

здатних зрозуміти не лише своє призначення у світі, а й допомогти зробити це своїм учням, є не єдиною, але необхідною умовою для формування духовності нашої нації. Важливою, як уже зазначалося, є співпраця школи, церкви, працівників культури, проте головна роль у цьому процесі належить учителям. Підтвердженням цього припущення є слова радянського психолога і педагога М. Рубінштейна: “Перше місце належить проблемі учителя, на яку і потрібно звернути особливу увагу. Проблема вчителя – перша й найважливіша проблема всієї педагогіки, всієї постановки народної освіти, всієї системи освіти, всієї долі народної культури: з неї необхідно починати й нею необхідно закінчувати. “Учитель – це найперше” [5].

#### **Використана література:**

1. Державна національна програма “Освіта” (Україна XXI століття) / Ін-т системних досліджень освіти України. – К. : Райдуга, 1994. – 61 с.
2. Закон України “Про освіту”. – К., 1996. – 36 с.
3. Національна доктрина розвитку освіти України у XXI столітті // Освіта України. – 2002. – 23 квітня.
4. Никандров Н. Д. Духовные ценности и воспитание в современной России / Н. Д. Никандров // Педагогика. – 2008. – № 9. – С. 3-12.
5. Рубинштейн М. Проблема учителя / М. Рубинштейн. – М., 1927. – С. 9.
6. Сорокин П. А. Человек. Цивилизация. Общество / П. А. Сорокин. – М. : Политиздат, 1992.

**Борбич С. В. Подготовка высокоморального учителя как условие формирования духовности нации.**

*В статье рассматриваются вопросы подготовки высокоморального учителя, некоторые факторы, способствующие формированию духовных ценностей личности.*

**Ключевые слова:** духовные ценности, студент, учитель, культура, церковь.

**Borbich S. V. Preparation of high-moral teacher as condition of forming of spirituality of nation.**

*The questions of preparation of high-moral teacher, some factors, cooperant forming of spiritual values of personality, are examined in the article.*

**Keywords:** spiritual values, student, teacher, culture, church.

УДК 387. 147: 544. 17

**Бордюк М. А.**  
**Рівненський державний гуманітарний університет**

#### **ФОРМУВАННЯ ЗНАЬ ПРО НАНОСТРУКТУРНІ СИСТЕМИ У МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ ПРИ ВИВЧЕННІ ВИБІРКОВОГО КУРСУ “ПОЛІМЕРНІ НАНОКОМПОЗИТИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ”**

*У статті запропоновано навчальну програму вибіркового курсу “Полімерні наноккомпозити та їх застосування”. Реалізація цієї програми дозволяє формувати знання про наноутворення в полімерах та їх системах у майбутніх учителів фізики.*

**Ключові слова:** полімерні наноккомпозити, формування знань, вибіркового курсу, навчальна програма, технології вивчення.

Завдяки великій різноманітності фізичних і хімічних властивостей полімерів їх дослідження є однією з найбільш цікавих особливостей фізики конденсованого стану, структурної хімії, фізико-хімії і . Фізика і хімія полімерів на сьогоднішній день – це самостійна галузь природознавства, що часто зустрічається як “наука про полімери”.

Варто зазначити, що ця наука є фундаментом сучасної технології, яка забезпечує виробництво пластмас, каучуків, волокон, лаків, клеїв, а також перспективних композиційних матеріалів [1]. Для розгляду структурної організації макромолекулярних систем та прогнозування їх властивостей використовуються підходи сучасної нанофізики та нанохімії [2; 3]. Зумовлено це тим, що особливості структуроутворень полімерів вказують на формування наноутворень [4]. Для полімерів особливістю є те, що їх структуроутворення можна охарактеризувати на основі підсистемного підходу: атомна група – сегмент, ділянка ланцюга – клубок, глобула, кристаліт – надмолекулярні утворення. Це вказує на те, що для полімерів розміри нанообластей можуть змінюватися в межах 1÷100нм і більше. Молекулярні утворення в полімерних системах завжди є наноструктурними системами. Прикладами таких структуроутворень є аморфні полімерні системи, які можна описувати кластерною моделлю [5]. Формування наноструктурних елементів і нанореакторів у полімерах можливе при їх синтезі з наступною передачею інформації наноструктурних утворень на мікрорівень. Сучасні уявлення про наноструктурні і нанореакторні утворення дають можливість керувати процесом утворення полімерних структур на стадії синтезу за рахунок зміни характеру каталітичної системи. Змінити структуру полімерних систем і їх властивості можна внесенням в полімерну матрицю нанорозмірних наповнювачів.

В останні роки розвивається напрямок полімерної науки пов'язаний із створенням фуллереномістких полімерів. Такі системи поєднують надзвичайні властивості фуллерена і полімерів [6].

Полімерні нанокомпозити отримують різними способами, формуючи нанорозмірні частинки при наявності спеціальним чином підготовленої полімерної матриці, або проводячи полімеризацію чи поліконденсацію при наявності таких частинок. Значно рідше використовується спосіб створення полімерних нанокомпозитів шляхом одночасного формування наночастинок і полімерної матриці, що потребує узгодження швидкостей формування таких структуроутворень. Виділяють декілька методів модифікації полімеру металевими нанорозмірними частинками: металізація поверхні полімеру випаровуваннями атомних металів; термічним розкладанням карбонітів металів у термопластах; методи хімічного відновлення з'єднань металів при наявності полімерів. Останній метод є найбільш поширеним, але складним і багатоступінчатим [7].

Золі металів отримують у результаті конденсації (кристалізації) металічної фази при відновленні простих чи комплексних з'єднань металів у присутності стабілізатора (полімера). Дисперсна фаза золів, отриманих у розчині полімеру, є нанокомпозитом типу полімер-метал, що включає наночастинки металу і макромолекули, які утворюють захисні екрани навколо частинок у процесі їх росту [8].

Науковий і прикладний інтерес викликають дослідження з інкорпорування чи введення в однорідну, за хімічним складом, органічну полімерну матрицю кластерів неорганічного полімеру, що призводить до створення гібридних нанокомпозитів. Синтез органо-неорганічних нанокомпозитів може здійснюватися і методом сополімеризації. Інший напрямок полягає в тому, що здійснюється поверхнева модифікація дисперсних неорганічних наповнювачів (аеросил, скловолокно, вуглецеві матеріали), шляхом створення на поверхні хімічно зв'язаних реакційноздатних ініціюючих груп чи мономерних груп. Такі системи дозволяють прищеплювати на поверхні неорганічних наповнювачів тонкі шари полімеру методом полімеризації із газової чи рідкої фази. Товщина полімерних шарів відповідає нанорозмірам. Цей метод отримання нанокомпозицій використовують і при створенні полімер-полімерних систем. На твердій полімерній поверхні різноманітної природи здійснюється хімічне прищеплення ініціюючих чи мономерних груп. Особливий інтерес становить метод отримання гібридних органо-неорганічних полімерних систем шляхом “інкорпорування” в органічну полімерну фазу іншого полімеру неорганічної природи, за типом взаємопроникаючих

сіток чи полімерних систем типу “сітка в сітці”. Це здійснюється при формуванні наногетерогенної структури на основі несумісних складових.

Органо-неорганічні наноккомпозити можуть отримуватися шляхом інтеркаляції (впровадження) мономерних чи полімерних молекул (“гостей”) у структуру природного чи синтетичного матеріалу (“господаря”) [9].

Одним із перспективних підходів є пряме включення макромолекул у шарові ґратки “господаря”. У наноккомпозитах такого виду можуть формуватися гібридні структури двох типів інтеркаляцій, в яких макромолекули (чи їх частинки) інкорпоровані між силікатними шарами, та есфалійовані, що характеризуються тим, що силікатні шари дисперговані індивідуально в матрицю полімера, утворюючи монолітну мікромасштабну структуру [10]. Інтеркаляційні системи є самозбірними наноккомпозитами. Прикладами можуть бути багатошарові плівки (надґратки), які збираються у вигляді мультишарів, один із яких є електрично заряджений неорганічний, а інший – протилежного заряду полімер. Такий підхід використовується і при створенні самоорганізуючих багатошарових плівок Ленгмюра-Блодже, що дозволяє отримувати різноманітні комбінації матеріалів з нанорозмірними вузлами і напівпровідниковою структурою метал-діелектрик. Формування мультишарів такого типу включає кілька етапів. На першому етапі відбувається адсорбція шару полімеру на поверхні субстрату завдяки електростатичним і ван-дер-ваальсовим взаємодіям. При цьому структурна організація неорганічного шару може бути якою завгодно. Він може вводитися між полімерні шари, а також на їх поверхні, виявляючи плоску орієнтацію. Шарові наноструктури синтезуються з використанням рідкокристалічних полімерів з іонними групами. Товщина пари рідкокристалічний полімер-неорганічний шар складає 4-5 нм завдяки електростатичному збиранню. Такий підхід дає можливості формувати новий вид рідкокристалічних структур із незвичними властивостями.

На сьогоднішній день існують проблеми пов’язані з інтеркаляцією в періодичні мезопористі структури “гостей”: сорбція і фазові переходи; іонний обмін і комплексоутворення; формування металічних, оксидних, сульфідних, напівпровідникових кластерів і нанодротів; ковалентне щеплення лігандних і функціональних груп до шарів “господаря”; детальний аналіз складу і структури гібридних матеріалів, отриманих конденсацією *in situ*, полімеризацією чи включенням наперед заготовлених макромолекул у мезопористі канали.

Такий розвиток полімерної науки на основі наноструктурованих підходів зумовлює розгляд такого матеріалу в курсі фізики для формування знань про полімерні матеріали у майбутніх вчителів. В роботах [11-12] аналізувалися особливості вивчення полімерів у вищих навчальних закладах, а в [13] технології вивчення полімерних наноккомпозитів у курсі фізики. Як однією із складових такої технології пропонувалося введення в навчальні плани спеціальності “фізика” вибіркової дисципліни з вивчення властивостей полімерних наноккомпозитів. Питання вивчення полімерних матеріалів в університетах країн колишнього СРСР обговорювалося на п’ятій всеросійській конференції “Полімери-2010” [14]. Результатами таких дискусій стало створення методичної комісії при Науковій раді РАН з високомолекулярних сполук з метою удосконалення навчально-методичної роботи, обміну досвідом, навчальними програмами в області науки про полімери і створенню уніфікованих вимог до підготовки бакалаврів, магістрів, що відповідало б вимогам європейської освіти і сприяло б консолідації полімерної науково-педагогічної спільноти.

Відповідно до таких вимог сьогодення полімерної і педагогічної наук пропонується програма вибіркової дисципліни “Полімерні наноккомпозити та їх застосування”, реалізація якої дає можливості формувати систему знань про наноструктурованість макромолекулярних систем, їх специфічні властивості та застосування в життєдіяльності людини. Структура і зміст цієї програми наступні.

## ВСТУП

Програма вивчення вибіркової навчальної дисципліни

“Полімерні нанокompозити та їх використання” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістр напряму (спеціальності) 8.04020301 “Фізика”

Предметом вивчення навчальної дисципліни є питання структурної організації полімерних нанокompозитних систем, їх фізичних властивостей та використання в життєдіяльності людини.

Міждисциплінарні зв'язки: загальна і теоретична фізика, шкільний курс фізики, неорганічна і органічна хімія, хімія високомолекулярних сполук, фізична і колоїдна хімія, аналітична хімія, біофізика, молекулярна біологія, вища математика, програмування і інформатика, комп'ютерне моделювання, машинознавство і технології.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів:

1. *Макромолекулярні системи та їх характеристики.*
2. *Утворення наноструктур у полімерах. Полімерні нанокompозити.*
3. *Фізичні властивості полімерних нанокompозитів.*
4. *Використання полімерних нанокompозитів.*

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни “Полімерні нанокompозити та їх використання” є: засвоєння знань про будову макромолекулярних систем на основі наноструктурованих підходів; вивчення фізичних властивостей полімерних нанокompозитів та їх використання в життєдіяльності людини; формуванні наукового світогляду студентів та показом можливостей використання матеріалів цього спецкурсу при вивченні фізики в загальноосвітній школі, в вищих навчальних закладах.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни “Полімерні нанокompозити та їх використання” є: дослідження питання структурної організації полімерних нанокompозитних систем та моделювання процесів і явищ в їх структурній організації; фізичних властивостей високомолекулярних нанорозмірних систем; аналіз і співставлення результатів теоретичних та експериментальних пошуків властивостей таких систем; оцінка основних напрямків отримання та використання полімерних нанокompозитів в сучасному світі та їх перспективи; розкриття методичних можливостей використання матеріалів цього спецкурсу в курсі фізики загальноосвітньої школи, вищого навчального закладу.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні *знати*:

- будову макромолекул, їх геометричні та енергетичні характеристики, конфігураційні та конформаційні ефекти в макромолекулярних системах;
- класифікацію речовини за геометричними розмірами структуроутворень;
- можливості формування наноструктур в полімерах;
- процеси формування наноструктурних елементів і нанореакторів у полімерах;
- фізико-хімічні особливості формування полімерних нанокompозитів;
- способи формування полімерних нанокompозитів;
- механізми впливу макромолекул на формування нанорозмірних частинок наповнювача;
- моделювання процесів утворення межового шару полімера на наночастинках наповнювача;
- основні типи інтеркальованих полімерних нанокompозитів;
- фізичні властивості нанокompозитних полімерів;
- застосування полімерних нанокompозитів у практичній діяльності людства,

*вміти*:

- класифікувати полімерні нанокompозити за геометричними розмірами структуроутворень та способами отримання;
- використовувати кластерну модель аморфних полімерів до їх опису, як нанорозмірних об'єктів;
- використовувати теоретичні підходи до прогнозування властивостей фулереновмісних полімерів;
- застосовувати тензор орієнтації ланок макромолекул до опису процесів утворення і поведінки нанорозмірних структуроутворень в полімерах на основі моделей (дискретних, континуальних, ймовірнісних);
- розрізняти основні типи полімерних нанокompозитів;
- визначати і експериментально досліджувати механічні, теплові, електромагнітні, оптичні властивості полімерних нанокompозитів;
- математично описувати властивості полімерних нанокompозитів і моделювати їх поведінку в полях різної природи;
- застосовувати набуті теоретичні знання, практичні вміння і навички в своїй практичній діяльності в загальноосвітній школі або вищому навчальному закладі.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 72 години / 2 кредити ECTS.

2. Інформаційний обсяг навчальної дисципліни

**Змістовний модуль 1. Макромолекулярні системи та їх характеристики**

*Тема 1.* Макромолекула. Полімери та полімерні системи, їх будова, властивості. Макромолекул, її геометричні та енергетичні характеристики. Конформація та конфігурація макромолекул. Макромолекула,



як система запису, збереження і перетворення інформації. Особливості структуроутворень полімерних систем. Структура аморфних, кристалічних, рідкокристалічних полімерів. Агрегатні, фазові, релаксаційні стани полімерів, релаксаційні переходи. Полімерні композиційні матеріали.

**Змістовний модуль 2. Утворення наноструктур у полімерах. Полімерні наноккомпозити**

*Тема 1.* Наноструктури в макромолекулярних системах. Класифікація матерії: атоми та молекули, наноструктурні системи, континуальна речовина. Наночастинки та нанореактори. Типи нанорозмірних частинок. Формування наноструктур в полімерах. Кластерна модель аморфних полімерів та оцінки геометричних розмірів кластерів, міжкластерних та перехідних областей. Формування наноструктурних елементів і нанореакторів у полімерах при їх синтезі. Нанорозмірні наповнювачі та їх вплив на структуроутворення в полімерах. Фуллереновмістні полімери.

*Тема 2.* Способи отримання полімерних наноккомпозитів. Моделювання впливу нанорозмірних частинок на процеси структуроутворення в полімерних наноккомпозитах. Формування наночастинок і полімерної матриці в композиті. Модифікація полімерів металевими нанорозмірними частинками. Механізми впливу макромолекул на формування наночастинок. Моделювання процесів утворення межового шару навколо наночастинок. Тензор орієнтації. Формування орієнтованих областей полімерів під дією наночастинок (континуальні, дискретні, ймовірнісні моделі). Гібридні полімерні наноккомпозити (інкорпорування). Отримання органо-неорганічних полімерних наноккомпозитів методом інтерколяції. Основні типи інтерколюваних полімерних наноккомпозитів.

**Змістовний модуль 3. Фізичні властивості полімерних наноккомпозитів**

*Тема 1.* Механічні та теплофізичні властивості полімерних наноккомпозитів. Механізми взаємодії структурних елементів макромолекул з наночастинками наповнювача. Вплив великих концентрацій наповнювача на процеси структуроутворення. Залежність механічних властивостей полімерних наноккомпозитів від характеру взаємодії полімер-наночастинка. Використання рівняння Кальрауша для опису релаксації механічної напруги полімерних наноккомпозитів. Вплив фуллеренів та вуглецевих нанотрубок на механічні властивості полімерних систем. Рівняння Кернера (слабка взаємодія). Модифіковане рівняння Кернера (сильна взаємодія). Реологічні властивості полімерних наноккомпозитів. В'язкопружні властивості полімерних наноккомпозитів та використання моделі Вагнера до їх опису. Термостійкість, теплоємність, теплопровідність полімерних наноккомпозитів.

*Тема 2.* Електромагнітні властивості полімерних наноккомпозитів. Вплив металевих нанонаповнювачів на діелектричні та електропровідні властивості полімерів. Електричні властивості наноккомпозитних полімерних електролітів. Підсилення електричного поля в полімерах вуглецевими нанотрубками (механізми). Провідність полімерних систем наповнених фуллеренами. Прояви сегнетоелектричних властивостей у полімерних наноструктурах. Магнітні властивості та магнітореологічний ефект в полімерних наноккомпозитах. Модель магнітокерованих полімерних наноккомпозитів.

*Тема 3.* Оптичні властивості наноструктурованих полімерів. Оптичні властивості пористих полімерних систем. Використання моделі ефективного середовища до визначення оптичних характеристик полімерних наноккомпозитів. Ефект Керра для полімерних наноккомпозитів. Вплив фуллеренів та вуглецевих нанотрубок на оптичні властивості наповнених полімерів.

**Змістовний модуль 4. Використання полімерних наноккомпозитів**

*Тема 1.* Використання полімерних наноккомпозитів у процесах життєдіяльності людини. Полімерні наноккомпозити в техніці та побуті. Використання фізико-хімічних властивостей наноструктурованості полімерів у медицині та фармакології. Наноструктурування природних полімерів та їх значення в життєдіяльності організмів.

3. Форма підсумкового контролю успішності навчання: залік.

4. Засоби діагностики успішності навчання. Методи: усний, письмовий, тестовий, графічний, програмований контроль, практична перевірка, методи самоконтролю і самооцінки.

Форми: індивідуальна перевірка, фронтальна, консультації, колоквіум, підсумкова контрольна робота, індивідуальне навчально-дослідне завдання. Формування практичних умінь та навичок студентів здійснюється на практичних заняттях. Тематика занять може бути такою.

**5. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Д. ф. н.	З. ф. н.
	<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2</b>		
2.1.	Питома поверхня, дисперсність, кривизна нанорозмірних частинок, їх форма. Механізми міжмолекулярної взаємодії поверхні нанорозмірних частинок зі структурними елементами макромолекул	6	

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Д. ф. н.	З. ф. н.
	<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3</b>		
3.1.	Визначення механічних та теплофізичних характеристик полімерних нанокомпозитів. Використання кластерної моделі до аналізу процесів структуроутворення в полімерах та визначення її фізичних параметрів. Мікрокомпозитні моделі та їх використання.	6	
3.2.	Електромагнітні та оптичні властивості полімерних нанокомпозитів. Використання перколяційних моделей та методу узагальненої провідності до оцінки цих властивостей	6	
Разом		18	

## 6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Д. ф. н.	З. ф. н.
	<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1</b>		
1.1.	Особливості структурної організації наповнених полімерних систем. Межові та перехідні шари, їх мікрогетерогенність	4	
	<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2</b>		
2.1.	Формування наноструктур в кристалічних, кристало-аморфних, рідкокристалічних полімерах та їх розчинах. Моделювання наноструктурних утворень в таких макромолекулярних системах	4	
2.2.	Способи отримання наповнених полімерних нанокомпозитів	4	
	<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3</b>		
3.1.	Використання наноструктурованих моделей та фрактальних підходів до оцінки механічних параметрів кластерної структури аморфних полімерів	4	
3.1.	Оцінка та моделювання процесів перенесення теплової енергії в наповнених полімерних наносистемах	4	
3.2.	Механізми провідності полімерних нанокомпозитів. Перспективи отримання надпровідного стану в полімерних нанокомпозитах	4	
3.2.	Поведінка металевих нанонаповнювачів в полімерній матриці під дією магнітного поля	4	
3.3.	Вплив неорганічних нанорозмірних наповнювачів на оптичні властивості полімерних систем	6	
	<b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4</b>		
4.1..	Способи впливу на наноструктуровані утворення в біополімерах	6	
Разом		40	

## 7. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальне науково-дослідне завдання передбачає написання реферату, підготовки до виступів на наукових семінарах кафедри фізики, науково-дослідних лабораторій фізики високомолекулярних сполук, участь в роботі міжнародних, всеукраїнських та вузівських науково-практичних конференціях, підготовка і написання статей у фахові журнали та збірники наукових праць.

Ця робота спрямована на вивчення частини програмного матеріалу, систематизацію, поглиблення, узагальнення, закріплення та практичне застосування знань студента з дисципліни.

### Структура ІНДЗ:

- вступ – зазначити тему, мету та завдання роботи;
  - теоретичне обґрунтування – виклад базових теоретичних положень, принципів, на основі яких виконується завдання;
  - методи – вказати і охарактеризувати практичні та розрахункові методи роботи;
  - основні результати роботи та їх обговорення – опис результату роботи;
  - висновки;
  - список використаної літератури.
- Після завершення завдання здійснюється виступ-захист перед одногрупниками, членами кафедри.
- Пропонується така методика розв'язку задач.
- Приклади розв'язання задач

**Задача 1.** Порівняти питомі поверхні кулястих дисперсних наповнювачів з радіусами  $10\text{ мкм}$ ,  $1\text{ мкм}$ ,  $0,3\text{ мкм}$  з питомою поверхнею нанонаповнювача з радіусом  $1\text{ нм}$ . Знайти їх дисперсність і кривизну.

**Розв'язання.** Питома поверхня наповнювача визначається відношенням площі його поверхні до об'єму:  $S_{\text{поверх}} = \frac{S}{V}$ .

Для наповнювачів кулястої форми маємо:  $S = 4\pi r^2 = \pi d^2$ ;  $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{1}{6}\pi d^3$ .

Тоді:  $S_{\text{поверх}} = \frac{\pi d^2}{\frac{1}{6}\pi d^3} = \frac{6}{d}$ .

Найчастіше  $S_{\text{ном}} = \frac{k}{a}$ , де  $k$  – коефіцієнт форми.

У випадку кулястих наповнювачів  $k = 6$ . Дисперсність наповнювача визначається, як  $D = \frac{1}{a}$ , де  $a = d$ , тоді  $S_{\text{ном}} = k \cdot D$ . Характеристикою дисперсності є кривизна поверхні, яка визначається як  $H = \frac{1}{2} \frac{dS}{dV}$ .

Для сферичних частинок  $dS = 8\pi r dr$ ;  $dV = 4\pi r^2 dr$ ;

$$H = \frac{1}{2} \frac{8\pi r dr}{4\pi r^2 dr} = \frac{1}{r}.$$

Знайдемо значення питомих поверхонь:

$$S_1 = \frac{6}{2 \cdot 10^{-5}} = 3 \cdot 10^5 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \right) = 3 \cdot 10^5 (\text{м}^{-1});$$

$$S_2 = \frac{6}{2 \cdot 10^{-6}} = 3 \cdot 10^6 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \right) = 3 \cdot 10^6 (\text{м}^{-1});$$

$$S_3 = \frac{6}{0,6 \cdot 10^{-6}} = 10^7 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \right) = 10^7 (\text{м}^{-1});$$

$$S_4 = \frac{6}{2 \cdot 10^{-9}} = 3 \cdot 10^9 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \right) = 3 \cdot 10^9 (\text{м}^{-1}).$$

$$\text{Відношення } \frac{S_4}{S_1} = 10^4; \frac{S_4}{S_2} = 10^3; \frac{S_4}{S_3} = 3 \cdot 10^2.$$

$$\text{Дисперсність: } D_1 = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} = 5 \cdot 10^4 (\text{м}^{-1});$$

$$D_2 = \frac{1}{2 \cdot 10^6} = 5 \cdot 10^5 (\text{м}^{-1});$$

$$D_3 = \frac{1}{0,6 \cdot 10^{-6}} = 1,667 \cdot 10^6 (\text{м}^{-1});$$

$$D_4 = \frac{1}{2 \cdot 10^{-9}} = 5 \cdot 10^8 (\text{м}^{-1}).$$

Кривизна поверхні:  $H_1 = \frac{1}{10^{-5}} = 10^5 (\text{м}^{-1}); \quad H_2 = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 (\text{м}^{-1}); \quad H_3 = \frac{1}{0,3 \cdot 10^{-6}} = 3,333 \cdot 10^6 (\text{м}^{-1});$   
 $H_4 = \frac{1}{10^{-9}} = 10^9 (\text{м}^{-1}).$

**Задача 2.** Використовуючи кластерну модель аморфних полімерів оцініть модулі пружності ( $E$ ,  $\mu$ ) міжкластерних областей. Температурні залежності  $E_n$ ,  $\mu_n$  для полівінілхлориду подані на рис.2.

*Розв'язання.* Згідно кластерної моделі структуроутворення в аморфних полімерах можна моделювати у вигляді кластерів (впорядкованих областей), які ніби вкраплені в міжкластерну матрицю (невпорядкованих областей). Лінійні розміри кластерів складають  $(2 \div 4) \cdot 10^{-10} \text{ м}$ , а міжкластерних –  $(1 \div 2) \cdot 10^{-9} \text{ м}$ .

Отже, таку структурну організацію можна вважати нанорозмірною. Вважають, що в температурному інтервалі склоподібного стану між кластерами та “розпушеними” областями спостерігається нульова адгезія (міцність), яка характеризується великим коефіцієнтом тертя. Тоді модулі пружності міжкластерних областей визначаються як:

$$E_{\text{м.обл.}} = \frac{E_n}{1 + \varphi_{\text{кл.}}}; \quad \mu_{\text{м.обл.}} = \frac{\mu_n}{1 + \varphi_{\text{кл.}}},$$

де  $\varphi_{\text{кл.}}$  – концентрація кластерів,  $E_n(\mu_n)$  – динамічні модулі ПВХ.

Для визначення відносної частки кластерів у ПВХ використовуємо перколяційне співвідношення:

$$\varphi_{\text{кл.}} = 0,03(T_\alpha - T)^{0,55},$$

де  $T_\alpha$  – температура склування (для ПВХ рівна 353К). Підставляючи значення температур: 293К, 303К, ... 353К отримаємо значення  $\varphi_{\text{кл.}}$  (рис. 1)

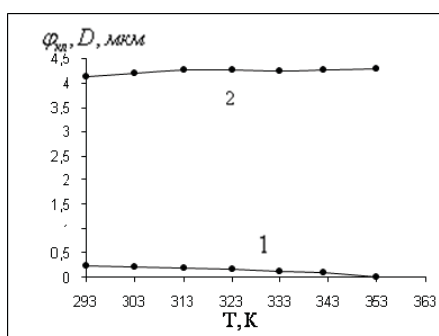


Рис. 1. Залежність  $\varphi_{\text{кл.}}$  (1) і  $D$  (2) від температури для ПВХ

На рис.1 подана залежність  $\varphi_{\text{кл.}}$  від  $T$ . Згідно цієї залежності частка кластерів зменшується із зростанням температури. Проте, цей процес зумовлений не тільки переходом структурних елементів макромолекул із кластерних областей в міжкластерні, але й можливістю захоплення кластерами ділянок макромолекул, що призводить до зростання лінійних розмірів самих кластерів (крива 2, рис. 1).



За цими значеннями  $\varphi_{кл.}$  знаходимо динамічні модулі пружності міжкластерних областей. Результати експериментальних значень  $E_n(\mu_n)$  і розрахованих  $E_{м.обл.}(\mu_{м.обл.})$  подані на рис. 2.

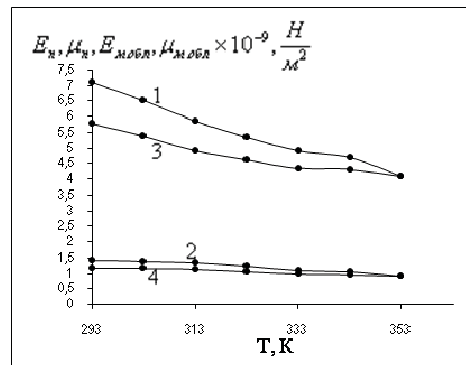


Рис. 2. Температурна залежність  $E_n$  (1),  $\mu_n$  (2) та  $E_{м.обл.}$  (3),  $\mu_{м.обл.}$  (4) для ПВХ

**Задача 3.** Покажіть, на основі кластерної моделі, що структуроутворення в аморфних полімерах є нанорозмірними.

**Розв'язання.** Для оцінки лінійних розмірів кластерів пропонується розглядати поведінку фононного газу, який характеризується в'язкістю  $\eta_\phi$  і часом релаксації  $\tau$ :  $l = \sqrt{\frac{4kT\tau}{\pi\eta_\phi}}$ .

Проведені обчислення для цілого ряду полімерних систем дають значення від 0,2 нм до 0,4 нм. Для визначення розмірів міжкластерних областей вважається, що в області температур нижчих за температуру склування, процес утворення пустот ("дірок") відбувається в областях розпушеного упакування елементів структури. Тоді співставлення лінійних розмірів міжкластерних областей об'єму дірки  $V_h$  та розмірам ланки макромолекули флуктуаційного вільного об'єму  $V_f$ , можна визначити лінійні розміри

міжкластерних областей згідно із співвідношенням:  $l' = a \cdot \sqrt[3]{\frac{V_h}{V_f}}$ .

Якщо виходити з трикомпонентної моделі аморфних полімерів, то при розгляді деформацій зсуву, які відбуваються по перехідних областях порядок-безпорядок, можна

визначити лінійні розміри цих структуроутворень як:  $l'' = \sqrt[3]{\frac{4kT\tau}{\pi\eta''}}$ ,

де  $\eta''$  – динамічна в'язкість,  $\tau$  – час релаксації структуроутворення при деформаціях зсуву. Розрахунки показують, що величина  $l'$  міститься в межах 1,0–2,0 нм, а  $l''$  – 0,3–0,4 нм. Таким чином аморфний полімер можна розглядати як сукупність наноструктур з лінійними розмірами  $l - l' - l''$ , тобто кластер-перехідна область – міжкластерна область, із значною ймовірністю переходу структурних елементів із кластерних областей у міжкластерні і навпаки через перехідну межу.

Використання такої моделі для лінійних аморфних полімерів дає можливість вважати, що кластерні області вкраплені в розпушену полімерну матрицю (міжкластерні утворення). Такі уявлення на структурному рівні дозволяють розглядати лінійні аморфні полімери як нанокомпозити і використовувати мікрокомпозитні моделі для опису їх поведінки.

Задачі для самостійного розв'язання

1. Для виготовлення імплантатів кісткових тканин використовуються гетерогенні полімерні системи наповнені сферичними фуллеренами розміри яких  $0,5\text{нм}$ ,  $0,7\text{нм}$ ,  $1,5\text{нм}$ . Визначте питому поверхню, дисперсність і кривизну цих нанонаповнювачів.

2. Фуллерено-полімерна плівка товщиною  $100\text{нм}$  мінеральної змазки захищає поверхню деталей і зменшує тертя між ними. Визначте питому поверхню, дисперсність і кривизну цієї плівки, якщо її розміри  $2\text{мм} \times 15\text{мм}$ .

3. Карбонові нанотруби (циліндри) використовуються, як наповнювачі полімерних матеріалів. Визначте питому поверхню, дисперсність і кривизну цих нанонаповнювачів, якщо їх діаметр має межі  $3,5\text{Å} - 10\text{нм}$ , а довжина  $(1 \div 5)\text{мкм}$ .

4. Визначте зміну питомої поверхні тіла об'ємом  $1\text{см}^3$  при його подрібненні на однакові частинки кубічних форми розмірами  $1\text{см}$ ,  $1\text{мм}$ ,  $1\text{мкм}$ ,  $1\text{нм}$ . Знайдіть кількість утворених частинок і побудуйте графік їх залежності від розмірів, зробіть висновки.

5. Наповнювачами полімерів використовуються титан-фуллеренові частинки, які мають сферичну форму і діаметр  $10\text{нм}$ ,  $15\text{нм}$ ,  $20\text{нм}$ ,  $25\text{нм}$ ,  $30\text{нм}$ ,  $35\text{нм}$ ,  $40\text{нм}$ . Визначте число часток, які можна отримати з такого матеріалу об'ємом  $0,1\text{см}^3$  та їх питому поверхню. Побудуйте графік залежності кількості часток і питомої поверхні від радіуса титан-фуллеренових часток, зробіть висновки.

6. Розрахуйте динамічні модулі пружності "розпушеної" матриці для полівінілбутирала при температурі  $T = 293\text{K}$  і температурі склування ( $T_\alpha = 323\text{K}$ ), якщо  $E' = 6,32 \cdot 10^9 \frac{\text{H}}{\text{м}^2}$  і

$$\mu' = 1,29 \cdot 10^9 \frac{\text{H}}{\text{м}^2}, \text{ а в області } \alpha\text{-переходу } E'_\alpha = 3,52 \cdot 10^9 \frac{\text{H}}{\text{м}^2} \text{ і } \mu'_\alpha = 1,02 \cdot 10^9 \frac{\text{H}}{\text{м}^2}.$$

7. Побудуйте графік залежності динамічних модулів пружності "розпушеної" матриці від концентрації полімерного наповнювача в системі полівінілхлорид-полівінілбутираль при  $T = 293\text{K}$  і визначіть концентрацію кластерів в кластерній моделі аморфних полімерів за експериментальними даними поданими в таблиці. Зробіть висновки.

$\varphi, \text{об.}\%$	0	6,0	12,0	23,0	32	100
$E' \cdot 10^{-9}, \frac{\text{H}}{\text{м}^2}$	7,12	6,79	7,66	6,40	6,49	6,32
$\mu' \cdot 10^{-9}, \frac{\text{H}}{\text{м}^2}$	1,70	1,27	1,34	1,21	1,08	1,29
$T_\alpha$	357	353	349	343	340	323

8. Використовуючи розв'язок попередньої задачі і її дані, порівняйте значення динамічних модулів "розпушеної" матриці, розрахований у випадку нульової адгезії кластера і ідеальної адгезії між кластером і міжкластерною матрицею (зв'язок описується рівнянням Кернера

$$E_{i \cdot iae} = \left( \frac{E_i}{1 + 11,6\varphi_{\bar{e}\bar{e}} - 44,4\varphi_{\bar{e}\bar{e}}^2 + 96,3\varphi_{\bar{e}\bar{e}}^3} \right) \text{ для полівінілхлориду і полівінілбутиралу при}$$

$T = 293\text{K}$ . Зробіть висновки.

9. Визначте лінійні розміри межевої області, при введенні в полімер нанорозмірних частинок радіусом  $5\text{Å}$ ,  $1\text{нм}$ ,  $10\text{нм}$ , як функцію відношення  $\frac{\varphi_\varphi}{\varphi_F}$ . Побудуйте графік залежності  $\Delta R$  від  $\frac{\varphi_\varphi}{\varphi_F}$ .

10. За яких умов, при наповненні полімера металевими нанонаповнювачами, система може переходити в надпровідний стан? Запропонуйте моделі електричної провідності в таких системах при різних концентраціях металевих нанонаповнювача.

Таким чином впровадження і реалізація цієї програми дає можливість не тільки формувати знання про наноструктурні утворення, але й використовувати їх у практичній діяльності у загальноосвітній школі майбутніми вчителями фізики.

### Використана література:

1. Френкель С. Я. Полимеры. Проблемы, перспективы, прогнозы / С. Я. Френкель // В кн.: Физика сегодня и завтра. – Ленинград: Наука, 1973. – С. 176.
2. Воронов В. К. Физические основы нанотехнологии. Серия: Физика на переломе тысячелетий / В. К. Воронов, А. В. Подоплелов, Р. З. Сагдеев. – М.: Наука, 2011. – 432 с.
3. Сергеев Г. Б. Нанохимия / Г. Б. Сергеев. – М.: МГУ, 2007. – 336 с.
4. Иванчев С. С. Наноструктуры в полимерных системах / С. С. Иванчев, А. Н. Озерин // Высокомолекулярные соединения. – 2006. – Т. 48(Б), № 8. – С. 1531-1544.
5. Козлов Г. В. Кластерная модель аморфного состояния полимеров / Г. В. Козлов, В. У. Новиков // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171, № 7. – С. 717-764.
6. Бадомшина Э. Р. Модификация свойств полимеров путем допирования фуллереном C<sub>60</sub> / Э. Р. Бадомшина, М. П. Гафурова // Высокомолекулярные соединения. – 2008. – Т. 50(Б), № 8. – С. 1572-1584.
7. Помогайло А. Д. Наночастицы металлов в полимерах / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
8. Pomogailo A. D. Metallopolymer nanocomposites / A. D. Pomogailo, V. N. Kestelman. – Berlin: Springer Heidelberg, 2005. – 563 p.
9. Poly( $\epsilon$ -caprolactone) /clay nanocomposites prepared by melt intercalation: mechanical, thermal and reological properties / B. Lepoittevin, M. Devalckenare, N. Pantoustier [and others] // Polymer. – 2002 – Vol. 43. – P. 4017-4023.
10. Friedrich K. Polymer composites: from nano-to-macroscale / K. Friedrich, S. Fakirov, Zhany Zhony. – Berlin: Springer, 2005. – 373 p.
11. Бордюк М. Вивчення властивостей полімерних матеріалів у курсі фізики педагогічних ВНЗ / М. Бордюк // Фізика та астрономія в школі. – 2009. – № 1(70). – С. 45-48.
12. Бордюк М. Формування знань про полімерні матеріали у майбутніх вчителів фізики / М. Бордюк // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. – 2012. – Вип. 32. – С. 33-38.
13. Бордюк М. Технології вивчення полімерних наноконкомпозитів у курсі фізики вищих навчальних закладів / М. Бордюк // Нова педагогічна думка. – 2009. – № 2. – С. 56-61.
14. Шибаев В. П. Пятая всероссийская конференция “Полимеры-2010” / В. П. Шибаев // Высокомолекулярные соединения. – 2011. – Т. 53(С), № 7. – С. 1166-1167.

**Бордюк М. А. Формирование знаний о наноструктурных системах у будущих учителей физики при изучении выборочного курса “Полимерные наноконкомпозиты и их применение”.**

В статье предлагается учебная программа выборочного курса “Полимерные наноконкомпозиты и их использование”. Реализация этой программы дает возможность формировать знания о нанобразованиях в полимерах и их системах в будущих учителей физики.

**Ключевые слова:** полимерные наноконкомпозиты, формирование знаний, выборочный курс, учебная программа, технологии изучения.

**Bordyuk M. A. Forming of knowledges about the nanostructures systems for the future teachers of physics at the study of selective course the “Polymeric nanocomposites and their applications”.**

The paper proposes a sample curriculum course “Polymer nanocomposites and their use”. This program allows you to build knowledge of nanostructures in polymers and their systems in the future physics teachers.

**Keywords:** polymer nanocomposites, knowledge creation, sampling rate, the curriculum, learning technology.