

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Директор Інституту теоретичної
фізики ім. М.М. Боголюбова
Національної академії наук України

А. Г. Загородній

02 2020 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

БК 2. Електронні системи у магнітному полі для аспірантів

Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 Фізика та астрономія
Освітній рівень	доктор філософії
Освітньо-наукова програма	Теоретична фізика
Вид дисципліни	вибіркова
Форма навчання	денна
Навчальний рік	2020/2021
Семестр	2
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	екзамен

Викладач: Шарапов Сергій Геннадійович

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

Розробник: Шарапов Сергій Геннадійович, доктор фіз.-мат. наук, старший дослідник



ЗАТВЕРДЖЕНО

Директором Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України

(Signature)
(підпис)

(Загороднім А.Г.)
(прізвище та ініціали)

Протокол засідання Вченої ради № 1 від
« 5 » 02 2020 р.

Схвалено Науково - методичною комісією Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України.

Протокол від « 5 » 02 2020 року № 1

Голова науково-методичної комісії
Лев)

(Signature)
(підпис)

(чл.-кор. НАН України Б.І.

(прізвище та ініціали)

« 5 » 02 2020 року

1. Навчальна дисципліна «Електронні системи у магнітному полі» є складовою освітньо-професійної програми підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем «доктор філософії**» галузі знань «природничі науки», спеціальності фізика та астрономія (104) Дана дисципліна є нормативною за спеціальністю «фізика та астрономія».**

Викладається у 1 семестрі в обсязі 120 год. (4 кредити ECTS), зокрема: лекції - 48 год., лабораторні роботи - 0 год., самостійна робота - 67 год. У курсі передбачено 3 змістових модулів і 3 модульні контрольні роботи. Завершується дисципліна **екзаменом**.

Мета дисципліни: надати базові знання щодо теоретичного опису двовимірних систем у магнітному полі, набуття навичок самостійного використання і вивчення літератури з фізики конденсованого стану.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати основні закони та поняття з квантової теорії поля, статистичної фізики, теорії твердого тіла, зокрема фізики графену.
2. Вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів математичного аналізу, диференціальних рівнянь, математичної фізики, квантової механіки, квантової теорії поля та статистичної фізики для розв'язку практичних задач.
3. Володіти елементарними навичками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, обрахунку фейнманівських діаграм.

3. Анотація навчальної дисципліни: У курсі розглядаються основи квантових магнітних осциляцій (ефекти де Гааза - ван Альфена та Шубнікова - де Гааза), теоретико-польового методу опису безладу, основним поняттям про цілочисельний квантовий ефект Холла у тому числі і у графені. Для засвоєння матеріалу студентам будуть запропоновані різні практичні завдання та підготовки доповідей.

4. Завдання (навчальні цілі):

оволодіння сучасними методами теорії конденсованого стану, такими як теоретико-польовий метод опис безладу, основні поняттям про цілочисельний квантовий ефект Холла у тому числі і у графені, сприяння розвитку загально фізичного мислення майбутніх фізиків-дослідників, формування здатності застосовувати теоретичні знання з фізики конденсованого стану для розв'язку практичних завдань та при наукових дослідженнях

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)
Код	Результат навчання		
1.1	<i>Знати: Основні поняття про рівні Ландау в нескінчених та обмежених системах.</i>	<i>Лекції</i>	<i>Усні відповіді, домашня робота</i>
1.2	<i>Знати: Основні фізичні представлення про цілочисельний квантовий ефект Холла.</i>	<i>Лекції</i>	<i>Усні відповіді, домашня робота</i>
2.1	<i>Вміти: Розв'язувати задачі для поглибленого розуміння квантомеханічного опису руху в магнітному полі.</i>	<i>Практичні заняття</i>	<i>Контрольна робота</i>
2.3	<i>Вміти: Опрацьовувати літературу та робити доповіді.</i>	<i>Практичні заняття</i>	<i>Реферат та доповідь по ньому.</i>

6. Схема формування оцінки.

6.1 Форми оцінювання студентів:

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою.

У змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1, 2, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) - теми 3, 4, у змістовий модуль 3 (ЗМ3) – теми 5 і 6. Обов'язковим для допуску до екзамену є отримання мінімальної кількості балів з кожного колоквиуму та з контрольної роботи ($0,6 \cdot R$, де R – відповідна шкала вимірювання).

Оцінювання за формами контролю:

	ЗМ1		ЗМ2		ЗМ3	
	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Підготовлена усна доповідь за темою лекції	-	-	-	-	-	-
Розв'язування задач біля дошки	0	10	0	10	0	10
Контрольна робота	9	15	—	—	—	—
Колоквиум 1	—	—	9	15	—	—
Колоквиум 2	—	—	—	—	9	15

Аспіранти, які набрали сумарно меншу кількість балів, ніж *критично-розрахунковий мінімум у 9 балів за кожен модульну контрольну роботу*, для одержання екзамену обов'язково необхідно перескласти відповідну модульну контрольну з належним рівнем знань.

При простому розрахунку отримаємо:

	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3	Екзамен	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	9	9	9	39	60
Максимум	25	25	25	25	100

6.2 Організація оцінювання:

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 3 змістових модулів. Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: оцінювання виконання домашніх робіт, усних відповідей та контрольних робіт, виконаних студентами під час практичних занять.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90–100
Добре / Good	75–89
Задовільно / Satisfactory	60–74
Незадовільно / Fail	0–59
Зараховано / Passed	60–100
Не зараховано / Fail	0–59

7. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних та практичних занять

Загальний обсяг **120 год.**, в тому числі:

Лекцій — **48 год.**

Консультації — **4 год.**

Екзамен — **1 год.**

Самостійної роботи (позааудиторної) — **67 год.**

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	семінари	С/Р	Інші форми контр.
<i>Змістовий модуль 1 Рівні Ландау. Ефекти де Гааза - ван Альфена та Шубнікова - де Гааза.</i>					
1	Тема 1. Рівні Ландау та крайові стани	8	0	10	
2	Тема 2. Ефекти де Гааза - ван Альфена та Шубнікова - де Гааза	8	0	17	
<i>Контрольна робота</i>					1
<i>Змістовий модуль 2 Теорія поля електронного газу з безладом</i>					
3	Тема 3. Опис безладу традиційним методом.	8	0	10	
4	Тема 4. Опис безладу за допомогою функціонального інтегралу.	8	0	10	
<i>Колоквіум 2</i>					1
<i>Змістовий модуль 3 Цілочисельний квантовий ефект Холла (КЕХ)</i>					
5	Тема 5. Вступ до КЕХ. Двовимірна електронна рідина у магнітному полі	8	0	10	
6	Тема 6. Цілочисельний КЕХ	8	0	10	
<i>Контрольна робота</i>					2
<i>Екзамен</i>					1
ВСЬОГО		48	0	67	5

8. Рекомендовані джерела:

Основна

1. Е. В. Горбар, С. Г. Шарапов, Основи фізики графену, Київ, 2013. (Викладено на EduPortal.)
2. А.А. Абрикосов, Основы теории металлов, 2е изд. ФИЗМАТЛИТ, 2009.
3. Н. Bruss and K. Flensberg, Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter Physics: An Introduction, Oxford University Press, 2004.
4. М.О. Goerbig, Quantum Hall Effects, Preprint <https://arxiv.org/abs/0909.1998>
5. G. Giuliani and G. Vignale, Quantum theory of the electron liquid, Cambridge University Press, 2005.
6. S.G. Sharapov, J. Phys. A: Math. Theor. **48**, 365002 (2015).

Додаткова

1. Alexei M. Tsvelik, Quantum Field Theory in Condensed Matter Physics, Cambridge University Press, 2003.
2. Y. Imry, Introduction to Mesoscopic Physics. Oxford University Press, 1997.
3. A. Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press, 2010. Є і російський переклад.
4. В.Ф. Гантмахер, Электронны в неупорядоченных средах}, 2е изд. М.: Физматлит, 2005.
5. Gerald D. Mahan, Many Particle Physics, Springer, 3rd edition, 2000.

Теми для доповідей на колоквіумах

1. Фейнманівські діаграми та зовнішні потенціали. (Розділ 11 [3] (с.177-197 по неповній електр. версії) у паперовій це 12). Велика тема для двох студентів.
2. Бозе-Ейнштейнівська конденсація у розріджених атомних газах у пастці. (A.L. Fetter, J. Low Temp. Phys. 129, 263 (2002).)
3. Теорія Фермі рідини. (Через об'єм можна розбити на дві частини для двох доповідачів. Розділ 14 (с.233-252 по неповній електр. версії) у паперовій це розділ 15) по [3].)
4. Катастрофа ортогональності. (Задача 27 по книзі Левітова, див. також підручник Mahan [5] у додатковому списку літератури, с.612-621 та підручник Altland розділ 7.6.1)
5. Формула (теорема) Бірса-Янга. (По статті Byers and Yang, яку викладено на EduPortal. Див. також підручник Imry (додаткова література) с. 65-69 та додаток С.)
6. Задача Теллера. Крайові стани та діаманетизм Ландау підході Теллера. (По статті Neuser and Hajdu. Увага, формули (6) та (7) там містять помилки! Чи знайдете ви їх?)
7. Аргумент Лафліна (пояснення цілочисельного квантового ефекту Холла). (По огляду Park, який викладено на EduPortal, але можна також використати практично будь-який підручник, де розглянуто квантовий ефект Холла.)
8. Холлівська провідність та число Черна (TKNN формула). (За лекціями David Tong <http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/qhe.html> див. Розділ 2. The Integer Quantum Hall Effect.)
9. Ефект Ааронова-Бома та перетворення статистики. (Розділ 15 з [1] у додатковому списку літератури, по рос. виданню - це розділ 14. Див. також Розділ VI.1 з [3] додаткова літератури.)
10. Колапс рівнів Ландау для діраківських ферміонів. (PRL 98, 116802 (2007), J. Phys.: Condens. Matter 19, 406231 (2007).)
11. Транспорт у мезоскопічних системах. (Розділ 7 [3] (с.107-121 по неповній електр. версії), без

“Disordered mesoscopic systems” у паперовій це теж 7 с. 103-120.

Також корисна книга Гантмахера [4] у додатковому списку літератури , с. 85.)

12. Нерівність Боголюбова. Теорема Hohenberg-Mermin-Wagner. (Доведення нерівності Боголюбова можна за Розділом 3.2.10 підручника [5]. З розгляду Hohenberg за статтею P.C. Hohenberg, "Existence of Long-Range Order in One and Two Dimensions", *Phys. Rev.*, 158, 83 (1967). Для доповіді вистачить розглянути Розділ III зі статті. Це випадок Бозе газу.)

13. Спіновий струм. (По статті P. Zhang, Z. Wang, J. Shi, D. Xiao, and Q. Niu, *Phys. Rev. B* 77, 075304 (2008).)

З усіма питаннями можна звертатись до викладача на електронну пошту sharapov@bitp.kiev.ua