

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Перший проректор

\_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Теорія нелінійних явищ**  
(назва навчальної дисципліни)

спеціальність (напрямок) \_\_\_\_\_ 6.040203 - фізика \_\_\_\_\_

спеціалізація \_\_\_\_\_

факультет \_\_\_\_\_ фізичний \_\_\_\_\_

2016 / 2017 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)

“ 29 ” \_\_\_\_\_ серпня 2016 року, протокол № 9

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

**Ковальов Олександр Семенович, доктор фіз-мат. наук, професор**

Програму схвалено на засіданні кафедри

\_\_\_\_\_ теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця \_\_\_\_\_

Протокол від “ 2 ” \_\_\_\_\_ липня 2016 року протокол № 7

Завідувач кафедри теоретичної фізики академіка. М. Ліфшиця \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (Рашба Г.І.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

\_\_\_\_\_ фізичного факультету \_\_\_\_\_  
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 29 ” \_\_\_\_\_ серпня 2016 року № 6

Голова методичної комісії \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Макаровський М.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Теорія нелінійних явищ**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр

напряму підготовки 6.040203 – фізика  
спеціальності

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Нелінійна фізика» формування уявлень студентів про нелінійні явища, зокрема нелінійні коливання фізичних систем, солітони, вихори.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Нелінійна фізика»

навчити студентів

- основам асимптотичних методів теорії нелінійних коливань,
- знаходженню точних та наближених рішень нелінійних рівнянь,
- основам фізики солітонів,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач нелінійної фізики.

#### 1.3. Кількість кредитів 2

#### 1.4. Загальна кількість годин 72

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
4-й
Семестр
7-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
Не передбачені навчальним планом
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
40 год.
Індивідуальні завдання
Не передбачені навчальним планом

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**знати:** якісні, наближені та точні методи дослідження нелінійних систем.

**вміти:** досліджувати нелінійні хвилі в пружних і магнітовпорядкованих середовищах.

## 2. тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. ОСНОВНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НЕЛІНІЙНОЇ ФІЗИКИ ДЛЯ СИСТЕМ З ОДНИМ ТА ДВОМА СТУПЕНЯМИ СВОБОДИ

Тема 1. Вступ.

Тема 2. Якісне вивчення динамічних систем з 1-м ступенем свободи. Метод фазової площини. Особливі точки.

Тема 3. Асимптотичні методи теорії малих коливань. Метод прямого розкладання. Секулярні члени. Поліпшена теорія збурень

Тема 4. Наближені методи вирішення слабко-нелінійних рівнянь. Резонансне наближення. Метод Крилова – Боголюбова. Узагальнення метода Крилова – Боголюбова. Метод різних часових масштабів. Граничні цикли.

Тема 5. Точні рішення для нелінійних коливань. Еліптичні функції Якобі і точні рішення рівняння Дюфінга.

Тема 6. Рівняння динаміки симетричного вовчка та магнітного моменту.

Тема 7. Нелінійний прямий резонанс і нелінійний параметричний резонанс. Хаос в гомоклінічних структурах.

Тема 8. Системи с півторами ступенями свободи. Дивний атрактор Лоренца і динамічний хаос.

Тема 9. Системи з двома ступенями вільності. Два пов'язані нелінійні осцилятори і пов'язані нелінійні ротатори. Точки біфуркації і несиметричні розв'язки. Точки біфуркації.

Тема 10. Інтегровні та неінтегровні системи з двома ступенями свободи. Ланцюжок Тоди. Система Хенона – Хейлеса і динамічний хаос.

### Розділ 2. ОСНОВНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НЕЛІНІЙНОЇ ФІЗИКИ ДЛЯ СИСТЕМ З БАГАТЬМА СТУПЕНЯМИ СВОБОДИ

Тема 11. Система пов'язаних нелінійних осциляторів. Якісний розгляд.

Тема 12. Нелінійна ланцюжки з великим числом ступенів свободи. Якісний аналіз локалізованих станів. Перехід до довгохвильового наближення.

Тема 13. Виведення рівнянь Буссінеска, Кортевега – де Фріза, нелінійного хвильового рівняння і нелінійного рівняння Шредінгера з проблеми одновимірних нелінійних ланцюжків.  $\alpha$  - і  $\beta$  - моделі Фермі-Паста-Улама. Модель Абловіца – Ладіка.

Тема 14. Виведення нелінійного рівняння Шредінгера в задачах нелінійної оптики і в задачі про одновимірний Бозе - газ.

Тема 15. Виведення рівняння Кортевега – де Фріза для хвиль великої амплітуди на поверхні мілкої воли.

Тема 17. Виведення сінусоїдального рівняння Гордона в теорії дислокацій та краудіонів.

Тема 18. Лінійні хвилі в системах з розподіленими параметрами. Закони дисперсії лінійних хвиль. Вплив дисперсії на розповсюдження хвиль і їх еволюцію. Розпливання хвильових пакетів. Вплив нелінійності на динаміку хвиль.

Тема 19. Нелінійні закони дисперсії. Модуляційна стійкість нелінійних хвиль. Розвиток модуляційної нестійкості нелінійних хвиль в диспергувальному середовищі.

Тема 20. Однопараметричні солітони стаціонарного профілю. Солітони рівнянь Буссінеска та Кортевега – де Фріза. Аналіз солітонів на фазовій площині.

Тема 21. Топологічні солітони сінусоїдального рівняння Гордона, рівняння  $\phi$ -4 та рівняння Ландау – Ліфшиця. Дислокації, краудіони та доменні границі.

Тема 22. Двопараметричні солітони згинаючої. Солітони нелінійного рівняння Шредінгера і модифікованого рівняння Кортевега – де – Фріза.

Тема 23. Двопараметричні солітони сінусоїдального рівняння Гордона та розсіяння солітонів на прикладі цього рівняння.

Тема 24. Малоамплітудні солітони згинаючої та асимптотичні методи їх дослідження. Метод Тамма – Данкова та різниця солітонів в інтегрованих і неінтегрованих системах.

Тема 25. Стійкість динамічних солітонів згинаючої.

Тема 26. Солітони згинаючої як зв'язані стани багатого числа елементарних збуджень. Квазикласичне квантування солітонів згинаючої та одно параметричних солітонів. Солітони як квазічастки і гамільтонова динаміка солітонів.

Тема 27. Адіабатична теорія збурень для солітонів. Вплив загасання та зовнішніх полів на динаміку солітонів.

Тема 28. «Солітонна екзотика»: темні солітони, солітони в системах з насичувальною нелінійністю, компактони і пікони, дискретні солітони («брізери»), алгебраїчні солітони.

Тема 29. Точні багатосолітонні розв'язки сінусоїдального рівняння Гордона. Узагальнений принцип суперпозиції. Метод Хіроти на прикладі рівняння Кортевега – де Фріза. Багатосолітонні розв'язки нелінійного рівняння Шредінгера.

Тема 30. Перетворення беклунда, метод одягання Дарбу. Точне рішення нелінійних рівнянь в приватних похідних методом оберненої задачі теорії розсіювання.

Тема 31. Багатовимірні солітони згинаючої, нелінійне каналювання хвиль, нелінійні поверхневі хвилі і релеївські солітони. Нелінійні інтегро-діференційні рівняння і їхні солітонні розв'язки.

Тема 32. Рівняння Гросса- Пітаєвського і вихорі в надплинному гелії. Магнітні вихорі в легкоплощинному ферромагнетичному. Магнітні скірміони та тривимірні топологічні солітони. Метод колективних змінних і багатовихорова динаміка.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р	
1	2	3	4	5	6	7
<b>7 семестр</b>						
<b>Розділ 1. ОСНОВНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НЕЛІНІЙНОЇ ФІЗИКИ ДЛЯ СИСТЕМ З ОДНИМ ТА ДВОМА СТУПЕНЯМИ СВОБОДИ</b>						
Тема 1	2	1				1
Тема 2	2	1				1
Тема 3	2	1				1
Тема 4	3	1				2
Тема 5	3	1				2
Тема 6	3	1				2
Тема 7	3	1				2
Тема 8	2	1				1
Тема 9	2	1				1
Тема 10	2	1				1
Разом за розділом	24	10				14
<b>Розділ 2. ОСНОВНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НЕЛІНІЙНОЇ ФІЗИКИ ДЛЯ СИСТЕМ З БАГАТЬМА СТУПЕНЯМИ СВОБОДИ</b>						
Тема 11	2	1				1
Тема 12	2	1				1

Тема 13	2	1			1
Тема 14	2	1			1
Тема 15	2	1			1
Тема 16	3	1			2
Тема 17	3	1			2
Тема 18	3	1			2
Тема 19	3	1			2
Тема 20	2	1			1
Тема 21	2	1			1
Тема 22	2	1			1
Тема 23	2	1			1
Тема 24	2	1			1
Тема 25	2	1			1
Тема 26	2	1			1
Тема 27	2	1			1
Тема 28	2	1			1
Тема 29	2	1			1
Тема 30	2	1			1
Тема 31	2	1			1
Тема 32	2	1			1
Разом за розділом	48	22			26
<b>Усього годин</b>	<b>72</b>	<b>32</b>			<b>40</b>

#### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Практичні заняття учбовим планом не передбачені.

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	2	3
1.	Вступ.	1
2.	Якісне вивчення динамічних систем з 1-м ступенем свободи. Метод фазової площини. Особливі точки.	1
3.	Асимптотичні методи теорії малих коливань. Метод прямого розкладання. Секулярні члени. Поліпшена теорія збурень	1
4.	Наближені методи вирішення слабо-нелінійних рівнянь. Резонансне наближення. Метод Крилова – Боголюбова. Узагальнення метода Крилова – Боголюбова. Метод різних часових масштабів. Граничні цикли.	2
5.	Точні рішення для нелінійних коливань. Еліптичні функції Якобі і точні рішення рівняння Дюффінга.	2
6.	Рівняння динаміки симетричного вовчка та магнітного моменту.	2
7.	Нелінійний прямий резонанс і нелінійний параметричний резонанс. Хаос в гомоклінічних структурах.	2
8.	Системи с півторами ступенями свободи. Дивний атрактор Лоренца і динамічний хаос.	1
9.	Системи з двома ступенями вільності. Два пов'язані нелінійні осцилятори і пов'язані нелінійні ротатори. Точки біфуркації і несиметричні розв'язки. Точки біфуркації.	1
10.	Інтегровні та неінтегровні системи з двома ступенями свободи. Ланцюжок Тоди. Система Хенона – Хейлеса і динамічний хаос.	1

1	2	3
11.	Система пов'язаних нелінійних осциляторів. Якісний розгляд.	1
12.	Нелінійна ланцюжки з великим числом ступенів вільності. Якісний аналіз локалізованих станів. Перехід до довгохвильового наближення.	1
13.	Виведення рівнянь Буссінеска, Кортвега – де Фріза, нелінійного хвильового рівняння і нелінійного рівняння Шредінгера з проблеми одновимірних нелінійних ланцюжків. $\alpha$ - і $\beta$ - моделі Фермі-Паста-Улама. Модель Абловіца – Ладіка.	1
14.	Виведення нелінійного рівняння Шредінгера в задачах нелінійної оптики і в задачі про одновимірний Бозе - газ.	1
15.	Виведення рівняння Кортвега – де Фріза для хвиль великої амплітуди на поверхні мілкої воли.	1
16.	Виведення сінусоїдального рівняння Гордона в теорії дислокацій та краудіонів.	2
17.	Лінійні хвилі в системах з розподіленими параметрами. Закони дисперсії лінійних хвиль. Вплив дисперсії на розповсюдження хвиль і їх еволюцію.	2
18.	Розпливання хвильових пакетів. Вплив нелінійності на динаміку хвиль.	2
19.	Нелінійні закони дисперсії. Модуляційна стійкість нелінійних хвиль. Розвиток модуляційної нестійкості нелінійних хвиль в диспергувальному середовищі.	2
20.	Однопараметричні солітони стаціонарного профілю. Солітони рівнянь Буссінеска та Кортвега – де Фріза. Аналіз солітонів на фазовій площині.	1
21.	Топологічні солітони сінусоїдального рівняння Гордона, рівняння $\phi$ -4 та рівняння Ландау – Ліфшиця. Дислокації, краудіони та доменні границі.	1
22.	Двопараметричні солітони згинаючої. Солітони нелінійного рівняння Шредінгера і модифікованого рівняння Кортвега – де – Фріза.	1
23.	Двопараметричні солітони сінусоїдального рівняння Гордона та розсіяння солітонів на прикладі цього рівняння.	1
24.	Малоамплітудні солітони згинаючої та асимптотичні методи їх дослідження. Метод Тамма – Данкова та різниця солітонів в інтегрованих і неінтегрованих системах.	1
25.	Стійкість динамічних солітонів згинаючої.	1
26.	Солітони згинаючої як зв'язані стани багатого числа елементарних збуджень. Квазикласичне квантування солітонів згинаючої та одно параметричних солітонів. Солітони як квазічастки і гамільтонова динаміка солітонів.	1
27.	Адіабатична теорія збурень для солітонів. Вплив загасання та зовнішніх полів на динаміку солітонів.	1
28.	«Солітонна екзотика»: темні солітони, солітони в системах з насичувальною нелінійністю, компактони і пікони, дискретні солітони («брізери»), алгебраїчні солітони.	1
29.	Точні багатосолітонні розв'язки сінусоїдального рівняння Гордона. Узагальнений принцип суперпозиції. Метод Хіроти на прикладі рівняння Кортвега – де Фріза. Багатосолітонні розв'язки нелінійного рівняння Шредінгера.	1

1	2	3
30.	Перетворення беклунда, метод одягання Дарбу. Точне рішення нелінійних рівнянь в приватних похідних методом оберненої задачі теорії розсіювання.	1
31	Багатовимірні солітони згинаючої, нелінійне каналювання хвиль, нелінійні поверхневі хвилі і релеївські солітони. Нелінійні інтегро-диференційні рівняння і їхні солітонні розв'язки.	1
32.	Рівняння Гросса- Пітаєвського і вихорі в надплинному гелії. Магнітні вихорі в легкоплощинному феромагнетику. Магнітні скірміони та тривимірні топологічні солітони. Метод колективних змінних і багатовихорова динаміка.	1
	<b>Разом</b>	<b>40</b>

### 6. Індивідуальні завдання

Індивідуальне розрахункове завдання в 7-му семестрі.

### 7. Методи контролю

Опитування, контрольна робота, залік.

### 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	
T1-T10	T11-T32		-	100
30	30	40	-	

Для зарахування розділу треба набрати не менше 15 балів при опитуванні, написати контрольну роботу не менше ніж на 20 балів. Для отримання заліку треба набрати в підсумку не менше 50 балів.

### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

### 9. Рекомендована література

#### Основна література

1. Косевич А.М., Ковалев А.С. Введение в нелинейную физическую механику. - К.: Наукова думка, 1989. - 320 с.
2. Найфэ А. Введение в методы возмущений. – М.Мир, 1984. – 535 с.



3. Бхатнагар П. Нелинейные волны в одномерных дисперсных системах. – М. Мир, 1983. – 135с.
4. Карпман В.И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. – М. Наука, 1973. – 175 с.
5. Лэм Дж.Л. Введение в теорию солитонов. – М.Мир, 1983. – 294 с.
6. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М. Наука, 1984. – 432 с.
7. Инфельд Э., Роуланс Дж. Нелинейные волны, солитоны, хаос. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 480 стр.

#### **Допоміжна література**

1. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. - М. Наука, 1974.- 426 с.
2. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж., Моррис Х. Солтоны и нелинейные волновые уравнения. – М. Мир, 1988. – 697 с.
3. Борисов А.Б. Начала нелинейной динамики. – Екатеринбург. ИФМ УрО РАН., 2010. – 408 с.
4. Косевич А.М., Иванов Б.А., Ковалев А.С. Нелинейные волны намагниченности. Динамические и топологические солитоны. - К.: Наукова думка, 1983. - 190 с.

#### **10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення**

##### **Сайт кафедри теоретичної фізики:**

1. Учбові матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики  
[http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students\\_study\\_ukr.html](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html)  
[http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students\\_ref\\_ukr.html](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html)
2. Відеолекції та відкриті освітні матеріали МФТІ  
<http://lectoriy.mipt.ru/course/viewall/>