

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор _____

“ 30 ” серпня 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА
НОРМАТИВНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика колоїдних систем

(шифр і назва навчальної дисципліни)

Освітня програма	Прикладна фізика та наноматеріали
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Галузь знань	10 Природничі науки

Івано-Франківськ
2022

Робоча програма нормативної дисципліни **Фізика колоїдних систем** для
аспірантів за спеціальністю **«Прикладна фізика та наноматеріали»**
„26” серпня 2022 р.

Розробник:

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій,
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри матеріалознавства і новітніх
технологій

Протокол від “29” серпня 2022 р. № 1

Завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

_____ (Остафійчук Б.К.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

“29” серпня 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізико-технічного факультету.

Протокол від “30” серпня 2022 р. № 1

“30” серпня 2022 р.

Голова _____ (Яцура М.М.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 6	Галузь знань <u>10</u> <u>Природничі науки</u> <small>(шифр і назва)</small>	Нормативна
	Спеціальність 105 «Прикладна фізика і наноматеріали» <small>(шифр і назва)</small>	
Модулів – 1		Рік підготовки:
Змістових модулів – 2		<u>1</u> -й
Індивідуальне науково-дослідне завдання <small>(назва)</small>		Семестр
Загальна кількість годин - 180		<u>1,2</u> -й
		Лекції
Тижневих годин для денної форми навчання: 5 аудиторних 2 самостійної роботи студента – 3	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>доктор філософії</u>	<u>40</u> год.
		Семінарські
		20 год.
		Лабораторні
		–
		Самостійна робота
		<u>120</u> год.
Індивідуальні завдання:		
	<u>0</u> год.	
	Вид контролю:	
	<u>іспит</u>	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 1:2

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс «Фізика колоїдних систем» є нормативною фундаментальною дисципліною при підготовці доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є набуття студентами компетентності системного розуміння властивостей систем з високим ступенем дисперсності та підготовка до застосування отриманих фахових знань при здійсненні конкретних наукових досліджень. Передбачається розвиток компетентності в методах і методиках фізичного дослідження; компетентності у виконанні експериментально-дослідних робіт; компетентності в роботі з науковою літературою й інформаційними ресурсами, необхідними при проведенні наукових досліджень.

Завдання дисципліни – сформулювати у аспірантів фізично обґрунтовані уявлення про

1. методи отримання та класифікацію колоїдних систем;
2. умови утворення, стійкості та руйнування дисперсних систем
3. фізичні властивості колоїдних систем;
4. методи дослідження дисперсних систем;
5. взаємозв'язок структура - властивості матеріалів ;
6. можливість керування морфологічними, оптичними, електричними характеристиками матеріалів з метою отримання систем із заданим комплексом властивостей.

окрім того можна виділити такі теоретичні завдання :

- сприяти засвоєнню студентами теоретико-методологічних основ експериментальних досліджень в галузі фізики колоїдних систем;
- ознайомити з основними вимогами до організації і проведення фізичного експерименту в галузі фізики колоїдних систем;

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- фізико-хімічні основи утворення колоїдних систем;
- методи та прилади для дослідження властивостей матеріалів;
- умови синтезу, що дозволяють змінювати стан та умови рівноваги колоїдних систем;
- фізичні властивості дисперсних систем.

вміти:

- вирішувати теоретичні та прикладні проблеми процесів формування колоїдних систем і створення на їх основі матеріалів певного ступеня дисперсності з передбачуваною морфологією та фазовим складом.

мати досвід:

- у розробці нових, оригінальних і високоефективних технологій отримання та модифікації функціональних матеріалів на основі колоїдних систем, в тому числі наноматеріалів.
- у визначенні набору сучасних експериментальних методик, що дозволяють в повному обсязі дослідити властивості та структуру дисперсних систем, а також в систематизації і узагальненні результатів, отриманих різними методами;
- у виробленні нових теоретичних підходів на основі отриманих експериментальних результатів, що стосуються колоїдних матеріалів із заданими властивостями;

Компетенції, що формуються під час вивчення дисципліни:

ЗК 1. Розуміння концептуальних та методологічних засад у галузі науково-дослідної та/або професійної діяльності.

ФК.1. Здатність реалізувати самостійну науково-дослідницьку та науково-педагогічну діяльність у галузі прикладної фізики та нанотехнологій з використанням новітніх наукових знань.

ФК.2. Здатність формулювати основні атрибути прикладної фізичної задачі, будувати її модель, визначати завдання фізичного дослідження.

ФК.3. Здатність аналізувати і узагальнювати результати сучасних досліджень у галузі, адаптувати їх для вирішення наукових і прикладних проблем у галузі прикладної фізики.

Очікувані результати навчання

ПРН. 1. У результаті навчання здобувачі повинні набути знання і вміння, які дозволяють застосовувати сучасні концептуальні поняття у галузі фізики, прикладної фізики, суміжних галузей знань, зокрема, методології та принципів побудови наукових досліджень, для здійснення професійної діяльності.

ПРН. 2. Знання фундаментальних праць провідних вітчизняних і зарубіжних вчених у галузі прикладної фізики і суміжних наук.

ПРН. 3. Знання поглибленого рівня у сфері фізики, технології речовин і матеріалів, сучасних методів дослідження їх властивостей.

ПРН. 5. Знання основи сучасних засад функціонування науки, основ методології та організації наукових досліджень різних рівнів, формувати методологічну базу власного наукового дослідження.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 180 годин / 6 кредитів ЄКТС.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1.

Класична фізика колоїдних систем

Тема 1. Атомно-молекулярна будова речовини.

Атомні рівні енергії. Стани електронів в атомі. Атом гелію. Водневоподібні рівні енергії. Самоузгоджене поле, рівняння Томаса-Фермі. Хвильові функції електронів поблизу ядра. Періодична система елементів. Рентгенівські терми. Атом у зовнішніх полях (ефекти Зеемана і Штарка). Мультипольні моменти. Поляризованість. Квантова теорія молекул. Рівняння Шредінгера для молекули. Адіабатичне наближення. Молекула водню. Ядерна та електронна задачі. Наближення Гайтлера-Лондона. Природа хімічного зв'язку. Електронні терми двоатомної молекули. Класифікація термів багатоатомних молекул.

Тема 2. Міжмолекулярні взаємодії

Класифікація міжмолекулярних взаємодій. Далекосіяжні взаємодії: електростатичні, індукційні та дисперсні взаємодії. Короткосіяжні взаємодії та взаємодії на проміжних відстанях. Обмінні взаємодії. Донорно-акцепторні взаємодії. Водневий зв'язок. Емпіричні та квантово-механічні форми потенціалів міжмолекулярної взаємодії. Вплив оточуючого середовища.

Тема 3. Принципи термодинаміки та статистичної фізики

Рівновага фаз. Правило фаз Гібса. Критична точка. Фазові переходи 1-го і 2-го родів. Основні принципи статистики. Теорема Ліувілля. Статистичний розподіл у класичній і квантовій статистиці. Закон зростання ентропії. Мікроканонічний, канонічний і великий канонічний ансамблі. Статистична сума. Вільна енергія. Вивід основних термодинамічних співвідношень.

Тема 4. Агрегатні стани речовини

Гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Закон відповідних станів. Термодинамічна подібність. Теплоємність. Стисливість. Ефект Джоуля-Томсона. Методи вимірювання термодинамічних величин. Явища переносу в газах. В'язкість. Теплопровідність. Дифузія. Термодифузія. Кінетичні явища в сильнорозрідженому газі. Газ Кнудсена

Рідини. Будова рідин. Радіальна функція розподілу. Вивчення структури рідин дифракційними методами: рентгенографія, нейтронографія, електроннографія. Статичний структурний фактор. Рівняння стану рідин і густих газів. Густина, стисливість, теплоємність. Термодинамічні функції. Явища переносу. Молекулярні рідини. Діелектричні властивості. Кореляція орієнтацій. Рідкі кристали. Розчини. Правило фаз. Осмотичний тиск. Фазові рівноваги в розчинах. Діаграми стану. Асоціація та сольватація в рідинах та розчинах. Фізико-хімічні основи утворення асоціативних комплексів. Асоціативні рідини.

Теорія твердого тіла. Пряма і обернена кристалічна ґратка. Група симетрії кристала. загальні властивості стаціонарних станів кристала, що ґрунтуються на його симетрії. Одноелектронні стани. Структура зон. Класифікація твердих тіл на основі енергетичного спектру одноелектронних станів

Тема 5. Фазові переходи

Фазові переходи. Умови рівноваги фаз. Правило фаз Гібса. Критична точка. Фазові переходи першого роду. Фазові переходи другого роду. Фазовий перехід газ-рідина. Теорія Ван-дер-Ваальса. Критична область. Флуктуації в критичній області. Критичні показники. Діаграми стану. Закон Клапейрона-Клаузіуса. Критична опалесценція. Метастабільні стани. Перегрів, переохолодження. Тиск насичених парів над розчином. Плавлення. Кристалізація. Визгин і сублімація.

Тема 6. Дисперсні системи

Класифікація дисперсних систем. Аерозолі, суспензії, емульсії. Енергетика диспергування і конденсації. Отримання колоїдів. Колоїдний стан. Оптичні властивості. Методи дослідження дисперсних систем. Седиментаційна рівновага. Молекулярно-кінетичні властивості. Броунівський рух. Закон Ейнштейна-Смолуховського. Осмотичні властивості та мембранна рівновага. Агрегативна стійкість і коагуляція дисперсних систем. Умови термодинамічної стійкості дисперсних систем. Стійкість ліофобних дисперсних систем. Теорія Дерягіна-Ландау-Вервея-Овербека. Адсорбційно-сольватний, ентропійний і структурний фактори стійкості. Електродинаміка дисперсних систем.

Тема 7. Поверхневі явища

Термодинаміка і будова поверхневого шару. Поверхневий натяг та поверхневий тиск. Геометричні параметри поверхні. Рівняння Лапласа. Рівновага між поверхневою фазою і газом. Адсорбція, хемосорбція, іонний обмін. Взаємодія молекул з поверхнею твердого тіла. Мономолекулярна та полімолекулярна адсорбція. Ізотерма адсорбції Ленгмюра. Кооперативна адсорбція. Фундаментальне адсорбційне рівняння Гібса. Поверхнево-активні речовини. Адгезія, змочування і розтікання рідин. Крайові кути і трикутник Неймана. Розтікання і правило фаз Антонова. Фазові переходи в міжфазних поверхнях. Перехід змочування. Поверхневі сили в явищах переносу. Обернений осмос. Електрокінетичні явища.

Змістовий модуль 2.

Квантова фізика колоїдних систем

Тема. 1. Розмірне квантування і квантово-розмірні структури

Принцип розмірного квантування. Умови спостереження квантових розмірних ефектів. Структури з двовимірним електронним газом. Структури з одновимірним електронним газом (квантові нитки). Структури з нуль-мірним електронним газом (квантові точки). Структури з вертикальним перенесенням. Густина станів вільних електронів у випадку одно-двох- та трьохмірних структур. Узагальнення щодо систем обмежених розмірів.

Тема 2. Вільні і зв'язані носії заряду у низькорозмірних структурах.

Густина станів у електронних системах з низькою розмірності. Статистика носіїв в низькорозмірних структурах. Домішкові стани і екситони в низькорозмірних структурах.

Тема 3. Нульмірні структури. Квантові точки

Квантові точки великого радіусу. Квантові точки малого радіусу. Кулонівська блокада і одноелектронні процеси. Поглинання світла квантовими точками.

Тема 4. Квазіодномірні структури.

Одномірні кристали. Перехід Пайерлса. Неможливість співіснування різних фаз в двовимірних структурах. Одновимірний електронний газ. Особливості розсіювання одновимірних носіїв заряду. Природні квазіодномірні електронні системи. Балістична провідність ниток.

Тема 5. Двомірні квантові структури. Графен.

Двомірні кристали. Далекий порядок і теплові флуктуації. Тонкі кристалічні плівки як квазідвомерні структури. Графен. Зона Брілюена і закон дисперсії графена. Зонна структура двомірного графенового листа. Графенові нанострічки. Функціоналізований графен

Тема 6. Оптичні властивості низькорозмірних структур.

Міжзонне поглинання. Міжривневі переходи. Зв'язані електронно-діркові пари (екситони). Екситони у двомірних напівпровідниках. Екситони у квантових нитках та квантових точках. Оптична іонізація квантових ям. Ефекти деполяризації. Люмінесцентні властивості квантових точок. Нелінійні оптичні властивості. Конденсація екситонів.

Тема 7. Кінетичні ефекти в низькорозмірних системах.

Час релаксації і рухливість. Механізми розсіювання. Модульоване легування. Межривневе розсіювання. Балістичний транспорт. Вертикальне перенесення в системі квантових ям.

4. Структура навчальної дисципліни (денна форма навчання)

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1						
<i>Змістовий модуль 1. Класична фізика колоїдних систем</i>						
Тема 1. Атомно-молекулярна будова речовини.		4				10
Тема 2. Міжмолекулярні взаємодії		2				10
Тема 3. Принципи термодинаміки та статистичної фізики		4	2			10
Тема 4. Агрегатні стани речовини		4	2			10
Тема 5. Фазові переходи		4	2			10
Тема 6. Дисперсні системи		4	2			10
Тема 7. Поверхневі явища		4	2			10
Разом за змістовим модулем 1		26	10	0	0	70
<i>Змістовий модуль 2. Квантова фізика колоїдних систем</i>						
Тема 1. Розмірне квантування і квантово-розмірні структури		2	2			10
Тема 2. Вільні і звязані носії заряду у низькорозмірних структурах.		2	2			5
Тема 3. Нульмірні структури. Квантові точки		2	2			10
Тема 4. Квазіодномірні структури.		2				5
Тема 5. Двомірні квантові структури. Графен.		2	2			10
Тема 6. Оптичні властивості низькорозмірних структур.		2	2			5
Тема 7. Кінетичні ефекти в низькорозмірних системах.		2				5
Разом за змістовим модулем 2		14	10	0	0	50
Усього годин	180	40	20	0	0	120

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Атом у зовнішніх полях (ефекти Зеемана і Штарка та їх практичне значення)	2
2.	Квантова теорія молекул. Рівняння Шредінгера для молекули. Адіабатичне наближення. Молекула водню. Ядерна та електронна задачі. Наближення Гайтлера-Лондона. Природа хімічного зв'язку	2
3.	Класифікація міжмолекулярних взаємодій. Обмінні взаємодії. Донорно-акцепторні взаємодії.	2
4.	Рівновага фаз. Правило фаз Гібса. Критична точка. Фазові переходи 1-го і 2-го родів.	2
5.	Енергетика диспергування і конденсації. Отримання колоїдів. Колоїдний стан	2
6.	Термодинаміка і будова поверхневого шару. Поверхневий натяг та поверхневий тиск.	2
7.	Агрегативна стійкість і коагуляція дисперсних систем. Умови термодинамічної стійкості дисперсних систем	2
8.	Принцип розмірного квантування. Умови спостереження квантових розмірних ефектів. Структури з двовимірним електронним газом.	2
9.	Густина станів у електронних системах з низькою розмірності. Статистика носіїв в низькорозмірних структурах.	2
10.	Міжзонне поглинання. Міжрівневі переходи. Зв'язані електронно-діркові пари (екситони).	2
	Разом:	20

6. Самостійна робота (денна форма навчання)

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Електронні терми двоатомної молекули. Класифікація термів багатоатомних молекул.	10
2.	Емпіричні та квантово-механічні форми потенціалів міжмолекулярної взаємодії.	10
3.	Мікроканонічний, канонічний і великий канонічний ансамблі. Статистична сума.	10
4.	Явища переносу в газах. В'язкість. Теплопровідність. Дифузія. Термодифузія. Кінетичні явища в сильнорозрідженому газі. Газ Кнудсена	10
5.	Фазові рівноваги в розчинах. Діаграми стану. Асоціація та сольватація в рідинах та розчинах. Фізико-хімічні основи утворення асоціативних комплексів. Асоціативні рідини	10
6.	Теорія твердого тіла. Пряма і обернена кристалічна ґратка. Група симетрії кристала. загальні властивості стаціонарних станів кристала, що ґрунтуються на його симетрії.	10
7.	Адсорбційно-сольватний, ентропійний і структурний фактори стійкості. Електродинаміка дисперсних систем.	10
8.	Крайові кути і трикутник Неймана. Розтікання і правило фаз Антонова.	10
9.	Обернений осмос. Електрокінетичні явища.	5

10.	Вивчення структури рідин дифракційними методами: рентгенографія, нейтронографія, електроннографія.	10
11.	Вивчення структури колоїдів резонансними методами.	5
12.	Зонна структура двомірного графенового листа. Графенові нанострічки. Функціоналізований графен	10
13.	Люмінесцентні властивості квантових точок. Нелінійні оптичні властивості.	5
14.	Балістичний транспорт. Вертикальне перенесення в системі квантових ям.	5
	Разом:	120

7. Індивідуальні завдання

1. Підготовка проекту відповідно до тем (індивідуальний розподіл).

8. Методи навчання

Теоретичні методи (бесіда, лекція, пояснення), наочні методи (демонстрації приладів, моделей, схем, малюнків, мультимедіафільмів)

9. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (практичні роботи за двома змістовими модулями – 30 балів, самостійна робота – 20 балів, іспит – 50 балів. Підсумкова оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

10. Шкала оцінювання

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
80 – 89	B	добре	
70 – 79	C		
60 – 69	D	задовільно	
50 – 59	E		
26 – 49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

11. Рекомендована література

Основна література

Базова

1. Аморфні та мікрокристалічні матеріали. Навчально-методичний посібник / І.П. Яремій, Р.В. Ільницький, С.І. Яремій – Івано-Франківськ, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2011. – 62 с.

2. І.П. Яремій Структура і властивості аморфних матеріалів. / Івано-Франківськ, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2014. – 120 с.
3. Фізична та колоїдна хімія : базовий підруч. для студ. вищ. фармац. навч. Закл. IV рівня акредитації / В.І. Кабачний, Л.Д. Грицан, Т.О. Томаровська та ін. ; за заг. ред. В.І. Кабачного. 2-ге вид., перероб. та доп. — Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2015. 432 с.
4. Короткова І. В., Маренич М. М. Фізична і колоїдна хімія: Лабораторний практикум. Полтава, 2018. 224 с.
5. Волков С.В., Ковальчук Є.П., Огенко В.М., Решетняк О.В. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали. К.: Наукова думка. –2008. –424 с.
6. Костржицький А.І., Тіщенко В.М., Калінков О.Ю., Берегова О.М. Фізична і колоїдна хімія. К: Центр учбової літератури, 2008. 495 с.
7. Колоїдна хімія: Підручник/ М.О. Мchedлов-Петросян, В.І. Лебідь, О.М. Глазкова, С.В. Єльцов, О.М. Дубина, В.Г. Панченко; За ред. М.О. Мchedлова-Петросяна . Харків: Фоліо, 2005. 304 с.
8. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. К.: Либідь, 1993. 544 с.
9. Скоробогатий Я.П., Федорко В.Ф. Хімія і методи дослідження сировини і матеріалів. Фізична і колоїдна хімія та фізико-хімічні методи дослідження. Львів, 2005. 245 с.
10. Білий О.В. Фізична хімія. К., 2002.
11. Фізична хімія: Підручник для студентів нехімічних спеціальностей ВНЗ / За ред. В.В. Манка. – К.: ІНКОС, 2007. – 196 с. 4. Усков І.О.
12. Колоїдна хімія з основами фізичної хімії високомолекулярних сполук. / І.О. Усков, Б.В. Єременко, С.С. Пелішенко, В.В. Нижник – Київ: Вища школа, 1995. – 320с.
13. Івашина Г.О. Практикум з фізичної та колоїдної хімії. / Г.О. Івашина, А.Ю. Шепель – Херсон: Айлант, 2004, – 76с.
14. Ковальчук Є.П., Решетняк О.В. Фізична хімія. Підручник / Львів. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. –2008. –800 с.
15. Костржицький А.І., Калінков О.Ю., Тіщенко В.М., Берегова О.М. Фізична та колоїдна хімія. Навч. пос. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 496 с
16. Решетняк О.В., Українець А.М., Закордонський В.П., Яцишин М.М., Ковалишин Я.С. Лабораторні роботи з фізичної хімії. I. Термохімія. Фазова та хімічна рівновага. Будова речовини. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. –2005. –202 с.
17. Українець А.М., Решетняк О.В., Закордонський В.П., Яцишин М.М., Горбачовська Х.Р., Дутка В.С. Лабораторні роботи з фізичної хімії. II Хімічна кінетика. Електрохімія. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. –2003. –166 с.

Додаткова:

1. Фізична і колоїдна хімія: підручник для студентів природничих факультетів педагогічних інститутів. / Л.І. Каданер – К.: Вища шк., 1971. – 284с.
2. Мороз А. С., Луцевич Д. Д., Яворська Л.П. Медична хімія. – Вінниця: Нова Книга, 2013. – 776 с. Гомонай В.І. Фізична та колоїдна хімія. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 496 с.
3. Волошинець В.А. Фізична та колоїдна хімія. Фізико-хімія дисперсних систем та полімерів: навч. посібник. – Львів: Вид. Львів. політехн., 2013. – 200 с.
4. Пилипчук Л.Л. Наноматеріали в хімії та фармації. Навчально-методичний посібник. / Л.Л.Пилипчук, В.М.Близнюк. – Херсон. Олді-плюс, 2020. – 16 с.
5. Остапович Б.Б., Герцик О.М., Ковалишин Я.С. Хімія високомолекулярних сполук. Ч. 1. Синтез полімерів. Практикум. // Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. –2007. –112 с.

Інтернет-ресурси

https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:eb3ba2f9c8c4751fb7ceecdce87ed213c32f662c/20190224140238//720544/index.html

[https://med-](https://med-chemistry.pdmu.edu.ua/storage/resources/docs/kJM7UNFjMJcaVYz9SIK70vkADrJWTeXkAXLRRtiV8.pdf)

[chemistry.pdmu.edu.ua/storage/resources/docs/kJM7UNFjMJcaVYz9SIK70vkADrJWTeXkAXLRRtiV8.pdf](https://med-chemistry.pdmu.edu.ua/storage/resources/docs/kJM7UNFjMJcaVYz9SIK70vkADrJWTeXkAXLRRtiV8.pdf)

https://studwood.net/1631644/matematika_himiya_fizika/metodi_oderzhannya_koloyidnih_rozchin_iv