H4	=СУММ(\$G\$1:G5)	
6	=A4+A5	с	6	=D5*C6	=ФАКТР(C6)	Ф	6	=G6+H5	=СУММ(\$G\$1:G6)	
7	=A5+A6	л	7	=D6*C7	=ФАКТР(C7)	А	7	=G7+H6	=СУММ(\$G\$1:G7)	
8	=A6+A7	а	8	=D7*C8	=ФАКТР(C8)	К	8	=G8+H7	=СУММ(\$G\$1:G8)	
9	=A7+A8		9	=D8*C9	=ФАКТР(C9)	Т	9	=G9+H8	=СУММ(\$G\$1:G9)	
10	=A8+A9	Ф	10	=D9*C10	=ФАКТР(C10)	О	10	=G10+H9	=СУММ(\$G\$1:G10)	
11	=A9+A10	и	11	=D10*C11	=ФАКТР(C11)	Р	11	=G11+H10	=СУММ(\$G\$1:G11)	
12	=A10+A11	б	12	=D11*C12	=ФАКТР(C12)	И	12	=G12+H11	=СУММ(\$G\$1:G12)	
13	=A11+A12	о	13	=D12*C13	=ФАКТР(C13)	А	13	=G13+H12	=СУММ(\$G\$1:G13)	
14	=A12+A13	н	14	=D13*C14	=ФАКТР(C14)	Л	14	=G14+H13	=СУММ(\$G\$1:G14)	
15	=A13+A14	а	15	=D14*C15	=ФАКТР(C15)		15	=G15+H14	=СУММ(\$G\$1:G15)	
16	=A14+A15	ч	16	=D15*C16	=ФАКТР(C16)		16	=G16+H15	=СУММ(\$G\$1:G16)	
17	=A15+A16	и	17	=D16*C17	=ФАКТР(C17)		17	=G17+H16	=СУММ(\$G\$1:G17)	
18	=A16+A17		18	=D17*C18	=ФАКТР(C18)		18	=G18+H17	=СУММ(\$G\$1:G18)	
19	=A17+A18		19	=D18*C19	=ФАКТР(C19)		19	=G19+H18	=СУММ(\$G\$1:G19)	
20	=A18+A19		20	=D19*C20	=ФАКТР(C20)		20	=G20+H19	=СУММ(\$G\$1:G20)	

Рис. 1. Формулы Рабочего Листа

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1		1	1	1		1	1	1	
2	2		2	2	2		2	3	3	
3	3		3	6	6		3	6	6	
4	5	Ч	4	24	24		4	10	10	
5	8	и	5	120	120		5	15	15	
6	13	с	6	720	720	Ф	6	21	21	
7	21	л	7	5040	5040	А	7	28	28	
8	34	а	8	40320	40320	К	8	36	36	
9	55		9	362880	362880	Т	9	45	45	
10	89	Ф	10	3628800	3628800	О	10	55	55	
11	144	и	11	39916800	39916800	Р	11	66	66	
12	233	б	12	479001600	479001600	И	12	78	78	
13	377	о	13	6227020800	6227020800	А	13	91	91	
14	610	н	14	87178291200	87178291200	Л	14	105	105	
15	987	а	15	1.30767E+12	1.30767E+12		15	120	120	
16	1597	ч	16	2.09228E+13	2.09228E+13		16	136	136	
17	2584	и	17	3.55687E+14	3.55687E+14		17	153	153	
18	4181		18	6.40237E+15	6.40237E+15		18	171	171	
19	6765		19	1.21645E+17	1.21645E+17		19	190	190	
20	10946		20	2.4329E+18	2.4329E+18		20	210	210	

Рис. 2. Результаты расчетов

Еще одна "классическая" задача, с которой начинается обучение основам программирования: вычислить e^x , используя разложение в ряд: $e^x = \sum x^k/k!$

В Excel она решается также естественно, как и предыдущие задачи, не требуя программирования в традиционном понимании. Однако в решении этой задачи появляется новое качество, позволяющее явно демонстрировать сходимость ряда, стремление к нулю текущего члена суммы ряда.

Для решения задачи, введем рекуррентные соотношения, представив:

$$e^x = \sum A(k); \quad \text{где } A(0)=1; \quad \text{при } k = 1 \dots N \quad A(k) = A(k-1)*x/k$$

Решение задачи сводится к вычислению в Excel рекуррентных соотношений. Как выглядит решение задачи на рабочем листе Excel показано на рис. 3.

	A	B	C	D		A	B	C
1	x	2.5			1	x	2.5	
2	Exp(x)	12.182494			2	Exp(x)	=EXP(B1)	
3	k	A(k)	Sum(Ak)		3	k	A(k)	Sum(Ak)
4	0	1	1		4	0	1	=B4
5	1	2.5	3.5		5	=A4+1	=B4*\$B\$1/A5	=C4+B5
6	2	3.125	6.625		6	=A5+1	=B5*\$B\$1/A6	=C5+B6
7	3	2.6041667	9.22916667		7	=A6+1	=B6*\$B\$1/A7	=C6+B7
8	4	1.6276042	10.8567708		8	=A7+1	=B7*\$B\$1/A8	=C7+B8
9	5	0.8138021	11.6705729		9	=A8+1	=B8*\$B\$1/A9	=C8+B9
10	6	0.3390842	12.0096571		10	=A9+1	=B9*\$B\$1/A10	=C9+B10
11	7	0.1211015	12.1307586		11	=A10+1	=B10*\$B\$1/A11	=C10+B11
12	8	0.0378442	12.1686028		12	=A11+1	=B11*\$B\$1/A12	=C11+B12
13	9	0.0105123	12.1791151		13	=A12+1	=B12*\$B\$1/A13	=C12+B13
14	10	0.0026281	12.1817432		14	=A13+1	=B13*\$B\$1/A14	=C13+B14
15	11	0.0005973	12.1823405		15	=A14+1	=B14*\$B\$1/A15	=C14+B15
16	12	0.0001244	12.1824649		16	=A15+1	=B15*\$B\$1/A16	=C15+B16
17	13	2.393E-05	12.1824888		17	=A16+1	=B16*\$B\$1/A17	=C16+B17
18	14	4.273E-06	12.1824931		18	=A17+1	=B17*\$B\$1/A18	=C17+B18
19	15	7.122E-07	12.1824938		19	=A18+1	=B18*\$B\$1/A19	=C18+B19

Рис. 3. Вычисление e^x

Значение x заносим в ячейку B1, в дальнейшем используем абсолютную ссылку на эту ячейку $\$B\1 при подсчете $A(k)$. Для значений k , $A(k)$ и $Sum(Ak)$ заносим в строку 4 базу рекурсии, в строку 5 – формулы рекуррентного соотношения, копируем эти формулы с помощью автозаполнения вниз. Для проверки в ячейку B2 занесем формулу расчета с использованием встроенной функции EXP(x).

Изменяя в ячейке B1 значение x можно увидеть как стремится к нулю текущий член суммы ряда, насколько точность вычислений зависит от количества членов ряда, как взаимосвязаны значения x и скорость сходимости ряда. Например, если учитывать 4 десятичных разряда, при $x=2,5$ ряд сходится с 12 члена ($k=12$), при $x=3$ с $k=13$, при $x=5$ с $k=21$ и т.д. Одним словом, можно исследовать поведение ряда и воочию увидеть закономерности изменения. Такой подход помогает легче понять и запомнить математические понятия и зависимости.

В каких же ситуациях требуется прибегать к циклическим вычислениям? Это следует делать, если речь идет о реализации итерационного процесса, вычислениях по рекуррентным соотношениям. Иногда приходится вводить формулы, в которых одна ячейка явно или неявно ссылается на саму себя, возникают циклические ссылки. Если не предпринять специальных мер, то циклические ссылки породят бесконечные вычисления. Excel следит за тем, возникают ли циклические ссылки, и в нормальном режиме не допускает таких вычислений, требуя скорректировать формулы так, чтобы циклов не было.

Однако можно включить специальный режим вычислений, допускающий циклические ссылки. В последнем случае требуется, чтобы число повторений цикла было конечным, только тогда Excel допускает переход к новому режиму, обеспечивающему проведение циклических вычислений. Для этого достаточно на вкладке *Вычисления* (меню *Сервис*, пункт *Параметры*) включить флажок *Итерации* и при необходимости изменить число повторений цикла в окошке *"Предельное число итераций"*. Можно также задать погрешность вычислений в окошке *"Относительная погрешность"*, что также приводит к ограничению числа повторений цикла. По умолчанию максимальное число итераций и погрешность вычислений соответственно имеют значения 100 и 0,001.

Необходимо также учитывать при решении таких задач особенности циклических вычислений, а именно:

1. Формулы, связанные циклическими ссылками, вычисляются многократно.
2. Размещение формул на листе определяет последовательность их вычисления. Формулы вычисляются сверху вниз, слева направо.
3. Число повторений цикла определяется параметрами, заданными на вкладке *Вычисления*.
4. Цикл заканчивается, когда изменения значений во всех ячейках не превосходят заданной погрешности или при достижении максимального числа итераций.

Рассмотрим пример практической задачи с использованием цикла для расчета кошториса работ [1, с.316]:

Допустим необходимо рассчитать цену работ, если фонд заработной платы составляет 2 000 грн., запланированные средства на служебные командировки – 200 грн., затраты на материалы – 150 грн. При этом отчисления (налог) в фонд социального страхования составляет 37% заработной платы. В расчет цены закладывается прибыль предприятия – 10% от цены работ, а также накладные затраты – 10% и другие прямые затраты 2,2% от цены работ. Решения задачи в Excel показано на рис. 4.

	А	В	С
1	Статті витрат	%	Сума
2	Заробітна плата		2000
3	Відрахування на соц. Страхування	0,37	=C2*B3
4	Накладні витрати	0,15	=C9*B4
5	Матеріали		150
6	Витрати на службові відрядження		200
7	Інші прямі витрати	0,022	=C9*B7
8	Прибуток	0,1	=C9*B8
9	Ціна		=СУММ(C2:C8)

Рис. 4. Расчет сметы работ. Формулы Рабочего Листа

В данном примере встречается неявная циклическая ссылка: значение ячейки С9 рассчитывается как сумма ячеек С2:С8, часть из которых в свою

очередь зависят от С9. Формулы в ячейках С4, С7-С9 содержат рекурсию. В обычном режиме работы Excel по данным формулам невозможно провести вычисления, программа выдает сообщение об ошибке – циклической ссылке. После перехода к новому режиму, допускающему циклические ссылки, получаем представленный на рис. 5 результат:

	А	В	С	Строка
1	Статті витрат	%	Сума	
2	Заробітна плата		2 000,00 грн.	
3	Відрахування на соц. Страхування	37%	740,00 грн.	
4	Накладні витрати	15%	636,68 грн.	
5	Матеріали		150,00 грн.	
6	Витрати на службові відрядження		200,00 грн.	
7	Інші прямі витрати	2,20%	93,38 грн.	
8	Прибуток	10%	424,45 грн.	
9	Ціна		4 244,51 грн.	
10				

Рис. 5. Результаты расчета сметы работ

Эта и подобные ей задачи часто встречаются в реальной жизни предпринимателей, бизнесменов, бухгалтеров, экономистов, и на помощь им приходит такой простой, доступный инструмент для подобных вычислений каким является Excel. Как видим, не только математические задачи приходится решать с помощью рекурсии и циклов, не только математикам и программистам необходимо понимание рекурсивных алгоритмов.

Из всего выше изложенного можно сделать выводы.

Преимущества табличного процессора Excel для обучения понятию «рекурсия» состоят в следующем:

- Excel идеально приспособлен к тому, чтобы простые рекурсивные вычисления, заданные рекуррентными соотношениями, определялись почти автоматически. В Excel при копировании формул ссылки на переменные меняются автоматически, благодаря этому реализуются рекуррентные соотношения. Достаточно скопировать формулу, чтобы реализовать рекурсивное вычисление.
- Достаточно сложные на начальном этапе обучения задачи решаются без программирования, путем задания и копирования формул на рабочем листе. Это важно для поэтапного обучения.
- Простые рекурсивные вычисления приобретают необходимую наглядность так, что ничего не остается скрытым. Можно видеть, как меняется формула, тут же в ячейке видеть значение, рассчитанное по этой формуле.
- При решении многих задач появляется совершенно новое качество, крайне важное для обучения – показан процесс решения, а не только конечный результат. Решение позволяет наглядно видеть, как сходится процесс вычислений, изучать влияние аргумента на скорость

сходимости. Такое подход способствует тому, чтобы стать исследователем, вместо того, чтобы оставаться простым наблюдателем.

Рекурсивные алгоритмы и их вычисления в Excel могут служить весьма подходящим фоновым материалом для начального освоения рекурсии как достаточно общего и эффективного метода решения задач. Примеры решения задач, рассмотренные в данной статье, заставляют по-новому оценить дидактические возможности табличного процессора Excel и осознать его роль и место в построении современного курса информатики в педагогических вузах.

Задачи, которые приведены в данной статье, используются в лабораторной работе по курсу «Решение математических задач средствами Excel».

Література

1. Баженов В.А., Венгерский П.С. Информатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології. – К.: Каравелла, 2008. – 640 с.
2. Биллиг В.А. Основы офисного программирования и документы Excel <http://www.intuit.ru/departement/office/vbaexcel/1/>.
3. Добровольский Н.М., Есаян А.Р., Пихтильков С.А., Стеценко В.Я. Об одном вычислительном эксперименте. Межвузовский сборник статей. Ч.1. – Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та, 1999. – 10 с.
4. Есаян А.Р. Фракталы и рекурсия. Учеб. пособие для студентов педвузов. – Тула, 1999. – 52 с.

Аннотация. Шамишина Н.В. Использование табличного процессора MS Excel при решении задач на рекурсию. Табличный процессор Excel целесообразно использовать для решения задач на рекурсию, чтобы освоить рекурсивный подход к решению математических и практических задач.

Ключевые слова. Табличный процессор MS Excel, рекурсия, решение задач.

Анотація. Шамишина Н.В. Використання табличного процесора MS Excel при розв'язуванні задач на рекурсію. Табличний процесор Excel доцільно використовувати для розв'язування задач на рекурсію, щоб засвоїти рекурсивний підхід до розв'язування математичних і практичних задач.

Ключові слова. Табличний процесор MS Excel, рекурсія, розв'язування задач.

Summary. Shamshyna N. Using MS Excel spreadsheet to solve problems on recursion. Excel spreadsheet useful for solving problems on recursion to learn a recursive approach to solving mathematical and practical problems.

Keywords. Spreadsheet MS Excel, recursion, solving problems.

Алфавітний покажчик

Б

Білик В.М..... 35

Г

Грицай Ф.Ю..... 41

Д

Друшляк М.Г..... 5

З

Завражна О.М..... 49

І

Іваній В.С. 53, 67

Іваній Н.В..... 53

К

Коломиец В.Н. 92

Кравченко В.О. 59

Л

Лобода В.Д..... 59

Лукашова Т.Д..... 5

М

Мартиненко О.В..... 17

Мороз І.О. 53, 67, 76

П

Петренко С.В..... 17

Петренко С.І..... 100

Погребний В.Д..... 28, 32

С

Семеніхіна О.В. 107

Стадник О.Д..... 35

Х

Холодов Р.І. 67

Ш

Шамоня В.Г..... 107

Шипиленко А.П. 86

Шкурдода Ю.А. 92

Я

Яременко Л.О..... 76

Яременко О.В..... 76

НАШІ АВТОРИ

<i>Білик В.М.</i>	аспірант СДПУ імені А.С. Макаренка
<i>Грицай Ф.Ю.</i>	науковий співробітник кафедри фізики
<i>Друшляк М.Г.</i>	викладач кафедри математики
<i>Завражна О.М.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, викладач кафедри експериментальної та теоретичної фізики
<i>Іваній В.С.</i>	кандидат техн. наук, професор, завідувач кафедри фізики
<i>Іваній Н.В.</i>	викладач кафедри фізики
<i>Коломієць В.М.</i>	аспірант СДПУ імені А.С. Макаренка
<i>Кравченко В.О.</i>	викладач кафедри експериментальної та теоретичної фізики
<i>Лобода В.Д.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри фізики
<i>Лукашова Т.Д.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри математики
<i>Мартиненко О.В.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри математики
<i>Мороз І.О.</i>	кандидат техн. наук, в.о. професора кафедри експериментальної та теоретичної фізики
<i>Петренко С.В.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент, декан фізико-математичного факультету
<i>Петренко С.І.</i>	викладач кафедри інформатики
<i>Погребний В.Д.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри математики
<i>Семеніхіна О.В.</i>	кандидат пед. наук, доцент кафедри інформатики
<i>Стадник О.Д.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, в.о. професора кафедри експериментальної та теоретичної фізики
<i>Холодов Р.І.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри експериментальної та теоретичної фізики
<i>Шамоня В.Г.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри інформатики
<i>Шипиленко А.П.</i>	аспірант СДУ
<i>Шкурдода Ю.О.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, викладач кафедри фізики
<i>Яременко Л.О.</i>	викладач кафедри фізики
<i>Яременко О.В.</i>	кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри фізики

Наукове видання

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Збірник наукових праць

ВИПУСК 1 (1)

Друкується в авторській редакції
Матеріали подані мовою оригіналу

Відповідальний за випуск
О.В. Семеніхіна

Комп'ютерна верстка
О.М. Удовиченко

Здано в набір 1.04.2011. Підписано до друку 4.04.2011.
Формат 60×84/8. Гарн. Times New Roman. Папір офсет. Друк ризогр.
Ум. друк. арк. 13,72. Обл.-вид. арк. 17,64. Тираж 100. Вид. № 69

Фізико-математичний факультет
СумДПУ імені А.С. Макаренка
вул. Роменська, 87
м. Суми, 40002
тел. (0542) 68 59 10

<http://fizmatsspu.at.ua>
fmo_sumy@mail.ru