

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МАГНЕТИЗМУ ІМЕНІ В.Г. БАР'ЯХТАРА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(ІМАГ НАН УКРАЇНИ)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
ІМаг НАН України
член-кор. НАН України

_____Олександр ТОВСТОЛИТКІН
«24» липня 2025р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Силабус)

В 7 Елементарні збудження у неупорядкованих системах

(шифр та назва дисципліни)

для аспірантів

спеціальності 104 (Е5) Фізика та астрономія

третього освітнього (освітньо-
наукового) рівня вищої освіти – доктора
філософії

Київ – 2025

Розробник: д. ф.-м. н., професор _____ Віктор ЛОСЬ
(підпис)

Робочу програму узгоджено науково-методичною радою

Протокол від 23.07.2025р. № 1

Голова науково-методичної ради _____ Ольга САЛЮК
(підпис)

Робочу програму затверджено Вченою радою ІМаг НАН України

Протокол від 24 липня 2025 № 8-25

Голова Вченої ради _____ Олександр ТОВСТОЛИТКІН
(підпис)

Робочу програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником освітньої програми): Фізика 25 липня 2025 р.
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої програми _____ Ігор ГЕРАСИМЧУК
(підпис)

Пролонговано Вченою радою ІМаг НАН України:

навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради ІМаг НАН України	підпис	№ протоколу, дата протоколу
20____/ 20____			
20____/ 20____			
20____/ 20____			
20____/ 20____			

ЕЛЕМЕНТАРНІ ЗБУДЖЕННЯ У НЕВПОРЯДКОВАНИХ СИСТЕМАХ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 (Е5) Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити: 90 годин (денна: 34 годин – лекції, 26 годин – практичні заняття, 26 години – СРС)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік/МКР
Розклад занять	http://imag.kyiv.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф.м.н., професор Лось В.Ф., victorflos43@gmail.com ,
Розміщення курсу	http://imag.kyiv.ua

Програма навчальної дисципліни

Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Опис дисципліни. Програму навчальної дисципліни «Елементарні збудження у невідпорядкованих системах» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Фізика» підготовки доктора філософії спеціальності 104(Е5) «Фізика та астрономія». Вивчення цілісного курсу фізики сприяє формуванню в аспірантів наукового світогляду і сучасного природничого мислення, а викладання вибраних розділів теоретичної фізики в інституті магнетизму враховує фахову орієнтацію майбутнього науковця. В результаті вивчення дисципліни «Елементарні збудження у невідпорядкованих системах» аспірант повинен знати основні поняття фізики невідпорядкованих систем, актуальні напрямки її сучасного розвитку; вміти орієнтуватися в сучасних тенденціях розвитку фізики, перспективах практичного застосування сучасних розробок, встановлення взаємозв'язків між різними галузями. Дисципліна дає загальні уявлення про сучасні підходи і методи вивчення елементарних збуджень у невідпорядкованих системах. Передбачено контроль якості отриманих знань у опитування на лекціях, розв'язання задач на практичних заняттях та модульної контрольної роботи.

Мета навчальної дисципліни. Вивчення і засвоєння основних підходів до опису систем багатьох частинок, (зокрема, поняття про елементарні збудження та квазічастинки, сучасні квантово-механічні методи, тощо) аналіз різних типів неупорядкованих систем і їх особливостей.

Предмет навчальної дисципліни:.

Електрони в полі кристалічної ґратки. Електрони у випадковому потенціалі неупорядкованої системи. Елементарні збудження та квазічастинки. Квантування. Фоони. Коливання кристалічної ґратки. Спектральний (динамічний) безпорядок.

Компетентності:

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність)

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

Результати навчання:

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та/або астрономії та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку фізики та/або астрономії, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.

РН04. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.

РН05. Розробляти моделі процесів і систем у фізиці та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково-дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.

РН12. Оцінювати ефективність чисельних методів та розробляти оптимальні алгоритми при комп'ютерному моделюванні фізичних процесів.

Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити. Для успішного засвоєння курсу «Елементарні збудження у неупорядкованих системах» студент має опанувати наступні дисципліни першого (бакалаврського) рівня: «Математичний аналіз», всі розділи дисципліни «Загальна фізика».

Постреквізити. Навчальна дисципліна «Взаємодія випромінювання з речовиною» є однією з основ формування наукової складової структурно-логічної схеми освітньої програми.

Компетентності, знання, уміння та досвід, отримані в процесі вивчення дисципліни «Елементарні збудження у неупорядкованих системах», є необхідними для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації, використовуються при підготовці аспірантами наукових доповідей та наукових статей, а також при написанні та захисті дисертації.

Зміст навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин			
	Всього	У тому числі		
		Лекції	Практичні	СР
Тема 1. Ідеальний просторовий порядок.	2	2		
Тема 2. Елементарні збудження та квазічастинки	10	6	2	2
Тема 3. Невпорядковані системи	6	2	2	2
Тема 4. Коміркова неупорядкованість (безпорядок заміщення)	6	4		2
Тема 5. Топологічна неупорядкованість	4	2		2
Тема 6. Дифракційні методи дослідження безпорядку	8	6		2
Тема 7. Електрони в полі кристалічної ґратки	6	2	2	2
Тема 8. Вузькі зони та електрон-електронна взаємодія.	8	4	2	2
Тема 9. Електрони у випадковому потенціалі	4	2		2
Тема 10. Квазікласичний опис кінетики електронів у неупорядкованій системі.	6	2	2	2
Тема 11. Динаміка кристалів з дефектами	6	2	2	2
Тема 12. Елементарні збудження в магнетиках з домішками	8	2	2	4
Тема 13. Електронні збудження у неупорядкованих системах	8	2	2	4
Тема 14. Ефект гігантського магнітоопору у багат шарових магнітних плівках та сендвичах.	4	2		2
Разом	86	40	16	30
МКР	2			2
Залік	2			2
Всього годин	90	40	16	34

Навчальні матеріали та ресурси

Базова література.

1. О.В. Третьак, В.А. Львов, О.В. Барабашов. Фізичні основи спінової електроніки. КНУ, 2002.
2. О.І. Товстолиткін, М.О. Боровий, В.В. Курилюк, Ю.А. Куницький. Фізичні основи спітроніки. Навчальний посібник. – Вінниця, Нілан-ЛТД, 2014. – 500 с.
3. Поплавко, Ю. М. Фізика твердого тіла. Т. 1. Структура, квазічастинки, метали, магнетика [Електронний ресурс] : [в 2 т.] : підручник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» / Ю. М. Поплавко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані – Київ : Політехніка, 2017. – 416 с. (https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/22938/1/PoplavkoYu.M._Fizyka-tverdoho-tila_T.1.pdf)
4. Поплавко, Ю. М. Фізика твердого тіла. Т. 2. Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи [Електронний ресурс] : [в 2 т.] : підручник для студентів, які навчаються за

спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» / Ю. М. Поплавко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані – Київ : Політехніка, 2017. – 379 с.

5. Victor F Los, Subdynamics of fluctuations in a many-particle quantum system, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, Volume 2022, January 2022013211, DOI 10.1088/1742-5468/ac47ff

Допоміжна література.

6. A. Alam and A. Mookerjee. Inelastic neutron scattering in random binary alloys. Phys. Rev. B71, 094210, 2005.

7. A. Alam and A. Mookerjee. Vibrational properties of phonons in random binary alloys. Phys.Rev. B69, 024205, 2004.

8. Дж. Займан. Модели беспорядка. М. : Мир, 1982.

9. И.М.Лифшиц, С.А.Гредескул, Л.А.Пастур. Введение в теорию неупорядоченных систем. М. : Наука, 1982.

10. A. Alam and A. Mookerjee. Inelastic neutron scattering in random binary alloys. Phys. Rev. B71, 094210, 2005.

11. A. Alam and A. Mookerjee. Vibrational properties of phonons in random binary alloys. Phys.Rev. B69, 024205, 2004.

12. В.Ф. Лось, С.П. Репецкий. Методы теории неупорядоченных систем.Электронные свойства сплавов. Киев. : Наукова думка, 1995.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття.

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СР)
1	Лекція 1. Ідеальний просторовий порядок. Трансляційна інваріантність. Теорема Блоха.
2	Лекція 2. Елементарні збудження та квазічастинки. Простий гармонічний осцилятор. Лінійний ланцюжок зв'язаних осциляторів. Канонічні перетворення. Нормальні координати.
3	Лекція 3. Елементарні збудження та квазічастинки. Квантування. Фонони. Коливання кристалічної ґратки. Спектральний (динамічний) безпорядок.
4	Лекція 4. Елементарні збудження та квазічастинки. Опис збуджених станів системи багатьох частинок в термінах елементарних збуджень і квазічастинок. Типи елементарних збуджень і квазічастинок: квазіелектрон, фонон, магнон, плазмон, боголон.
5	Лекція 5. Невпорядковані системи. Типи неупорядкованих систем. Загальні закономірності опису неупорядкованих систем. Загальні особливості неупорядкованих систем. Величини, що самоусереднюються. Розмірність та порядок..
6	Лекція 6. Коміркова неупорядкованість (безпорядок заміщення). Сплави. Магнітна неупорядкованість. Близький порядок. Параметри близького порядку. Кореляційні функції.
7	Лекція 7. Коміркова неупорядкованість (безпорядок заміщення). Модельні гамільтоніани. Модель Ізінга. Модель Гейзенберга. Далекий порядок. Параметри дальнього порядку.
8	Лекція 8. Топологічна неупорядкованість. Дислокаційний безпорядок. Атомні функції розподілу. Некристалічні, аморфні та склоподібні речовини.
9	Лекція 9. Дифракційні методи дослідження безпорядку. Розсіювання рентгенівських променів та нейтронів. Пружне розсіювання. Структурний фактор. Умова Вульфа-Брегга для ідеального кристалу. Структурний фактор і бінарна функція розподілу для аморфної речовини.
10	Лекція 10. Дифракційні методи дослідження безпорядку. Вивчення непружних процесів (динаміки) та елементарних збуджень за допомогою розсіювання нейтронів. Загальний вираз для перерізу розсіювання часток. Кореляційні функції. Когерентне та некогерентне розсіювання.
11	Лекція 11. Дифракційні методи дослідження безпорядку. Непружне однофононне розсіювання нейтронів. Фактор Дебая-Валера. Визначення закону дисперсії фононів за допомогою розсіювання нейтронів. Некогерентне розсіювання та визначення густини станів або функції розподілу частот. Магнітне розсіювання нейтронів та визначення магнітної структури і елементарних збуджень магнетиків. [1-3,5,6].
12	Лекція 12. Електрони в полі кристалічної ґратки. Методи розрахунку зонної енергії. Метод сильного зв'язку. Переходи метал-ізолятор в одноелектронній зонній теорії. Парадокс одноелектронної зонної теорії.

13	Лекція 13. Вузькі зони та електрон-електронна взаємодія. Перехід метал-ізолятор Мотта. Модель Хаббарда. Фізичні стани моделі Хаббарда. Ефективний спіновий гамільтоніан. Модель Гейзенберга для магнетиків.
14	Лекція 14. Вузькі зони та електрон-електронна взаємодія. Одночастинкові фермі-збудження. Елементарні збудження та квазічастки. Перехід Мотта в моделі Хаббарда. Магнітні властивості моделі Хаббарда. Недоліки моделі Хаббарда. Кулонівська взаємодія. Критерій Мотта для переходу метал-ізолятор.
15	Лекція 15. Електрони у випадковому потенціалі неупорядкованої системи. Моделі Андерсона та Ліфшиця. Головні особливості неупорядкованих систем. Проблема усереднення по випадковим змінним. Самоусереднення.
16	Лекція 16. Квазікласичний опис кінетики електронів у неупорядкованій системі. Інтерференційні (квантові) поправки до електропровідності. Слабка локалізація електронів. Вплив розмірності системи. Інтерференційні ефекти у магнітному полі. Осциляції магнітоопору та ефект Ааронова-Бома.
17	Лекція 17. Динаміка кристалів з дефектами. Теорема Релея. Система рівнянь для визначення власних частот коливань і зміщень атомів ідеальної кристалічної ґратки. Квантування коливань. Фонони. Система рівнянь для визначення нормальних координат та власних частот коливань кристалів з домішковими атомами. Квантування збуджень. Динаміка кристалу з ізотопічним дефектом. Локальні та квазілокальні збудження.
18	Лекція 18. Елементарні збудження в магнетиках з домішками. Нормальні координати для збуджень ідеального феромагнетика. Спінові хвилі. Квантування збуджень в ідеальному феромагнетикі. Магнони. Перехід до нормальних координат (діагоналізація гамільтоніана) для феромагнетика з домішковими спінами. Спектр елементарних збуджень феромагнетика з домішками. Густина станів елементарних збуджень. Локальні і квазілокальні спінові збудження.
19	Лекція 19. Електронні збудження у неупорядкованих системах. Леговані напівпровідники. Домішкові центри. Андерсонівська локалізація. Відсутність дифузії у неупорядкованій системі. Перехід метал-діелектрик Андерсона. Поріг рухомості та мінімальна металічна провідність. Залежність кондактансу від розмірності системи.
20	Лекція 20. Ефект гігантського магнітоопору у багатошарових магнітних плівках та сендвичах. Природа гігантського магнітоопору. Спінзалежне розсіяння електронів. Резисторна модель. Умови спостереження гігантського магнітоопору. Тунельний магнітоопір. Застосування ефектів гігантського та тунельного магнітоопору. Нанотехнології.

Самостійна робота аспіранта

З метою чіткої організації самостійної роботи студентів і задля підвищення якості засвоєння навчального матеріалу та вироблення ґрунтовних навичок наукової діяльності пропонуються індивідуальні завдання у формі самостійної підготовки конспектів та рефератів із вибраних тем. Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	10
2	Підготовка до МКР	10
3	Підготовка до заліку	14

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять (згідно розкладу і згідно загально-інститутського розпорядку);
- правила поведінки на заняттях (активність на практичних заняттях є обов'язковою, відключення телефонів є обов'язковим);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів (штрафні бали не призначаються, заохочувальні бали призначаються згідно підрозділу 8 цього силабусу);
- політика дедлайнів та перескладань (згідно загально-інститутського розпорядку);
- політика щодо академічної доброчесності (згідно загально-інститутського розпорядку);

Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестрова атестація проводиться у вигляді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і інститутська шкала.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) за роботу на аудиторних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) за відповідь на заліку.

Система рейтингових балів

1) Аудиторні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 4. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на аудиторних заняттях становить $12 \times 4 = 48$ бали. Нарахування балів на одному аудиторному занятті:

- відмінні відповіді 4 балів;
- дуже добрі, добрі відповіді 3,2 балів;
- задовільні, достатні відповіді 1 бал.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 12. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $1 \times 12 = 12$ балів. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 11-12 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 8-10 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 6-7 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

3) Залік. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюється у 20 балів. Всього $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за відповідь на заліку:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Якщо аспірант протягом семестру набрав понад 60 балів, він може отримати залік автоматом.

Для виставлення фінальних оцінок рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за інститутською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
90-100	Відмінно
75-89	Добре
60-74	Задовільно
Менше 60	Незадовільно
Не виконано інші умови допуску до заліку	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):

Складено д.ф.-м.н., професором Лосем Віктором Федоровичем

Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. трансляційна інваріантність. Теорема Блоха.
2. Простий гармонічний осцилятор. Лінійний ланцюжок зв'язаних осциляторів.
3. Канонічні перетворення. Нормальні координати.
4. Квантування. Фонони. Коливання кристалічної ґратки.
5. Опис збуджених станів системи багатьох частинок в термінах елементарних збуджень і квазічастинок. Типи елементарних збуджень і квазічастинок: квазіелектрон, фонон, магнон, плазмон, боголон.
6. Типи неупорядкованих систем. Загальні закономірності опису неупорядкованих систем.
7. Загальні особливості неупорядкованих систем. Величини, що самоусереднюються. Розмірність та порядок.
8. Магнітна неупорядкованість. Близький порядок. Параметри близького порядку.
9. Кореляційні функції. Модельні гамільтоніани.
10. Модель Ізінга. Модель Гейзенберга. Далекий порядок. Параметри далекого порядку.
11. Топологічна неупорядкованість. Дислокаційний безпорядок. Атомні функції розподілу. Некристалічні, аморфні та склоподібні речовини.
12. Розсіювання рентгенівських променів та нейтронів. Пружне розсіювання. Структурний фактор. Умова Вульфа-Брегга для ідеального кристалу.
13. Структурний фактор і бінарна функція розподілу для аморфної речовини.
14. Вивчення непружних процесів (динаміки) та елементарних збуджень за допомогою розсіювання нейтронів.
15. Загальний вираз для перерізу розсіювання частинок. Кореляційні функції. Когерентне та некогерентне розсіювання.
16. Непружне однофононне розсіювання нейтронів. Фактор Дебая-Валера.
17. Визначення закону дисперсії фононів за допомогою розсіювання нейтронів. Некогерентне розсіювання та визначення густини станів або функції розподілу частот.
18. Магнітне розсіювання нейтронів та визначення магнітної структури і елементарних збуджень магнетиків.
19. Динаміка кристалів з дефектами. Теорема Релея. Система рівнянь для визначення власних частот коливань і зміщень атомів ідеальної кристалічної ґратки.
20. Система рівнянь для визначення нормальних координат та власних частот коливань кристалів з домішковими атомами. Квантування збуджень. Динаміка кристалу з ізотопічним дефектом. Локальні та квазілокальні збудження.
21. Нормальні координати для збуджень ідеального феромагнетика. Спінові хвилі.
22. Квантування збуджень в ідеальному феромагнетичу. Магнони.
23. Перехід до нормальних координат (діагоналізація гамільтоніана) для феромагнетика з домішковими спінами.
24. Спектр елементарних збуджень феромагнетика з домішками. Густина станів елементарних збуджень. Локальні і квазілокальні спінові збудження.
25. Леговані напівпровідники. Домішкові центри. Андерсонівська локалізація.
26. Відсутність дифузії у неупорядкованій системі. Перехід метал-діелектрик Андерсона.
27. Поріг рухомості та мінімальна металічна провідність. Залежність кондактансу від розмірності системи.
28. Електрони в полі кристалічної ґратки. Методи розрахунку зонної енергії. Метод сильного зв'язку. Переходи метал-ізолятор в одноелектронній зонній теорії. Парадокс одноелектронної зонної теорії.
29. Вузькі зони та електрон-електронна взаємодія. Перехід метал-ізолятор Мотта. Модель Хаббарда. Фізичні стани моделі Хаббарда. Ефективний спіновий гамільтоніан. Модель Гейзенберга для магнетиків. Одночастинкові фермі-збудження. Елементарні збудження та квазічастинки. Перехід Мотта в моделі Хаббарда. Магнітні властивості моделі Хаббарда. Недоліки моделі Хаббарда. Кулонівська взаємодія. Критерій Мотта для переходу метал-ізолятор.

30. Електрони у випадковому потенціалі неупорядкованої системи. Моделі Андерсона та Ліфшиця. Головні особливості неупорядкованих систем. Проблема усереднення по випадковим змінним. Самоусереднення.
31. Квазікласичний опис кінетики електронів у неупорядкованій системі. Інтерференційні (квантові) поправки до електропровідності. Слабка локалізація електронів. Вплив розмірності системи. Інтерференційні ефекти у магнітному полі. Осциляції магнітоопору та ефект Ааронова-Бома.
32. Андерсонівська локалізація. Відсутність дифузії у неупорядкованій системі. Перехід метал-діелектрик. Поріг рухомості та мінімальна металева провідність. Скейлінгова теорія локалізації. Залежність кондактансу від розмірності системи.
33. Ефект гігантського магнітоопору у багатошарових магнітних плівках та сендвичах. Природа гігантського магнітоопору. Спінзалежне розсіювання електронів. Резисторна модель. Умови спостереження гігантського магнітоопору. Тунельний магнітоопір. Застосування ефектів гігантського та тунельного магнітоопорів.