МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
"7" вересня 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВК 2.02 «Фазові рівноваги та фазові переходи»

Рівень вищої освіти	**другий (магістерський)**
Галузь знань	**10 – Природничі науки**
Спеціальність	**104 - Фізика та астрономія**
Освітньо-професійна програма	**Фізика та астрономія**

ОНУ
Одеса
2022

Робоча програма навчальної дисципліни «**Фазові рівноваги та фазові переходи**». – Одеса: ОНУ, 2022, 14 с.

Розробник: Гоцульський Володимир Якович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики та астрономії

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол №1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія» _____ Вадим АДАМЯН

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Наталя МАСЛЄЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 4 годин – 120 змістових модулів – 2	Галузь знань 10 – Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: Перший (освітньо-професійний)	Дисципліна за вибором
		Рік підготовки:
		1-й
		Семестр
		1-й
		Лекції
		30 год.
		Практичні, семінарські
		30 год.
		Лабораторні
		0 год.
		Самостійна робота
		60 год.
		Форма підсумкового контролю: **залік**

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є підготовка фахівців, здатних розв’язувати складні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов’язані з дослідженням фізичних об’єктів і систем, процесів і явищ та їх технічними застосуваннями у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що характеризуються комплексністю і невизначеністю умов та передбачають застосування певних макроскопічних теорій і методів фізики та/або астрономії.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є формування у студентів наступної системи компетентностей, що включають знання, розуміння, уміння та навички фізико-математичного моделювання й кількісного аналізу

фізичних процесів у макроскопічних системах з використанням методів класичної теорії поля, теорії пружності та гідродинаміки:

Інтегральна компетентність

ІК. Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальні компетентності

ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК 06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

Спеціальні (фахові) компетентності

СК 01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

СК 05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

СК 08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

Нормативний зміст підготовки магістра, сформульований у термінах результатів навчання

РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і

експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

РН02. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень

РН12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експерименті і спостережень.

3. **Зміст навчальної дисципліни**

1 рік, 1 семестр

Змістовий модуль 1.

Тема 1. Вступ. Гази ідеальні та реальні. Ізотерма Амага. Ізотерма Ван-дер-Ваальса, точка роси та точка кипіння, рівноважний стан, бінодаль. Рівняння опису реального газу. Критичний стан. Рівняння відповідних станів.

Тема 2. Термометрія. Термодинамічна фаза, агрегатні стани. Метастабільні стани, спінодаль. Правило фаз Гіббса, прикладні аспекти. Фазові діаграми однокомпонентних систем, поліморфізм, алотропія.

Тема 3. Рівновага фаз, фазові переходи. Термодинамічний опис рівноважних фаз та фазових переходів. Класифікація фазових переходів, ФП I, II та n-го роду. Прихована теплота переходу. Рівняння Клаузіуса, рівняння Еренфеста.

Тема 4 Перехід молекул через границю розділу фаз, експериментальне визначення ймовірності такого переходу. Флуктаційна теорія фазових переходів.

Тема 5 Критичний стан однокомпонентної системи. Гравітаційний ефект. Калорометрія. Експериментальні методи дослідження критичного стану від опалесценції до спектроскопії теплових нейтронів.

Тема 6 Потрійна точка, лінія співіснування рідина-пара, рідкий стан класичних рідин, аргоноподібність, полярні рідини, потенціали межмолекулярної взаємодії, Н - зв'язки.

Тема 7 Класифікація рідинних системи та методи їх дослідження.

Тема 8 Мезофази, різновиди рідких кристалів, застосування та особливості дослідження рідкокристалічного стану.

Змістовий модуль 2.

Тема 9 Поверхневі явища, методи визначення характеристик границі розділу фаз, застосування поверхневих явищ, поверхнево-активні речовини, адсорбція, абсорбція, адгезія та когезія.

Тема 10 Суміші та розчини. Концентрації, їх різновиди та особливості застосування. Фазові діаграми багатокомпонентних систем. Критичні точки розчинів. Евтектика, азеотропні розчини. Закони Рауля та Генрі, ідеальні розчини. Кріоконстанта та ебулеоконстанта розчину, зв'язок з молекулярною вагою молекул. Перегонка, очищення речовин та розділення компонентів розчинів.

Тема 11 Оптичні методи дослідження конденсованого стану речовини. Молекулярне розсіяння світла статичне та динамічне, висококогерентна фотоніка при дослідженні рівноважних та нерівноважних фаз. Фотосенсибілізовані реакції, вплив світла на фазові переходи.

Тема 12 Волюметрія фаз, контракція, особливі точки фазових фазових діаграм водних розчинів спиртів.

Тема 13 Кристалічний та склоподібний стан. Критичний зародок нової фази, рівняня Боголюбопа-Борна-Гріна-Івона-Кірквуда (*ББГКІ*), кластери та клатрати, експериментальні методи дослідження швидкості фазового переходу, розподілу за розмірами кластерів та мікрокристалітів. Методи отримання монокристалів, їх застосування. Зонна плавка.

Тема 14 Полімери та полімерні розчини, методи їх дослідження. Дисперсні фази, поруваті фази, експериментальні методи дослідження характерних розмірів та об'ємів поруватих тіл.

Тема 15 Біополімери та біологічні розчини, кров як дисперсна система та рідка тканина. Нанофлюїди у техніці та медицині.

4. Структура навчальної дисципліни

Теми занять	Кількість годин				
	Очна денна форма				
	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	СР
1	2	3	4	5	6
Змістовий модуль 1.					
Тема 1. Вступ. Гази ідеальні та реальні.	8	2	0		6
Тема 2 Термодинамічна фаза, фазові діаграми однокомпонентних систем.	8	2	4		8
Тема 3. Рівновага фаз, фазові переходи, Їх типи та опис.	8	2	4		10
Тема 4. Флуктаційна теорія фазових переходів.	8	2			
Тема 5. Критичний стан однокомпонентної системи.	8	2			
Тема 6. Рідкий стан класичних рідин, аргоноподібність.	8	2			
Тема 7. Класифікація рідинних системи та методи їх дослідження.	8	2			
Тема 8 Мезофази, особливості дослідження рідкокристалічного стану.	8	2			
Змістовий модуль 2.					
Тема 9 Поверхневі явища.	8	2	2		4
Тема 10 Суміші та розчини.	8	2	2		4
Тема 11 Оптичні методи дослідження конденсованого стану речовини.	8	2	2		4
Тема 12 Волюметрія фаз, контракція, особливі точки фазових фазових діаграм водних розчинів спиртів.	8	2	2		4
Тема 13 Кристалічний та склоподібний стан. Критичний зародок.	8	2	2		4
Тема 14 Полімери та полімерні розчини, дисперсні та поруваті фази.	8	2	2		4
Тема 15 Біополімери та біологічні розчини	8	2	2		4
Усього годин	**120**	**30**	**30**		**60**

Теми практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Аналіз ізотерм реальних газів	2
2	Фазові діаграми однокомпонентних систем, «важіль Максвелла»	2
3	Хімічні потенціали та ентальпія фазового переходу.	2
4	Кореляційні функції, радіус кореляції	2

5	Рівняння відповідних станів	2
6	Лінія співіснування рідина-пара, в'язкість рідини і експериментальне визначення силових констант речовини.	2
7	Розчинність газів у воді та водних розчинах, точка Бойля.	2
8	Сендвич-ячейки, штучні твіст-структури рідких кристалів.	2
9	Оцінка точності різних методів дослідження поверхневих явищ.	2
10	Концентрації сумішей та розчинів. Крива плавкості.	2
11	Роздільна здатність, мікроскопія, ультрамікроскопія, мікроскопія атомних сил.	2
12	Пікнометричний та аерометричний методи визначення густини та надлишкового об'єму розчину.	2
13	Переохолодження, швидкість охолодження, аморфні метали.	
14	Визначення другого віріального коефіцієнту з молекулярного розсіяння світла.	
15	Ліпопротеїни як особлива фаза водних розчинів біомолекул.	
	РАЗОМ	**30**

5. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені навчальним планом

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Параметри порядку фазових переходів в різних системах.	4
2	Моделі фазових переходів. Модель Ізінга. Введення моделі Ізінга. Критичні індекси моделі Ізінга	4
3	Хімічний потенціал, застосування у задачах фазових переходів	4
4	Теорія Брега-Вільямса, перехід порядок-безпорядок в бінарних сплавах.	4
5	Теорія Ван-дер-Ваальса критичних явищ. Критичні індекси. Обчислення критичних індексів в теорії Ван-дер-Ваальса	4
6	Надпровідність та надплинність	4
7	Теплоємність, лямбда-точка, методи калориметрії	4
8	Прикладні аспекти рідкокристалічного стану, магнітооптика РК.	4
9	Амфіфільність, поверхневі явища границі solid-solid, solid-gas	4
10	Лазерна анемометрія, фазово-модульована інтерферометрія,	4
11	Створення просторово-періодичних фаз у лужно-галоїдних кристалах.	4
12	Експериментальне дослідження та теорія асоційованих	4

	рідин від Менделєєва до комп'ютерного експерименту.	
13	Експериментальні методи дослідження розподілу за розмірами зародків нової фази.	4
14	Визначення методами молекулярного розсіяння світла молекулярної маси полімерів.	4
15	Кооперативні переходи спіраль-клубок, клубок-глобула в полімерних молекулах. Теплоємність полімерів.	4
	РАЗОМ	**60**

9. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні інтерактивні та наочні методи навчання. Головними словесними методами навчання є лекції і практичні заняття. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод; метод проблемного викладу; частково-пошуковий або евристичний метод. Під час практичних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод; дискусійний метод; дослідницький метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод.

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль здійснюється за результатами аудиторного опитування і аудиторної активності студентів, виконання ними домашніх завдань, що включають теми практичних занять і теми для самостійної роботи, модульних контрольних робіт. Підсумковий семестровий контроль (іспит) додатково враховує результати підсумкової екзаменаційної роботи.

Критерії оцінювання виконання практичних занять і самостійної роботи

Теми практичних занять і теми для самостійної роботи оцінюються через виконання домашніх завдань. Кожне завдання включає кілька завдань та/чи запитань, відповіді на які кожний студент подає у письмовій формі. Відповіді перевіряються викладачем та обговорюються зі студентом і його однокурсниками. Оцінка за виконання визначається повнотою, правильністю

і якістю наданих студентом відповідей. Вона включається в оцінку поточного контролю за алгоритмом, наведеним у пункті

Критерії оцінювання контрольних робіт за модулями

Контрольні роботи за модулями проводиться в письмовій формі. Кожна робота складається з 10 теоретичних питань, кожне з яких може включати кілька пов'язаних підпитань, на які треба відповісти у стисливій формі. Відповідь на кожне питання оцінюється за десятибальною шкалою наступним чином:

- повна правильна відповідь – 10 балів;
- повна відповідь, що містить незначну неточність – 9 балів;
- повна відповідь, що містить дві неточності – 8 балів;
- повна відповідь, що містить помилку, або неповна відповідь, де відсутнє певне пояснення – 7 балів;
- повна відповідь з двома помилками, або неповна відповідь з помилкою – 6 балів;
- за кожну наступну помилку чи відсутнє пояснення знімається 1 бал;
- повністю неправильна або відсутня відповідь – 0 балів.

11. Питання для підготовки до періодичного й підсумкового контролів

1. Поняття термодинамічної фази.
2. Основні термодинамічні величини. Екстенсивні та інтенсивні величини.
3. Рівняння стану ідеального газу та рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерма Амага. Інші методи опису реального газу.
4. Термодинамічні потенціали. Хімічний потенціал
5. Рівновага фаз. Принцип ЛеШательє-Брауна. Детальна рівновага.
6. Аналіз ізотерми Ван-дер-Ваальса. Метастабільні стани, спінодаль, бінодаль. Критична точка, потрійна точка.
7. Фазові діаграми. Фазові переходи першого та другого роду.

9. Розмірність параметру порядку.

10. Види діаграм стану.

11. Потрійна точка.

12. Правило фаз Гіббса в багатокомпонентних системах.

13. Критичні точки у розчинах, критичні концентрації.

14. Критичні індекси двовимірної моделі Ізінга.

15. Модель Гайзенберга і розмірність її параметра порядку.

16. Назвати причини переходу клубок- глобула.

17. Навести схему визначення ртутного пороміра.

18. Описати експеримент, який дозволив би визначити критичні індекси.

19. Розрахувати хімічний потенціал для однокомпонентних та двокомпонентних систем.

12. Обчислити асимптотичну поведінку парної кореляційної функції.

13. Спінодаль в теорії Ван-дер-Ваальса.

14. Метастабільні стани в теорії Ван-дер-Ваальса.

15. Рівняння Клаузіуса-Клайперона. Співвідношення Еренфеста. Правило фаз Гіббса.

16. Агрегатні стани та поліморфізм (алотропія).

17. Термометрія.

18. Калориметрія, λ-точка теплоємності та структурування.

19. Розчини. Концентрації їх різновиди та особливості застосування.

20. Закони Рауля та Генрі, евтектика, азеотропи.

21. Ебуліоскопічна та кріостатична константи, визначення молекулярної маси.

12. Осмос. Очищення речовин осмосом.

23. Поверхневий натяг. Методи визначення поверхневого натягу, застосування.

24. Абсорбція. Адсорбція.

25. Кристалізація, критичний зародок, оцінка розміру.

26. Рідинні системи.

27. Рідкі кристали.

28. Дисперсні фази, нанофлюїди, розчини полімерів.

29. Біологічні розчини.

30. Ренгеноструктурний аналіз розчинів

31. Водні розчини спиртів, їх особливі точки.

32. Використання позитронної спектроскопії при дослідженні конденсованого стану

33. Розсіяння нейтронів та його значення при дослідженні фаз та фазових переходів.

34. Молекулярне розсіяння світла статичне та динамічне у дослідженні фазових рівноваг та фазових переходів.

35. Переохолодження, швидкість охолодження, аморфні метали.

36. Визначення другого віріального коефіцієнту з молекулярного розсіяння світла.

37. Ліпопротеїни різної густини як фаза водорозчинних речовин.

38. Роздільність оптичних систем некогерентних та когерентних.

39. Параметр порядку рідкокристалічних систем, сендвич-структури.

40. Пікнометричний та аерометричний методи волюметрії.

12. Розподіл балів, отримуваних студентами

У ході поточного контролю студент може отримати за кожну тему до 50 балів, які нараховуються таким чином:

№ з/п	Вид роботи	Форма контролю	Максимальне число балів
1	Відвідування занять	Конспект занять	10
2	Аудиторна активність студента	Спостереження за аудиторною роботою студента	10
3	Виконання самостійної роботи	Доповідь на практичних заняттях, письмові та усні відповіді	30
	Сума		50

Максимальна кількість балів, яку студент може отримати за контрольну роботу за змістовним модулем, складає 50 балів.

Підсумковий бал за кожний змістовний модуль обчислюється середньоарифметичний поточного контролю та контрольної роботи.

Підсумкова семестрова оцінка визначається за результатами поточного та періодичного контролів за такими алгоритмами:

Поточний та періодичний контроль		Підсумковий бал**
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 1	
50	50	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	За шкалою ECTS	За національною шкалою	
		Для екзамену	Для заліку
90 – 100	**A**	Відмінно	Зараховано
85 – 89	**B**	Добре	
75 – 84	**C**		
70 – 74	**D**	Задовільно	
60 – 69	**E**		
35 – 59	**FX**	Незадовільно	Не зараховано
0 – 34	**F**		

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення включає такі матеріали: робоча програма навчальної дисципліни https://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/fmfit/dystsypliny; силабус; конспекти і нотатки лекцій; завдання і методичні вказівки до практичних занять; завдання і контрольні питання для поточного, періодичного і підсумкового контролів.

14. Рекомендована література

Основна

1. Л.А. Булавін, В.М. Сисоєв. Фізика фазових переходів. Київ: ВПЦ Київський університет, 2010.
2. Л.А. Булавін, Д.А. Гаврюшенко, В.М. Сисоєв. Молекулярна фізика, Київ: «Знання», 2007.
3. I. Prigogine. Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures. Wiley & Sons, Incorporated, 2014.
4. J. Honig, J. Spałek. A Primer to the Theory of Critical Phenomena. Elsevier Science, 2017.
5. S. Stishov. Phase Transitions for Beginners. World scientific, 2018.
6. B,Fultz. Phase Transitions in Materials . Cambridge University Press, 2020.
7. M. Gitterman. Phase Transitions: Modern Applications. World Scientific, 2014.
8. І.Р. Юхновський. Фазові перетворення другого роду. Київ: Наукова думка, 1985.
9. R. Solé. Phase Transitions. Princeton university press, 2011.
10. P. Papon, J. Leblond, P.H.E. Meijer. The Physics of Phase Transitions. Concepts and Applications. Springer Berlin, Heidelberg, 2006.
11. Желєзний В. П. Експериментальна теплофізика. Методи дослідження теплофізичних властивостей речовин: підручник / В. П. Желєзний, В. З. Геллер, Ю. В. Семенюк ; Одес. нац. акад. харч. технологій. - Одеса : Фенікс, 2016. - 319, [**ISBN** 978-966-928-034-3]

Додаткова

1. Ю.І. Шиманський. Термодинамічна теорія критичних явищ рідина-пара. Київ, видавництво КУ, 1998.
2. Булавін Л. А. Нейтронна діагностика рідкого стану речовини: монографія / *Л. А*. Булавін ; НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. - Чорнобиль (Київ. обл.) 2012.
3. M. V. Volkenstein, Molecular Biophysics. Academic Press, 2012.
4. H. Stanley. Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena (International Series of Monographs on Physics). Oxford University Press, 2020 (repr).

15. Електронні інформаційні ресурси

1. http://phys.onu.edu.ua
2. http://en.wikipedia.org/