

*кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики
Рівненського державного гуманітарного університету*

*кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики
Рівненського державного гуманітарного університету*

*старший викладач кафедри професійної педагогіки
і трудової підготовки
Рівненського державного гуманітарного університету*

**ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ
ПРО ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ
ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК ТА ЇХ СИСТЕМ
У МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИВЧЕННІ СПЕЦКУРСІВ**

У статті аналізуються теоретичні та експериментальні дослідження електромагнітних властивостей макромолекулярних систем у науці про полімери та їх застосування в життєдіяльності людини. Пропонується програма спецкурсу «Полімери в електричному та магнітному полях» для напрямку підготовки 6.04020301 «Фізика» та 6.010103 «Технологічна освіта» та напрямки формування знань про електромагнітні властивості високомолекулярних сполук в процесі її реалізації.

Ключові слова: *полімери, електромагнітні властивості, технології, формування знань, методи і засоби навчання, інформаційно-методичне забезпечення.*

В статье анализируются теоретические и экспериментальные исследования электромагнитных свойств макромолекулярных систем в науке о полимерах и использования их в жизнедеятельности человека. Предлагается программа спецкурса «Полимеры в электрическом и магнитном полях» для бакалавров за направлением подготовки 6.04020301 «Физика» и способы формирования знаний о электромагнитных свойствах высокомолекулярных соединений в процессе её реализации.

Ключевые слова: *полимеры, электромагнитные свойства, технология, формирование знаний, методы и способы обучения, информационно-методическое обеспечение.*

Theoretical and experimental researches of electromagnetic properties of the macromolecular systems in science about polymers and use of the same are analysed in

the vital functions of man. The program of the special course is offered "Polymers in electric and magnetic fields" for bachelors after direction of preparation 6.04020301 "Physics" and methods of forming of knowledge about electromagnetic properties of high molecular connections in the process of her realization.

Key words: polymers, electromagnetic properties, technology, forming of knowledge, methods and methods of educating, informatively-methodical providing.

Постановка проблеми. Полімерні системи за своїми електричними властивостями поділяються на діелектрики і напівпровідники, провідники. У полімерних діелектриках макромолекули не містять атомних груп (комплексів), які легко дисоціюють на іони, а також спряжені подвійні зв'язки вздовж головного ланцюга. Полімерні напівпровідники характеризуються спряженими подвійними (потрійними) зв'язками чи комплексами з перенесення заряду вздовж макромолекули. У фізиці напівпровідникових високомолекулярних сполук в останні роки великої уваги надають дослідженню суперґраток – принципово нових, не створених природою, типу напівпровідникових речовин. Розташуванням послідовно один за одним тонких кристалів однакової товщини (10-100 Å) різних напівпровідникових полімерів отримують матеріал, який за своїми властивостями суттєво відрізняється від складових його компонентів. У таких системах виявляються незвичні ефекти типу падіння електричного опору зі зростанням прикладеної напруги.

Електропровідні полімерні системи можна розділити на два види. До першого виду належать полімери, електрична провідність яких зумовлена безпосередньо їх будовою, сформованою у процесі полімеризації, а саме системою спряжених подвійних (потрійних) зв'язків, утворенням комплексів із перенесенням заряду, координаційних хімічних зв'язків. Другий вид складають наповнені полімерні системи, електрична провідність яких зумовлена сукупністю провідних ланцюгів. Найчастіше як наповнювачі у такі системи вводять сажу, графіт, дрібнодисперсні метали або оксиди металів [1, 2].

Пошуки вчених у галузі високомолекулярних сполук спрямовані також на отримання полімерних матеріалів із високотемпературною надпровідністю [3]. У 1985 році було зафіксовано аномально високу провідність тонких плівок поліпропілену частково окислених при формуванні. Це явище нехарактерне для полімерів без системи поліспряжень, але його особливості відповідають високотемпературній надпровідності при температурах 293÷700 К. Механізм такого явища пояснюється утворенням надпровідних суперполяричних каналів, що формуються у матрицях полярних еластомерів і для яких характерний електронний механізм провідності.

Дослідження діелектричних властивостей полімерів – один із найбільш ефективних способів встановлення особливостей їхньої будови. Діелектричні властивості – це сукупність параметрів, що визначають поведінку діелектриків в електричному полі. У полімерах такими параметрами є електрична міцність, питомий електричний опір (об'ємний і поверхневий), діелектрична проникність і діелектричні втрати, що залежать від температури, частоти й амплітуди напруженості зовнішнього поля. При поміщенні

діелектрика в електричне поле в ньому спостерігаються дві основні групи явищ. Перша обумовлена тим, що всередині діелектрика, що знаходиться в електричному полі, завжди існує відмінне від нуля внутрішнє електричне поле. Тому різнойменні електричні заряди, з яких побудована будь-яка речовина, будуть зміщуватися один відносно одного. Цю групу явищ зазвичай називають діелектричною поляризацією. Однак у реальних діелектриках невелика кількість зарядів здатна не тільки переміщатися в електричному полі, але й розряджатися, доходячи до електродів, чи входити в діелектрик. Цю групу явищ називають електропровідністю.

Одним із методів модифікації структури і властивостей полімерних матеріалів є обробка їх електричним полем (ЕП) [4]. У першу чергу, це обумовлено об'ємною поляризацією елементів структури полімера під дією ЕП або зміною поверхневого стану. У результаті такої поляризації змінюються фізико-механічні властивості полімерних матеріалів, що в більшій мірі пов'язано зі збільшенням числа і розмірів упорядкованих областей, які володіють підвищеною регулярністю будови, а також релаксаційними перешкодами, обумовленими процесами орієнтації. Крім цього електричне поле може бути використане як засіб управління міжфазною взаємодією в багатокомпонентних полімерних матеріалах внаслідок перерозподілу електричного заряду і зміни різниці потенціалів у подвійних електричних шарах на границі поділу фаз. Однак, для напрямленого регулювання такої взаємодії необхідно вивчення характеристик компонентів у таких системах. Електричне поле може виступати модифікатором поверхні наповнювача для напрямленої зміни міжмолекулярних взаємодій за рахунок енергетичного поля наповнювача.

В окремих випадках ЕП здатне змінювати кінетику твердіння термореактивних зв'язуючих [5], викликати зміну сорбційних властивостей як самих полімерів, так і композицій на їх основі, змінювати густину упаковки макромолекул у межових шарах [6-10].

У більшості полімерів дія достатньо сильних ЕП при підвищених температурах викликає електретний стан, що характеризується наявністю поверхневих зарядів [11].

Полімери, як і більшість органічних речовин за магнітними властивостями, за їх поведінкою в зовнішніх магнітних полях відносяться до діамагнетиків. Це зумовлено тим, що магнітні моменти атомів і молекул, які зумовлені круговими струмами і неспареним електронним спіном (електронний парамагнітний момент) скомпенсовані. Проте до складу макромолекул входять атоми, ядра яких володіють власним магнітним моментом (наприклад, гідроген, флор, хлор та інші). Тому в полімерах поглинання енергії електромагнітного поля здійснюється тільки за рахунок магнітних моментів ядер [12-14].

Застосовуються полімери для перетворення і збереження енергії. Дослідники з Міністерства енергетики США і Лос-Аламоської національної лабораторії створили новий тип тонкого полімеру, який поглинає сонячну енергію і генерує електричний заряд на порівняно великій площі скляної поверхні. Новий продукт може застосовуватися для створення

енергогенеруючих вікон, сонячних батарей та інших пристроїв. Інноваційний матеріал є напівпровідниковим полімером у поєднанні з фулеренами (молекулярне з'єднання).

Важливою особливістю нового матеріалу є його прозорість, за що відповідає його структура. Полімерні ланцюги щільно розташовуються тільки по краях кубічних комірок, тут відбувається поглинання світла і генерування заряду, середина залишається вільною. Такі властивості нового полімеру є ідеальними для віконного скла сучасних «зелених» будівель, посилюючи їх енергоефективність.

Науковці з Швейцарської федеральної лабораторії матеріалознавства і технології (EMPA) показали в дії сонячні батареї на тонкій полімерній плівці з ККД в 18,7% і на сталевий фользі - в 17,7%. При масовому виробництві сонячні батареї такого типу будуть значно дешевші від традиційних кремнієвих. Це пов'язано не стільки з матеріалами, скільки з їх низькою витратою на квадратний метр готової панелі, з низькою масою підкладки і з тим, що тонкоплівкові сонячні елементи можна швидко виготовляти за рулонною технологією.

Прозорі полімери для літєвих батарей розробили фахівці з Стендфорда. У новому акумуляторі як основу використовують тонку полімерну плівку. У даному випадку – полідиметилсілоксан (PDMS).

Дослідники взяли PDMS, розплавив його і для створення рядів неглибоких канавок залили в кремнієву формочку шириною всього 35 мікрометрів. У ці поглиблення були послідовно додані пари металу, які конденсувалися в тонкі (непомітні на око) провідні доріжки, а також ввели туди ж кілька крапель активних речовин, необхідних для формування електродів. Між двома шарами таких електродів помістили електроліт-гель, але теж не цілком звичайний (виконує функції і електроліту, і сепаратора). Один такий бутерброд з гелю, найтонших провідників і полімерних стінок і є окремою батарейкою. Для підвищення потужності пристрою можна скласти до купи кілька подібних батарейок. Тести показали, що один літєвий сендвіч володіє прозорістю у видимому світлі в 62%. Але навіть три шари-батарейки, накладені один на одного, продемонстрували сумарне світлопропускання в 60%. Густина електричної енергії в нових батареях поступається класичним літєвим, але порівнянна з нікель-кадмієвими. Створені гнучкі акумулятори на полімерній основі, прототип такої батареї з габаритами 105x148x0,45 мм містить два гнучких електрода – позитивний і негативний, а також шар полімерного електроліту. Новизна розробки полягає в тому, що вона змінює форму не за рахунок м'якої гелієвої основи, а завдяки тому, що полімер гнеться, перебуваючи в твердому стані. Можливі сфери її застосування – це гнучкі дисплеї, які в майбутньому, можливо, складуть конкуренцію звичайним.

Полімери застосовуються в носіях інформації. Прикладом є компакт-диск. Компакт-диск – це полікарбонатна підкладка завтовшки 1,2 мм, покрита тонким шаром металу (алюміній, золото, срібло та ін.) та захисним шаром лаку, на який наноситься графічне відображення вмісту диска. Інформація зчитується саме з цієї металеві плівки, що покривається полімером, який захищає дані від

пошкодження.

Пластикове оптоволокно береться за основу виготовлення ступінчастих мультимодових волосків із діаметром серцевини 0.5 мм чи більше. Оптоволоконна система передачі даних складається з трьох основних компонентів: джерела світла, носія, по якому поширюється світловий сигнал, та приймача сигналу або детектора. Світловий імпульс приймають за одиницю, а відсутність імпульса – за нуль. Світло поширюється в надтонкому волокні. При потраплянні на детектор світла генерується електричний імпульс. Приєднавши до одного кінця оптичного волокна джерело світла, а до іншого — детектор, отримують однонаправлену систему передачі даних. Для реалізації таких завдань використовуються полімерні волокна.

Такі властивості макромолекулярних систем та їх застосування в життєдіяльності людини вказують на те, що знання про їх структуру, сфери дослідження в науці потребують вивчення студентами вищих навчальних закладів і учнями загальноосвітніх шкіл [15]. У роботах [16-18] розглядалися основні напрямки формування знань про полімери у майбутніх педагогів та реалізація дидактичних принципів вищої школи при вивченні їх властивостей в курсі природничих дисциплін.

Аналіз програм із фізики для загальноосвітньої школи [19, 20] та трудового навчання і технології [21-24] вказують на те, що їх реалізація в навчальному процесі передбачає вивчення тем пов'язаних із будовою і властивостями полімерів.

Для реалізації таких завдань необхідно впроваджувати в навчальний процес підготовки вчителів фізики та технологій нові вибіркові курси, в яких би вивчалися властивості макромолекулярних систем, зокрема електромагнітні.

Мета даної статті – показати можливості формування знань про електромагнітні властивості високомолекулярних сполук у майбутніх вчителів фізики та технологій при вивченні спецкурсів.

Виклад основного матеріалу. У представлених роботах [25-27] висвітлювалися питання вивчення властивостей полімерів та їх систем у курсі загальної фізики та технологічних дисциплін. Формування знань про електромагнітні властивості високомолекулярних сполук можна здійснювати при підготовці вчителів фізики і технологій, згідно з навчальними планами підготовки фахівців галузі знань 0402 «Фізико-математичні науки» напрямку підготовки 6.040201 «Фізика» та галузі знань 0101 «Педагогічна освіта» напрямку підготовки 6.010103 «Технологічна освіта» завдяки реалізації програми спецкурсу «Полімери в електричному та магнітному полях». Нижче пропонується структура програми цієї навчальної дисципліни.

СТРУКТУРА ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Полімери в електричному та магнітному полях
1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Галузь знань, напрям підготовки, кваліфікація, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
Галузь знань (шифр, назва): 0402 «Фізико-математичні науки» Напрямок підготовки: 6.04020301 «Фізика» Кваліфікація: вчитель фізики Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	Кількість кредитів, відповідних ECTS: 2 Загальна кількість годин: 72 Тип курсу: спеціальний Рік підготовки: 3 Семестр: 6 Лекцій: 16 годин Практичні: 8 годин Лабораторні: 16 годин Самостійна робота: 32 години Індивідуальна робота: 6 годин Модулів: 1 Змістовних модулів: 4 Вид контролю: контрольна робота, колоквиум, залік

2. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Виконання програми цього спецкурсу дозволяє забезпечувати базову фахову підготовку вчителів фізики відповідно до галузевого стандарту вищої освіти. Крім того, інформаційний матеріал спецкурсу вчитель може використовувати на уроках фізики в загальноосвітній школі, де засвоюється програма цієї дисципліни за профільним та академічним рівнями.

Вивчення поведінки полімерів в електричних та магнітних полях зумовлене їх використанням в електроніці, енергетиці, радіо- та електротехніці, інших галузях промисловості і побуту.

Мета вивчення спецкурсу полягає в засвоєнні знань про структурні особливості полімерних систем та характеру їх поведінки в електричних і магнітних полях.

Завдання дисципліни – забезпечити базову фахову підготовку вчителів фізики з формування знань про електромагнітні властивості макромолекулярних систем та використання набутих знань, умінь і навичок з цього спецкурсу в практичній діяльності загальноосвітньої школи.

При вивченні цього спецкурсу студенти використовують знання, уміння і навички, набуті при засвоєнні загальної і теоретичної фізики, загальної хімії, фізичної, колоїдної і аналітичної хімії, вищої математики, безпеки життєдіяльності, інформатики та моделювання.

У процесі викладання і вивчення спецкурсу «Полімери в електричному та магнітному полях» *студенти повинні знати:*

- особливості структуроутворень макромолекул як дипольних, зарядових систем;

- фізико-хімічні процеси наповнення полімерів та їх вплив на електричні та магнітні властивості гетерогенних систем;
- процеси поляризації полімерів та їх систем у зовнішньому електричному полі;
- експериментальні методи дослідження діелектричних властивостей полімерних систем та їх провідності;
- механізми провідності та надпровідності полімерів та їх систем;
- природу парамагнетизму та магнітної релаксації в полімерних системах;
- застосування та можливості методів ядерного магнітного резонансу до дослідження структурних особливостей полімерів;
- вплив зовнішнього магнітного поля на формування структури полімерних систем та їх властивостей;
- застосування полімерів та їх електромагнітних властивостей в електроніці, енергетиці, радіо- та електротехніці;
- роль українських учених у дослідженні електромагнітних властивостей полімерів;

уміти:

- моделювати структуроутворення полімерів та композиційних полімерних матеріалів для визначення їх діелектричних властивостей;
- експериментально визначати діелектричні, електричні та магнітні параметри полімерних систем;
- застосовувати метод узагальненої провідності для полімерних систем;
- використовувати перколяційні та анізотропно-перколяційні моделі полімерних систем для визначення характеру і функціональних залежностей провідності;
- отримувати полімерні електрети та досліджувати їх властивості;
- визначати магнітні характеристики полімерних матеріалів.

Вивчення цього курсу здійснюється на засадах кредитно-трансферної системи навчання, важливим елементом якої є модульно-рейтинговий контроль знань і вмінь студентів.

Засвоєння модуля розпочинається оглядово-настановними лекціями; наступний етап – лабораторні та практичні заняття, індивідуальна самостійна навчальна робота, консультації; все це у своїй сукупності складає зміст модуля.

Студент може достроково виконати і скласти «звіт» з матеріалу, що входить до того чи іншого модуля за домовленістю з викладачем. Звіт студента за змістом конкретного модуля вважається прийнятим, якщо під час перевірки виконаних завдань (звіти з лабораторних та самостійних робіт, ІНДЗ, модульна контрольна робота) та співбесіди з викладачем він продемонструє розуміння головних ідей модуля і послідовно, аргументовано викладе їх письмово.

Для студентів, які засвоїли матеріал і своєчасно відзвітувалися за змістом модуля до закінчення, іспит з цього предмета відмінюється і вони отримують оцінку «автоматично», якщо згідні з нею.

У разі, коли студент не зміг із тих чи інших причин вчасно скласти звіт за змістом модуля, він має змогу зробити це за домовленістю з викладачем під час консультації.

Виконання навчальних завдань оцінюється певною кількістю рейтингових балів, облік яких ведуть як викладач, так і сам студент. Остаточна оцінка успішності вивчення предмета визначається сумуванням рейтингових балів, які були отримані студентом за виконання всіх видів робіт, враховуючи і додаткові, які включають, в основному, індивідуальні та творчі роботи студентів.

Контроль результатів навчання здійснюється шляхом письмової перевірки. Засвоєння дисципліни оцінюється автоматично на «відмінно», якщо студент набрав > 90% рейтингових балів від загальної кількості, «добре» - > 75%, «задовільно» - > 60%. Студент, який набрав від 35 до 60% рейтингових балів (від загальної кількості), складає іспит згідно із розкладом, визначеного деканатом, а студент, який набрав < 35% рейтингових балів, проходить повний курс або відраховується з вищого навчального закладу.

3. ОПИС ЗМІСТОВИХ МОДУЛІВ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1.

Особливості структуроутворення полімерних систем

Тема 1. Макромолекула та її характеристики. Полімерні композиційні матеріали.

Хімічний зв'язок, будова молекул. Процеси полімеризації та поліконденсації. Макромолекула, геометричні та енергетичні характеристики. Конфігурація і конформації макромолкул. Полімерні композиційні матеріали. Наповнювачі. Особливості структуроутворення в наповнених полімерах та його моделювання. Адсорбція і адгезія структурних елементів макромолкул. Електрична теорія адгезії полімерів.

Практичне заняття 1/1. Тема: Моделювання наповнених полімерних систем та визначення геометричних та енергетичних параметрів межових та перехідних шарів.

Лабораторна робота 1/1. Тема: Отримання зразків полімерних матеріалів для дослідження їх електромагнітних властивостей.

Змістовний модуль 2.

Електричні властивості полімерів та їх систем

Тема 1. Поляризація полімерів та електрична релаксація їх структурних елементів.

Види поляризації полімерів. Макроскопічні характеристики діелектричної поляризації полімерів. Поляризація Максвелла-Вагнера. Зв'язок між макроскопічними і мікроскопічними характеристиками поляризації полімерів. Співвідношення Дебая. Діелектрична проникність та втрати в полімерах. Фактор Кірквуда, модифіковане рівняння Дебая. Діаграми Коул-Коула, Коул-Девідсона, Гавриляка-Негамі для полімерів. Використання фрактальних підходів до вивчення процесів електричної релаксації в полімерах. Експериментальні методи дослідження діелектричних властивостей полімерних систем.

Тема 2. Вплив зовнішнього електричного поля на процеси структуроутворення та властивості гетерогенних полімерних систем.

Електричне поле як засіб модифікації структури і властивостей полімерів. Електретний стан полімерних систем. Гомо- та гетерозаряди в полімерах. П'єзоелектричні властивості полімерних електретів. Полімерні сегнетоелектрики. Електричне поле в наповнених полімерних системах (моделювання і розрахунки).

Тема 3. Електропровідність полімерів та їх систем.

Полімерні діелектрики, напівпровідники і провідники. Механізми електричної провідності в полімерах. Об'ємний та поверхневий питомий опір полімерних систем. Електрична провідність металонаповнених полімерів. Надпровідність полімерів та їх систем.

Тема 4. Моделювання процесів електропровідності полімерних систем.

Теорії електропровідності полімерних систем. Використання методу узагальненої провідності до опису перенесення електричного заряду в гетерогенних полімерних системах. Оцінки провідності межових та перехідних шарів у наповнених полімерах. Перколяційні моделі та їх застосування до опису електропровідності полімерних систем.

Практичне заняття 2/1. Тема. Визначення діелектричних характеристик полімерних систем.

Практичне заняття 2/2. Тема. Використання модельних уявлень до визначення електропровідності полімерних систем. Розрахунки електропровідності межових та перехідних шарів у гетерогенних полімерних системах.

Лабораторна робота 2/1. Тема. Дослідження діелектричних характеристик полімерних систем.

Лабораторна робота 2/2. Тема. Визначення діелектричної міцності полімерів.

Лабораторна робота 2/3. Тема. Отримання полімерних електретів та визначення їх поверхневих електричних властивостей.

Лабораторна робота 2/4. Тема. Дослідження концентраційної і температурної залежності поверхневого та об'ємного опорів полімерних композицій.

Змістовний модуль 3.

Реакція полімерів і їх композицій на дію магнітного поля

Тема 1. Магнітне поле в полімерах.

Природа парамагнетизму в полімерах. Магнітна релаксація в макромолекулярних системах. Спін-граткова релаксація в полімерах. Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР) і його використання для дослідження структурних особливостей високомолекулярних сполук.

Тема 2. Вплив зовнішнього магнітного поля на процеси структуроутворення і властивості гетерогенних полімерних систем.

Магнітна сприйнятливність полімерів. Терромагнітний метод формування структури полімерів. Вплив магнітного поля на фотополімеризацію та електретний ефект у полімерах. Вплив зовнішнього магнітного поля на енергетику структурних елементів макромолекул. Модифікація

металонаповнених полімерних систем зовнішнім магнітним полем.

Практичне заняття 3/1. Тема. Визначення магнітних характеристик макромолекулярних систем.

Лабораторна робота 3/1. Тема. Вивчення ефекту Холла для полімерних напівпровідників.

Лабораторна робота 3/2. Тема. Вивчення структурних перетворень у полімерах методом електронного парамагнітного резонансу.

Лабораторна робота 3/3. Тема. Використання методу ядерного магнітного резонансу до дослідження структурних особливостей синтетичних та біополімерів.

Змістовний модуль 4.

Полімери в електроніці, енергетиці, радіо- та електротехніці

Тема 1. Можливості, перспективи та проблеми використання полімерів та їх композицій в електроніці, енергетиці, радіо- та електротехніці.

Полімерна електроніка. Полімерні світодіоди, полімерні з'єднувальні плати, полімерні дисплеї, електронний папір, гнучкий процесор. Полімери в енергетиці. Полімерні фотоперетворювачі сонячної енергії. Полімери в електричних джерелах живлення. Полімери в радіотехніці.

Таблиця 2

4. СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ

Тема	Кількість годин, відведених на				
	лекції	практичні	лабораторні	самостійну роботу	індивідуальну роботу
Змістовний модуль 1. Особливості структуроутворення полімерних систем					
Тема 1. Макромолекула та її характеристики. Полімерні композиційні матеріали				4	
Змістовний модуль 2. Електричні властивості полімерів та їх систем					
Тема 1. Поляризація полімерів та електрична релаксація їх структурних елементів				4	Індивідуальне навчально-дослідне завдання (3 год.)
Тема 2. Вплив зовнішнього електричного поля на процеси структуроутворення та властивості геометричних полімерних систем				4	
Тема 3. Електропровідність полімерів та їх систем				4	
Тема 4. Моделювання процесів електропровідності полімерних систем				4	
Змістовний модуль 3. Реакція полімерів і їх композицій на дію магнітного поля					
Тема 1. Магнітне поле в полімерах				4	Індивідуальне навчально-дослідне

Тема 2. Вплив зовнішнього магнітного поля на процеси структуроутворення і властивості гетерогенних полімерних систем				4	
Змістовний модуль 4. Полімери в електроніці, енергетиці, радіо- та електротехніці					
Тема 1. Можливості, перспективи та проблеми використання полімерів та їх композицій в електроніці, енергетиці, радіо- та електротехніці				4	
Разом – 72 години	16	8	16	32	6

5. ІНДИВІДУАЛЬНЕ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНЕ ЗАВДАННЯ

Індивідуальне навчально-дослідне завдання передбачає написання реферату, підготовку до виступів на наукових семінарах кафедри фізики, науково-дослідних лабораторій фізики високомолекулярних сполук, участь у роботі міжнародних, всеукраїнських та вузівських науково-практичних конференцій, 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.

6. МЕТОДИ І ЗАСОБИ НАВЧАННЯ

Методи навчання: словесні (пояснення, інструктаж, розповідь, бесіда, наукова дискусія), наочні (ілюстрування, демонстрування, самостійне спостереження, експеримент), практичні (вправи, задачі, лабораторні та практичні роботи), індукція і дедукція, метод аналізу, метод синтезу, метод узагальнення, метод порівнянь, метод конкретизації, метод виділення головного.

Засоби навчання: слово викладача, підручник, посібник, технічні засоби, наочний матеріал, довідниковий матеріал, об'єкти дослідження, вимірні пристрої, комп'ютерна техніка, мультимедійні пристрої.

7. МЕТОДИ І ФОРМИ КОНТРОЛЮ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ

Методи: усний, письмовий, тестовий, графічний, програмований контроль, практична перевірка, методи самоконтролю і самооцінки.

Форми: індивідуальна перевірка, фронтальна, консультації, колоквиум, підсумкова контрольна робота, індивідуальне навчально-дослідне завдання.

Таблиця 3

ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ

Національна шкала	Шкала РДГУ	Рейтингова шкала	Шкала ECTS
„5”	90 - 100	90-100	A
„4”	82-89	82-89	B
	75-81	75-81	C
„3”	67-74	67-74	D
	60-66	60-66	E
„2”	35-59	35-59	FX
„1”	0-34	0-34	F

8. ІНФОРМАЦІЙНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Навчальна програма дисципліни. Робоча програма дисципліни. Пакети візуального супроводження дисципліни. Методичні вказівки до лабораторних та практичних занять. Навчальні та контролюючі завдання. Завдання та методичні вказівки до самостійної роботи студентів над дисципліною. Завдання та методичні вказівки до виконання контрольної роботи. Рекомендована література з дисципліни.

9. ПИТАННЯ ГАРАНТОВАНОГО РІВНЯ ЗНАТЬ

1. Хімічний зв'язок, будова молекул.
2. Процеси полімеризації і поліконденсації.
3. Макромолекула, мономерна ланка, молекулярна маса.
4. Основні типи будови макромолекул (лінійні, розгалужені, дендритні, зшиті).
5. Конфігурація і конформація макромолекул. Види конформацій.
6. Гнучкість макромолекул.
7. Моделі та розміри макромолекул.
8. Енергетичні характеристики макромолекули.
9. Квадруполь-квадрупольна взаємодія в макромолекулах.
10. Потенціали взаємодії структурних елементів макромолекул.
11. Макромолекула як система запису, збереження і перетворення інформації.
12. Надмолекулярна організація макромолекулярних систем.
13. Структура аморфних полімерів.
14. Структура кристалічних і рідкокристалічних полімерів.
15. Полімерні композиційні матеріали.
16. Процеси адсорбції й адгезії в наповнених полімерах.
17. Межовий шар у наповнених полімерних системах.
18. Модель наповненого полімеру.
19. Розміри межових шарів у гетерогенних полімерних системах.
20. Густина межових шарів у наповнених полімерних системах.
21. Види поляризації полімерів.

22. Види деформаційної поляризації.
23. Теплова (релаксаційна) поляризація.
24. Макроскопічні характеристики поляризації.
25. Діелектрична проникність, вектор поляризації.
26. Поляризація Максвела-Вагнера.
27. Зв'язок макро- і мікроставностей полярних діелектриків (співвідношення Дебая).
28. Діелектричні втрати, тангенс кута діелектричних втрат.
29. Залежність діелектричної проникності від частоти зовнішнього електричного поля.
30. Дипольна взаємодія, фактор Кірквуда.
31. Закон Коул-Коула для діелектричної проникності (діаграми).
32. Закон Коул-Девідсона для діелектричної проникності.
33. Використання фрактальних уявлень, закон Гавриляка-Негамі для діелектричної проникності.
34. Температурно-частотні залежності дійсної та уявної частки комплексної діелектричної проникності полярних полімерів.
35. Експериментальні методи дослідження діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат полімерів.
36. Процеси склування і температурна залежність діелектричної проникності (тангенса діелектричних втрат) полімерів та їх систем.
37. Співвідношення Вагнера і його використання для прогнозування діелектричних властивостей полімерів.
38. Використання співвідношень Бруггемана і Оделевського до визначення діелектричних характеристик полімерних систем.
39. Вплив зовнішнього електричного поля на діелектричні властивості гетерогенних полімерних систем.
40. Електретний стан полімерних систем.
41. Гомо- і гетерозаряд у полімерах.
42. Феноменологічна теорія електретного стану полімерів.
43. Полімерні п'єзоелементи та їх можливе використання.
44. Вплив зовнішніх електричних полів на механічні властивості полімерів та їх систем.
45. Вплив електричних факторів на адгезію полімерів до наповнювачів.
46. Полімерні сегнетоелектрики та їх використання.
47. Вплив зовнішніх електричних полів на металонаповнені полімерні композиції.
48. Електричне поле в наповнених полімерних системах (розрахунки напруженості).
49. Моделювання розподілу електричного поля в неоднорідному полімерному діелектрику зі сферичними включеннями.
50. Розподіл напруженості електричного поля на поверхні металічних наповнювачів у полімерних системах.
51. Механізми електропровідності ненаповнених полімерів.
52. Полімерні діелектрики, напівпровідники, провідники.

53. Механізми електропровідності наповнених полімерних систем.
54. Поверхневий і об'ємний питомий опір полімерів.
55. Експериментальні методи дослідження електропровідності полімерних систем.
56. Концентраційна залежність питомого опору (електропровідності) металонаповнених полімерних систем.
57. Температурна залежність питомого опору (електропровідності) наповнених полімерів.
58. Зв'язок між поверхневим і об'ємним питомим опором для полімерних систем.
59. Вплив зовнішнього електричного і магнітного полів на провідність макромолекулярних систем.
60. Використання методу узагальненої провідності для прогнозування електричних властивостей наповнених полімерних систем.
61. Електропровідність матричних двофазних систем (модель наповнених полімерів).
62. Структури полімерних композитів і їх електропровідність.
63. Верхня і нижня межа Віннера для наповнених полімерів.
64. Теорія перколяцій та її використання при вивченні систем метал-напівпровідник, метал-діелектрик.
65. Випадкові блукання і поріг перколяцій.
66. Завдання вузлів і зв'язків у теорії перколяцій, перколяційний перехід.
67. Нескінченний кластер, модель Канільо-Саричева-Виноградова.
68. Модель Шкловського-Ефроса в теорії перколяцій.
69. Фрактальний підхід до визначення критичних індексів перколяційної моделі провідності наповнених полімерів.
70. Перколяційні рівняння електропровідності наповнених полімерних систем, співставлення з експериментальними значеннями.
71. Анізотропна перколяція та її використання для опису електропровідності наповнених полімерів.
72. Оцінки провідності межового шару наповнених полімерних систем (модель).
73. Оцінки електропровідності системи наповнювач-межовий шар.
74. Визначення питомого опору системи полімер-наповнювач-межовий шар.
75. Використання принципу електротеплової аналогії до оцінки електропровідності наповнених полімерів.
76. Надпровідність полімерів та їх систем. Можливі механізми надпровідності в полімерах.
77. Перспективи використання явища надпровідності полімерів.
78. Власний магнітний момент структурних елементів макромолекул.
79. Спіновий парамагнетизм у полімерах. Макроскопічна намагніченість.
80. Магнітна релаксація в макромолекулярних системах.
81. Спін-граткова релаксація в полімерах.
82. Час спін-граткової релаксації структурних елементів макромолекул.

83. Явище насичення в полімерах при прикладанні зовнішнього магнітного поля.
84. Лінії ядерного магнітного резонансу.
85. Основні механізми магнітної релаксації у блочних полімерах.
86. Суть методу ядерного магнітного резонансу.
87. Експериментальні установки для дослідження полімерів методом ядерного магнітного резонансу (блок-схеми, принцип дії).
88. Лінії ядерного магнітного резонансу для полімерів та їх систем.
89. Спектри ядерного магнітного резонансу для розплавів і розчинів полімерів.
90. Використання методів ядерного магнітного резонансу для дослідження кінетики структуроутворень у полімерах, конформаційних переходів.
91. Методика обмінного ядерного магнітного резонансу.
92. Двохмірний ядерний магнітний резонанс, його спектри.
93. Використання обмінного ядерного магнітного резонансу до дослідження молекулярної динаміки макромолекул.
94. Тензор магнітної сприйнятливості структурних елементів макромолекул.
95. Термомагнітний метод формування полімерних систем.
96. Вплив зовнішнього магнітного поля на синтетичні та біологічні рідкокристалічні полімери.
97. Вплив зовнішнього магнітного поля на процеси полімеризації, фотополімеризації.
98. Виникнення електретного ефекту в полімерах під дією магнітного поля.
99. Дія магнітного поля на металонаповнені полімерні системи.
100. Вплив зовнішнього магнітного поля на міжмолекулярну взаємодію структурних елементів макромолекул.

10. ЛІТЕРАТУРА

1. **Гуль В. Е.** Электропроводящие полимерные материалы / В. Е. Гуль, Л. Н. Царский, Н. С. Майзель [и др.]. – Москва : Химия, 1968. – 248 с.
2. **Крикоров В. С.** Электропроводящие полимерные материалы / В.С.Крикоров, Л. А. Колмакова. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 176 с.
3. **Ениколопян Н. С.** Возможная сверхпроводимость окисленного полипропилена в области ЗООК / Н. С. Ениколопян, Л. Н. Григоров, С.Г.Смирнова // Письма в ЖЭТФ. – 1989. – Т. 49. – Вып. 6. – С. 326-330.
4. **Сажин Б. И.** Электропроводность полимеров / Б. И. Сажин. – Ленинград : Химия, 1965. – 160 с.
5. Электрические свойства полимеров / под ред. Б. И. Сажина. – Москва : Химия, 1976. – 224 с.
6. **Ванников А. В.** Радиационные эффекты в полимерах. Электрические свойства / А. В. Ванников, В. К. Матвеев, В. П. Сичкарь, А.П. Тютнев. – Москва : Наука, 1982. – 272 с.

7. **Гороховатский Ю. А.** Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков / Ю. А. Гороховатский, Г. А. Бордовский. – Москва : Наука, 1991. – 248 с.
8. **Дебай П.** Полярные молекулы / П. Дебай; пер. с англ. – Москва=Ленинград : Госхимиздат, 1934. – 217 с.
9. **Кобеко П. П.** Аморфные вещества / П. П. Кобеко. – Москва=Ленинград : Изд-во АН СССР, 1952. – 214 с.
10. **Сканави Г. И.** Физика диэлектриков (область слабых полей) / Г. И. Сканави. – Москва=Ленинград : ГИТТЛ, 1949. – 465 с.
11. **Губкин А. Н.** Физика диэлектриков / А. Н. Губкин. – Москва : Высшая школа, 1971. – 272 с.
12. **Колосюк В. М.** Діелектричні релаксаційні процеси в твердих полімерах / В. М. Колосюк. – Київ : Вища школа, 1977. – 204 с.
13. **Тамм И. Е.** Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – Москва : Наука, 1966. – 307 с.
14. **Новіков В. В.** Аномальна релаксація в діелектриках / В. В. Новіков, О. А. Комкова // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 2005. – Вип. 11. – С. 64-69.
15. **Потапов А. А.** Фракталы в радиофизике и радиолокации / А. А. Потапов. – Москва : Логос, 2002. – 664 с.
16. **Гречко Л. Г.** Вплив розподілу частинок в матричних дисперсних системах на спектри поглинання ними електромагнітного випромінювання / Л. Г. Гречко, В. М. Пустовіт, Ю. С. Гончарук // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1998. – Вип. 6. – С. 29-31.
17. **Гречко Л. Г.** Ефективна діелектрична проникність нелінійного металокомпозита наповненого двошаровими включеннями еліпсоїдальної форми / Л. Г. Гречко, О. О. Довидова, В. В. Бойко // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1999. – Вип. 7. – С. 29-31.
18. **Алексєєв О. М.** Діелектрична релаксація у полівінілбутиралі / О. М. Алексєєв // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1998. – Вип. 6. – С. 35-36.
19. **Бубкова Л. П.** Диэлектрическая релаксация и структура смесей полиметилметакрилата и поливинилхлорида / Л. П. Бубкова, И. Г. Разинская, Л. Л. Бурштейн [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1988. – № 11. – Т. 28 (А). – С. 2335-2341.
20. **Мащенко В. А.** Дослідження впливу зовнішнього електричного поля на діелектричну релаксацію полівінілхлориду при формуванні його структури / В. А. Мащенко, В. І. Нікітчук, Ю. А. Антоневич та ін. // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1998. – Вип. 6. – С. 132-133.
21. **Борисова Т. И.** Изучение подвижности молекул растворителя в полимерной матрице методом диэлектрической релаксации / Т. И. Борисова, В. Н. Чернов // Высокомолекулярные соединения. – 1972. – № 9. – Т. 14(А). – С. 1929-1935.

22. **Хоршун Л. П.** Методы автоматизированного расчета физико-механических постоянных композиционных материалов / Л. П. Хоршун, Б.П. Маслов. – Киев : Наук. думка, 1980. – 128 с.

23. **Шкловский В. И.** Электронные свойства легированных полупроводников / В. И. Шкловский, А. Л. Эфрос. – Москва : Наука, 1979. – 235 с.

24. **Мащенко В. А.** Дослідження впливу зовнішнього електричного поля на діелектричну проникність металонаповнених композицій на основі полівінілхлориду / В. А. Мащенко // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1997. – Вип. 2. – С. 47-50.

25. **Кестельман В. Н.** Физические методы модификации полимерных материалов / В. Н. Кестельман. – Москва : Химия, 1980. – 224 с.

26. **Довгяло В. А.** Влияние электрического заряда дисперсного связующего на особенности его отверждения в слоистых пластиках / В.А. Довгяло, И. Л. Копаев, О. Р. Юркевич // Вести АН БССР. – 1989. – № 1. – С. 40-44. – (Серия «Физ.-тех. Науки»).

27. **Вертелих И. М.** Свойства полимерных электретных материалов, сформированных в контакте с разнородными металлами / И. М. Вертелих, Ю.И. Воронежцев, В. А. Гольдаде [и др.] // Пластические массы. – 1986. – № 3. – С. 30-32.

28. **Панченко І. М.** Вологопроникність полімерних плівок в неоднорідному електричному полі / І. М. Панченко // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1997. – Вип. 2. – С. 51-53.

29. **Довгяло В. А.** Роль электростатического взаимодействия компонентов при формировании граничных слоёв в полимерных волокнистых композитах / В. А. Довгяло // Доклады АН БССР. – 1990. – № 10. – Т. 34. – С. 905-907.

30. **Кириллов Г. Я.** Термомеханические свойства лакокрасочных покрытий, нанесенных распылением в электрическом поле / Г. Я. Кириллов, В.С. Понкин, Н. В. Светланов [и др.] // Лакокрасочные материалы. – 1976. – № 4. – С. 22-24.

31. **Губкин А. Н.** Электреты / А. Н. Губкин. – Москва : Наука, 1978. – 192 с.

32. **Орешкин П. Т.** Физика полупроводников и диэлектриков / П.Т. Орешкин. – Москва : Высшая школа, 1977. – 446 с.

33. **Лущейкин Г. А.** Полимерные электреты / Г. А. Лущейкин. – Москва: Химия, 1984. – 192 с.

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

35. **Лущейкин Г. А.** Методы исследования электрических свойств полимеров / Г. А. Лущейкин. – Москва : Химия, 1988. – 160 с.

36. **Черних В. П.** Органічна хімія / В. П. Черних, Б. С. Зіменковський, І.С. Грищенко. – Харків : Основа, 1997. – 881 с.

37. **Пинчук Л. С.** Электретные материалы в машиностроении / Л.С. Пинчук, В. А. Гольдеде. – Гомель : Инфортрибо, 1998. – 288 с.

38. **Губкин А. Н.** Электреты из полимерных плёнок / А. Н. Губкин, Т.С. Егоров, Л. М. Кокорин [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1970. – № 3. – Т. 12 (А). – С. 602-609.

39. **Reedyk C. W.** The Measurement of Surface Charge / C. W. Reedyk, M.M. Perlman // J. Electrochemical Soc.: Solid State Science. – 1968. – Vol.115. – № 1 – P. 45-49.

40. **Gerhard-Mulhaupt R.** Electrets / R. Gerhard-Mulhaupt. – Morgan Hill: Laplacian Press, 1999. – 338 p.

41. **Sterzynski T.** Electric field stimulated changes of the structure of LDPE / **T. Sterzynski** // Integr. Fundum. Polym. Sci. and Technol. – London. – 1988. – P. 436-440.

42. **Wieder H. H.** Plastic Electrets / H. H. Wieder, Sol. Kaufman // J.Appl.Phys. – 1953. – Vol. 24. – №2. – P. 156-161.

43. **Sun Ximin** Chemical surface treatment of PMMA electrets / Sun Ximin, Wang Yan // 7th International Symposium on Electrets (ISE 7). – Berlin. – 1991. – P. 96-99.

44. **Губкин А. Н.** Электреты из полиметилметакрилата / А. Н. Губкин, В.А. Оглобин // Высокомолекулярные соединения. – 1969. – № 2. –Т. 11 (Б). – С. 154-157.

45. **Turhout J.** Thermically Stimulated Discharge of Polymer Electrets./ J. Turhout – Amsterdam: Krips Repro B.P.Meppal, 1972. – P. 340.

46. **Randak M.** Thermostimulierte Strome in Pjlymeren / M. Randak , V.Adamec // Plaste u. Kautschuk. – 1972. – Bd.19. – № 12. – P. 905-906.

47. **Vanderschueren J.** Stability of heterocharges in poly(methyl methacrylate)thermoelectrets / J. Vanderschueren // J. Polymer Sci.; Polymer Phys. Ed. – 1974. – Vol.12. – № 5. – P. 991-1000.

48. **Санников Ю. Н.** Добавки и электретный эффект в полиметилметакрилата / Ю. Н. Санников, С. И. Кузнецов, С. С. Гоц [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1992. – № 7. – Т. 34 (Б). – С. 34-39.

49. **Лущейкин Г.А.** Полимерные пьезоэлектрики / Г. А. Лущейкин. – Москва : Химия, 1990. – 176 с.

50. **Talwar I. M.** Thermally Stimulated Depolarization Studies of PVC Polymer Electrets / I. M. Talwar, D. L. Sharma // J.Electrochem.Soc. – 1978. – Vol. 125. – № 3. – P. 434-437.

51. Thermal currents in polyblends of PMMA and PVC/ P. E. Patil, J.M. Keller, R. K. Dubey and other's // 9th International Symposium on Electrets (ISE 9). – Shanghai. – 1996. – P. 570-575.

52. **Nogales A.** Cooperative Motions in PVC Studied by Thermally Stimulated Currents: Comparison with A.C. Dielectric Derivative Analysis / A. Nogales, B. Sauer // J.Polym.Sci., Part B, Polym.Phys. – 1998. – Vol. 36, № 5. – P. 913-918.

53. **Гороховатский Ю. А.** Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков / Ю.А. Гороховатский, Г.А. Бордовский. – Москва: Наука, 1991. – 244 с.

54. **Вертячих И. М.** Влияние наполнителей на величину электростатического заряда полимерных материалов / И. М. Вертячих, Л. С. Пинчук, Е. А. Цветкова // *Высокомолекулярные соединения*. – 1987. – № 6. – Т. 29 (Б). – С. 460-463.

55. **Древаль В.Е.** Влияние электрического поля на структуру и релаксационные свойства термотропного жидкокристаллического сополимера п-оксибензойной кислоты и полиэтилентерафталата / В. Е. Древаль, С.З. Бубман, З. Р. Раджабов [и др.] // *Высокомолекулярные соединения*. – 1991. – № 6. – Т. 33 (Б). – С. 475-478.

56. **Жандаров С. Ф.** Влияние электрических полей и зарядов на адгезионное взаимодействие компонентов в полимерных волокнистых композитах / С. Ф. Жандаров, В. А. Довгяло, Е. В. Писанова [и др.] // *Механика композитных материалов*. – 1993. – № 2. – Т. 29. – С. 267-273.

57. **Довгяло В. А.** Влияние электрических полей и зарядов на структуру граничных слоев в полимерных волокнистых композитах / В. А. Довгяло, С.Ф. Жандаров, Е. В. Писанова // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 1997. – № 2. – Т. 3. – С. 53-62.

58. **Шуваев В. П.** Влияние электрического поля на энергию активации электропроводности и миграционную поляризацию / В. П. Шуваев // *Высокомолекулярные соединения*. – 1988. – № 5. – Т. 30 (Б). – С. 332-337.

59. **Artbauev Ian** Some factors preventing the attainment of intrinsic electric strength in polymeric sulfonates / Ian Artbauev, Juraj Griac // *JEEE Traus Eltc. Iusulat*. – 1970. – V. 5. – № 4. – P. 104-112.

60. **Kahle M.** Der Einfluß von Gleichspannungsvorbeausprungen und Erholungszeit auf die feststandesdilatierbarkeit von hochpolymerenfolien / M. Kahle // *Elektrik* - 1971. - V. 25. – № 8. – P. 315-316.

61. **Goffaux R.** Sur les propriétés de transition de charges dans les diélectriques foliés / R. Goffaux // *Rev. gen. dec.* – 1972. – V. 81. – № 1. – P. 9-13.

62. Исследования влияния внешнего физического поля на электропроводность полимерной гетерогенной системы: отчет о НИР/НИИ физики ЛГУ. – №02860012744. – Ленинград, 1985. – 68 с.

63. **Колупаев Б. С.** Взаимосвязь теплофизических и электрофизических свойств ПВХ-систем / Б. С. Колупаев, Н. А. Бордюк, В. А. Сидлецкий [и др.] // *Инженерно-физический журнал*. – 1998. – № 5. – Т. 71. – С. 819-822.

64. **Мучник В. М.** Электризация грубодисперсных аэрозолей в атмосфере / В. М. Мучник, Б. Е. Фишман // Ленинград : Гидрометеиздат, 1982. – С.50.

65. **Саранин В. А.** Напряжённость электрического поля заряженных проводящих шаров и пробой воздушного промежутка между ними / В.А. Саранин // *Успехи физических наук*. – 2002. – № 12. – Т. 172. – С. 1449-1454.

66. **Саранин В. А.** О взаимодействии двух электрических заряженных проводящих шаров / В. А. Саранин // *Успехи физических наук*. – 1999. – № 4. – Т. 169. – С. 453-458.

67. **Светлов Б. С.** Аналитические решения электродинамических задач / Б. С. Светлов, В. П. Гутабенко. – Москва : Наука, 1988. – 344 с.

68. Методы расчета электростатических полей / Н. Н. Миролубов, М.В. Костенко, М.Л. Левинштейн, Н.Н. Тиходеев. – Москва : Высшая школа, 1963. – 246 с.

69. **Кривцов В. В.** Влияние металлического наполнителя на изменение внешнего электрического поля в полимерных композициях / В. В. Кривцов // Электронная обработка материалов. – 2005. - № 231. – С. 54-61.

70. **Кривцов В. В.** Напруженість електричного поля всередині зарядженої металонаповненої полімерної системи / В. В. Кривцов // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 2004. – Вип.10. – С. 88-92.

71. **Кривцов В.В.** Застосування методу термічно стимульованої деполаризації для вивчення структури полімерних композитів / В.В. Кривцов, Б.С. Колупаєв, Є. В. Лебедев // Український фізичний журнал. – 2006. – № 8. – Т. 51. – С. 830-835.

72. **Мащенко В. А.** Дослідження впливу електричного поля при формуванні структури на електропровідність металонаповнених полімерних композицій / В. А. Мащенко, Б. С. Колупаєв, М. А. Бордюк та ін. // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1998. – Вип. 5. – С. 37-40.

73. **Дульнев Г.Н.** Проводимость неоднородных систем / Г. Н. Дульнев, В. В. Новиков // Инженерно-физический журнал. – 1979. – № 5. – Т. 36. – С. 901-910.

74. **Дульнев Г. Н.** Теория протекания и проводимости неоднородных сред. Базовая модель неоднородной среды / Г. Н. Дульнев, В. В. Новиков // Инженерно-физический журнал. – 1983. – № 3. – Т. 45. – С. 443-451.

75. **Зингул Э.** Физика поверхности / Э. Зингул; пер. с англ. – Москва : Мир, 1990. – 563 с.

76. **Мамуня Є. П.** Структура і властивості полімерних композицій з електропровідними наповнювачами: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук: спец. 01.04.19. «Фізика полімерів»/ Є. П. Мамуня. – Київ, 2003. – 36 с.

77. Processing, structure and electrical properties of metal filled polymers/ **Ye. Mamunya, Yu.V. Muzychenko, P.Pissis and other's** // J.Macrom. Sci. – Phys. – 2001. – V. 170. – P. 591-602.

78. **Mamunya Ye. P.** Polymer blends filled with carbon black: structure and electrical properties / Ye. P. Mamunya // Macromol. Symp. – 2001. – V. B40. – № 3. – 4. – P. 591-602.

79. Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders/ **Ye. P. Mamunya, V. V. Davydenko, E. V. Lebedev and other's** // Europ. Polym. J. – 2002. – V. 38. – P. 1887-1897.

80. **Мамуня Е. П.** Описание электропроводности высоконаполненных полимерных систем с помощью динамического кластера / Е. П. Мамуня, В.В. Даведенко, Е. В. Лебедев // Доклады АН УССР. – 1991. - № 8 (Б). – С. 153-156.

81. **Мамуня Е. П.** Связь критической концентрации с геометрическими параметрами частиц наполнителя в электропроводных полимерных

композициях / Е. П. Мамуня, В. В. Давиденко, Е. В. Лебедев // Доклады АН УССР. – 1991. - № 5 (Б). – С. 124-127.

82. **Мамуня Є. П.** Електрофізичні властивості металонаповнених полімерних композицій / Є. П. Мамуня, Ю. В. Музиченко, М. І. Шут та ін. // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 2000. – Вип. 8. – С. 3-6.

83. **Kirkpatrick S.** Percolation and conduction / S. Kirkpatrick // Rev.Mod.Phys. – 1973. - V. 45. – № 4. – P. 574-582.

84. **Гай М. И.** О перколяционных эффектах в механических системах / М. И. Гай, Л. И. Ианевич, В. Г. Ошмян // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 276. – № 6. – С. 1389-1391.

85. **Колупаєв Б. С.** Дослідження електропровідності граничного шару в металонаповнених полімерних системах на основі гнучколанцюгових полімерів / Б. С. Колупаєв, М. А. Бордюк, В. А. Мащенко та ін. // Фізика конденсованих систем. – 1993. – Т. . – С. 87-94.

86. **Новиков В. В.** Интерационный метод расчета электропроводности неоднородных сред с хаотической структурой / В. В. Новиков, Н. О. Дмитриева, А. В. Новиков // Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова. – 2004. - № 5. – С. 27-38. – (Серія 1 «Фізико-математичні науки»).

87. **Новиков В. В.** Компьютерное моделирование проводимости неоднородной среды с хаотической структурой / В. В. Новиков, Е.А. Нежевенко, А. В. Новиков // Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова. – 2004. – № 5. – С. 39-48. – (Серія 1 «Фізико-математичні науки»).

88. **Демчук В. Б.** Электрические свойства ПВХ, наполненного дисперсным Fe_3O_4 / В. Б. Демчук, В. А. Мащенко, В. А. Сидлецький // Физика диэлектриков (Диэлектрики - 2008) : материалы XI Международной конференции. – Санкт-Петербург, 2008. – Т. 2. – С. 352-353.

89. **Слоним И. Я.** Ядерный магнитный резонанс / И.Я. Слоним // Энциклопедия полимеров. – Москва : Совесткая энциклопедия, 1977. – Т. 2. – С. 1039-1043.

90. **Kimura T.** Orientation of cellulose triacetate films cast from solution in high magnetic field / T. Kimura, M. Yamamoto, S. Endo // J. Polym. Sci. – 2001. – V. 39. – № 16. – P. 1942-1947.

91. **Хеберлен У.** ЯМР высокого разрешения в твердых телах / У. Хеберлен, М. Меринг; пер. с англ. – Москва : Мир, 1980. – 504 с.

92. **Крушельницкий А. Г.** Обменная ЯМР спектроскопия твердого тела: применение для изучения крупномасштабной конформационной динамики биополимеров / А. Г. Крушельницкий // Успехи физических наук. – 2005. – № 8. – Т. 175. – С. 815-832.

93. **Родин Ю. П.** Постоянные магнитные поля и физико-механические свойства полимеров / Ю. П. Родин // Механика композитных материалов. – 1991. – № 3. – С. 490-503.

94. **Ania F.** Diamagnetic properties of polyethylene. 1. Dependence of temperature and defect content / F. Ania, F. Balta Calleja // J.Macromolecular Sci. – 1983. – V. 22. – № 3. – P. 451-461.

95. **Ania F.** Diamagnetic properties of polyethylene. 2. Analysis of phase contributions / F. Ania, F. Balta Calleja // *Polimer Bull.* – 1985. – V. 13. – № 4. – P. 379-384.

96. **Стадник А. Д.** Регулирование структуры и свойств полимерных композиционных материалов термомагнитной обработкой / А. Д. Стадник, Л.И. Феклина // *Композиционные полимерные материалы.* – 1984. – Вып. 22. – С. 41-44.

97. **Демчук В. Б.** Експериментальна установка по формуванню полімерних композиційних матеріалів в магнітних полях / В. Б. Демчук, В.Г. Касаткін, Ю. М. Бестюк // *Фізика конденсованих систем.* – 1993. – Т. 1. – С. 44-46.

98. **Родин Ю. П.** Поведение макромолекул атактического полистирола в однородном постоянном магнитном поле / Ю. П. Родин, Ю. М. Молчанов // *Механика композитных материалов.* – 1982. – № 4. – С. 671-678.

99. **Hüser B.** Macroscopic ordering of liquid crystalline polymers with discotic mesogens / B. Hüser, T. Pakula, H. Spiess // *Macromolecules.* – 1989. – V. 22. – P. 1960-1963.

100. **Murthy N. S.** Liquid crystallinity in collagen solutions and magnetic orientation of collagen fibrilles / N. S. Murthy // *Biopolymers.* – 1984. – V. 23. - № 7. – P. 1261-1267.

101. **Маре Г.** Биомолекулы и полимеры в сильных постоянных магнитных полях / Г. Маре, К. Драсфельд // *Сильные и сверхсильные магнитные поля и их применения.* – Москва : Наука, 1988. – С. 180-262.

102. **Кобелев Л. Я.** О возможном влиянии сильных магнитных полей на процессы низкотемпературной полимеризации / Л. Я. Кобелев // *Высокомолекулярные соединения.* - 1964. – № 2. – Т. 7. – С. 2113-2117.

103. **Бучаченко А. Л.** Второе поколение магнитных эффектов в химических реакциях / А. Л. Бучаченко // *Успехи химии.* – 1993. – № 12. – Т. 62. – С. 1139-1149.

104. **Голубкова Н. А.** Магнитный эффект при фотополимеризации инициированной диацетатоуранилан / Н. А. Голубкова, И. В. Ходяков, А. Л. Бучаченко, Д. А. Топчиев // *Доклады АН СССР.* – 1988. – № 1. – Т. 300. – С. 147-151.

105. **Онищенко Т. І.** Інгібування полімеризації епоксикарилових олігомерів / Т. І. Онищенко // *Фізика конденсованих високомолекулярних систем.* – 1997. – Вип. 3. – С. 215-216.

106. **Віленський В. О.** Структура та теплоємність поліметакрилової кислоти, синтезованої в постійних магнітних полях / В. О. Віленський, Л.А. Гончаренко // *Доповіді НАН України.* – 2001. – № 9. – С. 137-146.

107. Электрическая поляризация полиэтилена в постоянном магнитном поле / В. А. Белый, В. В. Снежков, Ю. В. Батаев [и др.] // *Доклады АН СССР.* – 1986. – № 2. – Т. 290. – С. 373-375.

108. **Снежков В. В.** О влиянии магнитного поля на поляризационные эффекты в полиэтилене / В. В. Снежков // *Тезисы докл. XIV науч.-техн. конф.*

молодых специалистов «Физика и механика композиционных материалов на основе полимеров». – Гомель, 1985. – С. 4.

109. **Манько Т. А.** Исследование влияния магнитной обработки на структуру и свойства эпоксирганопластов / Т. А. Манько, Е. А. Джур, Ф.П. Санин [и др.] // Механика композитных материалов. – 2001. – № 2. – Т. 37. – С. 275-280.

110. **Купорев Б. А.** Влияние отжига в постоянном магнитном поле на диэлектрические свойства хелатосодержащих полимеров / Б. А. Купорев, В.А. Виленский, Л. А. Гончаренко // Высокомолекулярные соединения. – 2001. – № 3. – Т. 43 (Б). – С. 536-541.

111. **Феклина Л. И.** О влиянии термомагнитной обработки на структуру и теплофизические свойства поливинилфторида / Л. И. Феклина, А.Д. Стадник, В. М. Барановский // Пром. теплотехника. – 1984. – № 5. – Т. 6. – С. 57-59.

112. **Акутин М. С.** Научные проблемы переработки полимеров / М.С. Акутин, В. Е. Гуль, Г. П. Слонимский // Журнал Всесоюз. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. – 1976. – № 5. – Т. 21. – С. 486-493.

113. **Малежик М. П.** Модифікація фізико-механічних властивостей в епоксидних полімерах на стадії їх формування в магнітному полі / М.П. Малежик, Т. Г. Січкач // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1997. – Вип. 3. – С. 68-71.

114. **Зазимко Н. М.** Вплив постійного магнітного поля на особливості твердіння епоксидних полімерів / Н. М. Зазимко, М. І. Шут, Т. Г. Січкач [и др.] // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 2007. – Вип.12. – С. 86-88.

115. **Віленський В. О.** Порівняльний вплив постійних електричного і магнітного полів на кристалічну структуру, теплофізичні та діелектричні властивості металовмісних поліуретан-целюлозних кополімерів / В.О. Віленський, Л. А. Гончаренко, Г. Є. Глієва [и др.] // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 2005. – Вип. 11. – С. 10-16.

116. **Левчук В. В.** Дослідження впливу магнітного поля на акустичні властивості і структурні параметри металонаповненого полівінілхлориду / В.В. Левчук, В. Б. Демчук, О. В. Левчук, В. С. Феха [и др.] // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1997. – Вип. 2. – С. 84-85.

117. **Демчук В. Б.** Дослідження впливу постійного магнітного поля на структурно-механічні та в'язкопружні властивості полімерного композиційного матеріалу / В. Б. Демчук, О. М. Волошин, Ю. Б. Муха // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1997. – Вип. 3. – С. 245-247.

118. **Левчук В. В.** Дослідження впливу магнітного поля на релаксацію структурних елементів наповнених полімерних систем / В. В. Левчук, В.Б. Демчук // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 2000. – Вип. 8. – С. 37-39.

119. **Левчук В. В.** Дослідження впливу магнітного поля на кінетичні характеристики полімерних систем на основі полівінілхлориду / В. В. Левчук,

В. Б. Демчук, Б. П. Дем'янюк, С. В. Левчук // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1999. – Вип. 7. – С. 7-8.

120. Демчук В. Б. Вплив постійного магнітного поля на структурно-механічні властивості гетерогенних полімерних систем / В. Б. Демчук // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1998. – Вип. 5. – С. 47-49.

121. Колупаєв Б. С. Розрахунок змін вільної енергії гетерогенних полімерних систем під дією зовнішнього магнітного поля / Б. С. Колупаєв // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1999. – Вип. 7. – С. 3-4.

122. Демчук В. Б. Вплив зовнішніх магнітних полів на магнітні властивості металонаповнених гнучколанцюгових полімерів / В. Б. Демчук, Б. С. Колупаєв, В. О. Сідлецький [и др.] // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 2005. – Вип. 11. – С. 70-72.

123. Калимов И. К. Исследование критической динамики магнитоупорядоченных кристаллов ультразвуковыми методами / И.К.Калимов, Х. К. Алиев // Успехи физических наук. – 1998. – Т. 168. – № 9. – С. 953-974.

124. Звездин А. К. Фазовые переходы в мегагауссных магнитных полях / А. К. Звездин, И. А. Лубашевский, Р. З. Левитин [и др.] // Успехи физических наук. – 1998. – № 10. – Т. 168. – С. 1141-1146.

11. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

- www.metodolog.ru/00872/00872.html
- 4pda.ru/2012/04/22/59964/
- [ru.wikipedia.org/wiki/пластиковая электроника](http://ru.wikipedia.org/wiki/пластиковая_электроника)
- [ru.wikipedia.org/wiki/органический светодиод](http://ru.wikipedia.org/wiki/органический_светодиод)
- vkuzse.ua/ua/health/elektronika-dlya-chelovecheskogo-tela.html
- innosfera.org/node/682
- www.psle.ws/russian/electron.htm
- ko.com.ua/stabilnye_jelektody_udeshvyat_pechatnyuyu_jelektroniku_62826
- newchemistry.ru/letter.php?n_id=6858
- innowise.ru/tech/ucheny_e_skoro_nas_zhdet_deshevaja_gibkaya_elektronika
- electric.info/main/news/234-novye-texnologii-tokoprovodyashhij-plastik.html
- www.nanonewsnet.ru/news/2012/prozrachnaya_elektrinka
- www.polymery.ru/blog.php?d_company=728catagory=item
- expert.ru/expert/2012/15/prozrachnaya_elektrinka
- www.russianelectronics.ru/leader-r/news/49502/doc/58342/
- electricalschool.info/spravochnik/material/330-tredye-jelektroizoljacionnyye-materialy.html
- hf-epr.sitested.com/documents/seminar/seminar.46.pakhomov.pdf
- high-tech.nnrm.ru
- www.membrana.ru/particle/15912
- nauka.in.ua/news/archive/article_detali/7049?print=true
- solat.org.ua/interesting/133822203
- www.victrex.com/ru/victrex-library/press-releases/detail/detail.php?id=551
- citforum.ru/news/27418/

- radiofind.ru/news/view/102/
- imlab.narod.ru/m_fields/m_plast/m_palst.htm
- www.electronics.ru/fields/article/pdf/1/article/_1301/560.pdf
- gizmod.ru/2012/04/18/magnitnaya-bumaga
- www.compitech.ru/html.cqi/archiv02_06/stat_68.htm
- www.portalnano.ru/news/read/1453
- www.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=355&id=15
- him1septamber.ru/article.php?ID=200600814
- science.compulenta.ru/628908/
- ntsz.info/nanoworld/simply/index.php?ELEMENTID=1279
- www.energetyka.com.ua/old/polimernye-solnechnye-batarei.shtml
- specelec.ru/node/37
- www.aetechnologies.ru/dev/11-details.htm
- energohelp.net/articles/technologies-sub/66469/
- wsyachina.narod.ru/chemistry/polymer_electrolyte.html
- polymers-money.com/index.php?option=comk2&view=item&id=1665:v-amerike-otkryt-prozrachnyj-polimer-generirujuwij-jelektrichestvo&itempid=171
- www.proelectro.info/content/detail/3008
- energy.vestsnab.ru/articles/7491.html
- www.iticorp.com/mews/1731/
- www.dailytechinfo.org/energy/page/17
- recentre.com/news-and-insigts/3435
- www.amka.ru/press/amka_err_10.pdf
- science.compulenta.ru/661221/
- tp.guelta.com.ua/shop5/index.php?productID=670
- www.gsnti-norms.ru/norms/common/doc.asp?0&/norms/grnti/gr47.htm
- www.battlerockvilla.com/catagory/antenni-spycialnogo-naznacheniya/page/15/
- radio-technica.ru/rubric/volokonno-opticheskie/seti
- eutg.net/ua/article/1155
- radio-technica.com/page/20
- nicopeia.com/category/materiali-dlya-electroniki-i-radiotychniki
- radiotech.info/page/13/

Висновки. Реалізація представленої програми дає можливість формувати знання майбутніх педагогів про структурні особливості організації полімерних систем, їх поведінку в електромагнітних полях; формувати уміння і навички моделювання електромагнітних властивостей полімерів; розширювати науковий кругозір студентів, доповнюючи уявлення про наукову картину світу; формувати нові підходи до розуміння значення і ролі макромолекул у житті людини. Впровадження такого спецкурсу в навчальний процес підготовки бакалаврів дає можливість формувати практичні вміння і навички студентів, які майбутній вчитель використовуватиме в своїй діяльності в загальноосвітній школі або професійному навчальному закладі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуль В. Е. Электропроводящие полимерные материалы / В. Е. Гуль, Л.Н. Царский, Н. С. Майзель [и др.]. – Москва : Химия, 1968. – 248 с.
2. Крикоров В. С. Электропроводящие полимерные материалы / В.С. Крикоров, Л. А. Колмакова. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 176 с.
3. Ениколопян Н. С. Возможная сверхпроводимость окисленного полипропилена в области ЗООК / Н. С. Ениколопян, Л. Н. Григоров, С.Г. Смирнова // Письма в ЖЭТФ. – 1989. – Т. 49. – Вып. 6. – С. 326-330.
4. Кестельман В. Н. Физические методы модификации полимерных материалов / В. Н. Кестельман. – Москва : Химия, 1980. – 224 с.
5. Довгяло В. А. Влияние электрического заряда дисперсного связующего на особенности его отверждения в слоистых пластиках / В. А. Довгяло, И.Л. Копаев, О. Р. Юркевич // Вести АН БССР. – 1989. – № 1. – С. 40-44. – (Серия «Физ.-тех. науки»)
6. Вертелих И. М. Свойства полимерных электретных материалов, сформированных в контакте с разнородными металлами / И. М. Вертелих, Ю.И. Воронежцев, В. А. Гольдаде [и др.] // Пластические массы. – 1986. - № 3. – С. 30-32.
7. Панченко І. М. Вологопроникність полімерних плівок в неоднорідному електричному полі / І. М. Панченко // Фізика конденсованих високомолекулярних систем. – 1997. – Вип. 2. – С. 51-53.
8. Довгяло В. А. Роль электростатического взаимодействия компонентов при формировании граничных слоёв в полимерных волокнистых композитах / В. А. Довгяло // Доклады АН БССР. – 1990. – № 10. – Т. 34. – С. 905-907.
9. Кириллов Г. Я. Термомеханические свойства лакокрасочных покрытий, нанесенных распылением в электрическом поле / Г. Я. Кириллов, В. С. Понкин, Н. В. Светланов [и др.] // Лакокрасочные материалы. – 1976. – № 4. – С. 22-24.
10. Губкин А. Н. Электреты / А. Н. Губкин. – Москва : Наука, 1978. – 192 с.
11. Слоним И. Я. Ядерный магнитный резонанс / И. Я. Слоним // Энциклопедия полимеров. – Москва : Советская энциклопедия, 1977. – Т. 2. – С. 1039-1043.
12. Kimura T. Orientation of cellulose triacetate films cast from solution in high magnetic field / T. Kimura, M. Yamamoto, S. Endo // J. Polym. Sci. – 2001. – V. 39. – № 16. – P. 1942-1947.
13. Хеберлен У. ЯМР высокого разрешения в твердых телах / У. Хеберлен, М. Меринг; пер. с англ. – Москва : Мир, 1980. – 504 с.
14. Крушельницкий А. Г. Обменная ЯМР спектроскопия твердого тела: применение для изучения крупномасштабной конформационной динамики биополимеров / А. Г. Крушельницкий // Успехи физических наук. – 2005. – № 8. – Т. 175. – С. 815-832.

15. Бордюк М. Сучасний стан науки про полімери та перспективи вивчення їх властивостей у загальноосвітній школі / М. Бордюк, Б. Колупаєв, Т. Шевчук // Нова педагогічна думка. – 2007. – № 2. – С. 78-87.
16. Бордюк М. А. Основні напрямки формування знань про полімерні матеріали у майбутніх педагогів / М. А. Бордюк, Т. М. Шевчук, Н. А. Бордюк // Оновлення змісту, форм та методів навчання і виховання в закладах освіти. Наукові записки РДГУ. – 2012. – Вип. 3 (46). – С. 140-145
17. Бордюк М. Реалізація принципу науковості у формуванні знань про полімерні матеріали в майбутніх вчителів у процесі вивчення курсів фізики / М. Бордюк // Нова педагогічна думка. – 2010. – № 4. – С. 46-53.
18. Бордюк М. Формування знань про полімерні матеріали в майбутніх учителів фізики на принципах дидактики / М. Бордюк, Т. Шевчук, Н. Бордюк // Нова педагогічна думка. – 2011. – № 4 – С. 110-120.
19. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика 10-11 класи. Профільний рівень [Електронний ресурс]. – Режим доступу : mon.gov.ua.
20. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика 10-11 класи. Академічний рівень [Електронний ресурс]. – Режим доступу : mon.gov.ua.
21. Навчальна програма. Трудове навчання 5-9 класи / за заг. ред. В.М.Мадзігона [Електронний ресурс]. – Режим доступу : mon.gov.ua.
22. Технології 10-11 класи. Програма для профільного навчання учнів загальноосвітніх навчальних закладів. Технологічний напрям. Технологічний профіль. Спеціалізація «Енергетика» [Електронний ресурс] / Д. В. Сингаївський, А. С. Юсенко, В. А. Ястремський [и др.]. – Режим доступу : mon.gov.ua.
23. Технології 10-11 класи. Програма для профільного навчання учнів загальноосвітніх навчальних закладів. Технологічний напрям. Технологічний профіль. Спеціалізація «Будівництво. Опоряджувальні роботи» [Електронний ресурс] / Л. Л. Суценцева, О. Є. Суценцев, О. В. Балуда, О. Ф. Каленик. – Режим доступу : mon.gov.ua.
24. Технології 10-11 класи. Програма для профільного навчання учнів загальноосвітніх навчальних закладів. Технологічний напрям. Технологічний профіль. Спеціалізація «Легка промисловість» [Електронний ресурс] / К. Бондар, О. Кустова, Н. Павич. – Режим доступу : mon.gov.ua.
25. Бордюк М. Вивчення властивостей полімерних матеріалів у курсі фізики педагогічних ВНЗ / М. Бордюк // Фізика та астрономія в школі. – 2009. – №1 (70). – С. 45-48.
26. Бордюк М. Формування знань про полімерні матеріали у майбутніх вчителів фізики / М. Бордюк // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. – 2012. – Вип. 32. – С. 33-38. – (Серія 5 «Педагогічні науки: реалії та перспективи»).
27. Бордюк Н. Формування знань про полімерні матеріали студентів при вивченні курсу «Товарознавство виробництва продуктів харчування» / Н. Бордюк, М. Бордюк // Трудова підготовка в закладах освіти. – 2011. – № 10 (89). – С. 22-27.

Дата надходження до редакції: 02.11.2012 р.