

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

## **РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **Теорія наносистем на кривих поверхнях**

напряму підготовки 040203 – фізика  
для спеціальності 8.04020301 – фізика  
спеціальний курс  
фізичного факультету

Кредитно-модульна система  
організації навчального процесу

Розробник: **Рашба Георгій Ілліч, кандидат фіз-мат. наук, доцент.**

Харків – 2012

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 3	Напрямок підготовки 040203 фізика	денна форма навчання
Модулів – має	Спеціальність 8.04020301 – фізика	Роки підготовки: IV–й, V–й
Загальна кількість годин – 108		Семестри 8–й, 9–й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 в 8-му семестрі, 2 в 9-му семестрі самостійної роботи студента – 1 в 9-му семестрі	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр, магістр	Лекції 87 год (51 год. у 8-му семестрі, 36 год. у 9-му семестрі)
		Практичні – не передбачені навчальним планом
		Самостійна робота 21 год.
		Вид контролю: залік, екзамен

### Примітка.

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

для денної форми навчання – 1:2

## 2. Мета навчальної дисципліни

**Мета:** викласти сучасну теорію квантових осциляційних явищ у наносистемах на кривих поверхнях. Це конче актуально, тому що викривлення систем з двовимірним електронним газом зумовлює появу нових ефектів, які в системах з нульовою кривиною відсутні.

У результаті вивчення даного курсу студент повинен **знати**, що кривина структури, на якій знаходиться двовимірний електронний газ, збагачує картину явищ, які відбуваються у газі, збільшує число способів керування цими явищами.

Студент повинен **вміти** розраховувати спектри та згасання магнітоплазмових і спінових хвиль, а також нульового звуку в електронному газі на поверхні нанотрубки з надграткою.

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### 8-й семестр

#### 1. Термодинамічні властивості електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.

- Тема 1. Синтезування вуглецевих та напівпровідникових нанотрубок.
- Тема 2. Незвичні фізичні ефекти у нанотрубках (перелічити та вказати основне їх джерело).
- Тема 3. Гамільтоніан електрона на кривій поверхні.
- Тема 4. Гамільтоніан електрона на циліндричній поверхні (викласти детально).
- Тема 5. Енергетичний спектр електрона на поверхні напівпровідникової циліндричної нанотрубки (пояснити можливість використання наближення ефективної маси).
- Тема 6. Розрахунок густини станів електрона на поверхні напівпровідникової нанотрубки з використанням формули Пуассона без та з урахуванням магнітного поля.
- Тема 7. Розрахунок густини станів електрона на поверхні напівпровідникової нанотрубки з використанням перетворення Лапласа без та з урахуванням магнітного поля.
- Тема 8. Хімічний потенціал виродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки).
- Тема 9. Хімічний потенціал та внутрішня енергія виродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки у випадку заповнення лише однієї підзони (режим ультра квантової границі).
- Тема 10. Внутрішня енергія виродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.
- Тема 11. Теплоємність виродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.
- Тема 12. Великий термодинамічний потенціал та ентропія виродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.
- Тема 13. Спінова намагніченість виродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.
- Тема 14. Хімічний потенціал невиродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.
- Тема 15. Внутрішня енергія невиродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.
- Тема 16. Теплоємність невиродженого електронного газу на поверхні напівпровідникової нанотрубки.

#### 9-й семестр

#### 2. Колективні збудження в електронних наносистемах на поверхні нанотрубки з урахуванням надграток.

- Тема 17. Енергетичний спектр електронів на поверхні циліндричної нанотрубки з надграткою у повздовжньому магнітному полі.
- Тема 18. Основний підхід до проблеми розповсюдження колективних збуджень на поверхні нанотрубки – наближення хаотичних фаз.

- Тема 19. Потенціал міжелектронної взаємодії і поляризаційний оператор електронного газу у низьковимірній системі.
- Тема 20. Залежність фур'є-компоненти кулонівського потенціалу від геометрії області, доступної рухові електронів.
- Тема 21. Чутливість поляризаційного оператора стосовно динаміки електронів, до умов на границях системи і від статистики.
- Тема 22. Асимптотики поляризаційного оператора в обмеженій системі на кривій поверхні та окремих розгляд колективних збуджень в системах різної розмірності.
- Тема 23. Проблема переходу від колективних збуджень на поверхні трубки до двовимірного електронного газу на площині.
- Тема 24. Дисперсійне рівняння та його рішення для магнітоплазмових хвиль на трубці у наближенні випадкових фаз.
- Тема 25. Дисперсійне рівняння та його рішення для спінових хвиль на трубці у наближенні випадкових фаз.
- Тема 26. Дисперсійне рівняння та його рішення для нульового звуку на трубці у наближенні випадкових фаз.
- Тема 27. Дійсна та уявна частини поляризаційного оператора виродженого електронного газу на трубці, які необхідні для визначення спектрів хвиль та їх згасання.
- Тема 28. Дійсна та уявна частини поляризаційного оператора невиродженого електронного газу на трубці, які необхідні для визначення спектрів хвиль та їх згасання.
- Тема 29. Розв'язок дисперсійного рівняння для спектра і згасання внутрізонних плазмонів і спінових хвиль.
- Тема 30. Спектри та згасання аксіально-симетричних колективних збуджень на трубці у квантовому випадку, коли електрони заповнюють нижню мінізону.
- Тема 31. Спектри та згасання магнітоплазмових та спінових хвиль у випадку, коли енергія Фермі значно перевищує величину обертового кванта.
- Тема 32. Періоди осциляцій типу де Гааза-ван Альфена та Ааронова-Бома, а також амплітуди осциляцій магнітоплазмових та спінових хвиль на трубці.
- Тема 33. Спектри міжзонних магнітоплазмових та спінових хвиль на трубці.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	сп	
1	2	3	4	5	6	7
<b>8 семестр</b>						
Тема 1	3	3				
Тема 2	4	4				
Тема 3	3	3				
Тема 4	4	4				
Тема 5	3	3				
Тема 6	4	4				
Тема 7	3	3				

Тема 8	3	3				
Тема 9	3	3				
Тема 10	3	3				
Тема 11	3	3				
Тема 12	3	3				
Тема 13	3	3				
Тема 14	3	3				
Тема 15	3	3				
Тема 16	3	3				
Разом за семестр	54	51				
<b>Залік</b>						
<b>9 семестр</b>						
Тема 17	3	2				1
Тема 18	4	2				2
Тема 19	4	2				2
Тема 20	3	2				1
Тема 21	4	3				1
Тема 22	4	2				2
Тема 23	3	2				1
Тема 24	4	3				1
Тема 25	4	2				2
Тема 26	3	2				1
Тема 27	3	2				1
Тема 28	3	2				1
Тема 29	3	2				1
Тема 30	3	2				1
Тема 31	3	2				1
Тема 32	3	2				1
Тема 33	3	2				1
Разом за семестр	54	36				21
<b>Разом</b>	108	87				21
<b>Екзамен</b>						

### 5. Теми практичних занять

Не передбачені навчальним планом.

### 6. Самостійна робота

Назва теми	Кількість годин
Тема 1. Актуальна наукова проблема «Електронні наносистеми на кривих поверхнях».	1
Тема 2. Сучасний напрям нанотехнології – вуглецеве та напівпровідникове наноматеріалознавство.	1
Тема 3. Теорія термодинамічних, кінетичних явищ та колективних збуджень у наносистемах на кривих поверхнях з надгратками при наявності магнітного поля.	1

Тема 4. Наносистеми – важливі функціональні елементи багатьох сучасних і майбутніх приладів і технічних пристроїв.	1
Тема 5. Можливість керування зонним спектром провідників шляхом створення в них додаткової періодичності – надгратки. Придатність цього підходу для нанотрубок.	1
Тема 6. Радіальні циліндричні надгратки – набір коаксіальних циліндрів, властивості яких змінюються вздовж радіуса структури.	1
Тема 7. Новий тип надгратки на поверхні нанотрубки – повздовжня надгратка.	1
Тема 8. Розрахунки у наближенні випадкових фаз спектрів плазмових і спінових хвиль в електронному газі на поверхні напівпровідникової нанотрубки з надграткою у магнітному полі, паралельному осі трубки і надгратки.	1
Тема 9. Розрахунки у квантовому і квазікласичному випадках частот довгохвильових внутрізонних і міжзонних магнітоплазмонів і спінових хвиль у виродженому електронному газі.	1
Тема 10. Осциляції Ааронова-Бома частот хвиль зі зміною магнітного потоку через переріз трубки.	1
Тема 11. Осциляції де Гааза-ван Альфена частот хвиль зі зміною параметрів нанотрубки при великому числі заповнених рівнів колового руху електронів.	1
Тема 12. Квантові осциляційні явища у нанотрубках з надгратками при наявності магнітного поля як засіб для визначення характеристик електронного енергетичного спектру та геометричних параметрів цих систем.	1
Тема 13. Методи експериментального визначення параметрів електронного спектру на трубці, характеристик трубок та надграток, універсальних сталих шляхом вимірювання періодів осциляцій спектрів хвиль та зсуву їх граничних частот у дослідах з розсіянням електронів і світла нанотрубками.	1
Тема 14. Енергетичний спектр електронів на поверхні циліндричної нанотрубки з надграткою у повздовжньому магнітному полі.	1
Тема 15. Биття на графіку залежності частоти хвилі від параметрів трубки при великому значенні відношення енергії Фермі до ширини мінізони.	1
Тема 16. Методи отримання надграток на поверхнях нанотрубок, їх енергетичний спектр, явища переносу, високочастотні і оптичні властивості.	1
Тема 17. Квант Ландау, магнітна довжина, амплітуда і період модулюючого потенціалу, кривина трубки – параметри, які збільшують число способів керувати властивостями системи.	1
Тема 18. Ефекти гібридизації просторового і магнітного квантування руху електронів провідності у магнітному полі на поверхні нанотрубки.	1
Тема 19. Модифікація гамільтоніана системи, кондактанса і магнітного відгуку електронного газу на поверхні нанотрубки.	1
Тема 20. Особливості екранування кулонівської взаємодії електронів у магнітному полі на поверхні нанотрубки.	1
Тема 21. Специфічні резонанси розсіювання електронів у вуглецевих і напівпровідникових нанотрубках домішковими атомами.	1

## 7. Методи навчання

Лекції, самостійна робота.

## 8. Методи контролю

Залік за результатами поточного контролю, екзамен.

## 9. Розподіл балів, які отримують студенти

### *Залік – 8 семестр*

Підсумковий семестровий контроль (залік)	Сума
100	100

### *Екзамен – 9 семестр*

Підсумковий семестровий контроль (екзамен)	Сума
100	100

## Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	<b>A</b>	відмінно
80-89	<b>B</b>	добре
70-79	<b>C</b>	
60-69	<b>D</b>	задовільно
50-59	<b>E</b>	
1-49	<b>FX</b>	незадовільно

## 10. Методичне забезпечення

1. Робоча програма навчальної дисципліни.
2. Навчальні посібники, монографії, наукові статті.
3. Мультимедійні презентації лекцій.

## 11. Рекомендована література

1. Platzman, P.M.; Wolff, P.A. *Waves and Interactions in Solid State Plasmas*; Academic Press: New York, USA, 1973; pp. 436.
2. Kaner, E.A.; Skobov, V.G. *Adv. in Phys.* 1968, vol 17, 605-747.
3. Iijima, S. *Nature* 1991 vol 354, 56-58.

4. Saito, R.; Dresselhaus, G.; Dresselhaus, M.S. *Physical properties of carbon nanotubes*; Imperial College Press: London, UK, 1998; pp. 259.
5. Prinz, V.Ya.; Seleznev, V.A.; Gutakovskiy, A.K. *The 24<sup>th</sup> Intern. Conf. on the Phys. Of semiconductors (ICPS 24)* ; World Scientific Publ.: Jerusalem, ISRAEL, 1999; pp. Th3-D5.
6. Prinz, V.Ya.; Chehovskiy, A.V.; Preobrazhenskii, V.V.; Semyagin, B.R.; Gutakovskiy, A.K. *Nanotechnology* 2002, vol 13, 231-233.
7. Kushwaha, M.S.; Djafari-Rouhani, B. *Phys. Rev.* 2003, vol **B67**, 245320, 1-19.
8. Kushwaha, M.S.; Djafari-Rouhani, B. *Phys. Rev.* 2005, vol **B71**, 195317, 1-21.
9. Magarill, L.I.; Chaplik, A.V.; Entin, M.V. *Usp. Fiz. Nauk* 2005, vol **175**, 995-1000.
10. Lin, M.F.; Shung, K.W.-K. *Phys. Rev.* 1993, vol **B47**, 6617-6624.
11. Sato, O.; Tanaka, Y.; Kobayashi, M.; Hasegawa, A. *Phys. Rev.* 1993, vol **B48**, 1947-1950.
12. Lin, M.F.; Shung, K.W.-K. *Phys. Rev.* 1993, vol **B48**, 5567-5571.
13. Longe, P.; Bose, S. M. *Phys. Rev.* 1993, vol **B48**, 18239-18243.
14. Vedernikov, A.I.; Govorov, A.O.; Chaplik, A.V. *JETP* 2001, vol **120**, 979-985.
15. Vitlina, R.Z.; Magarill, L.I.; Chaplik, A.V. *JETP* 2008, vol **133**, 906-913.
16. Eminov, P.A.; Perepelkina, Yu.V.; Sezonov, Yu.I. *Phys. Solid State* 2008, vol **50**, 2220-2224.
17. Ermolaev, A.M.; Rashba, G.I.; Solyanik, M.A. *Low Temp. Phys.* 2011, vol **37**, 919-924; doi: 10.1063/1.3672160
18. Ermolaev, A.M.; Rashba, G.I.; Solyanik, M.A. *Low Temp. Phys.* 2012, vol **38**, 511-516; doi: 10.1063/1.4723674
19. Keldysh, L.V. *Fiz. Tverd. Tela* 1962, vol 4, 2265-2267.
20. Esaki, L.; Tsu, R. *IBM J. Dev.* 1970, vol **14**, 61-65.
21. Bass, F.G.; Tetervov, A.P. *Phys. Rep.* 1985, vol **140**, 237-324.
22. Herman, M.A. *Semiconductor Superlattices*; Akademie-Verlag: Berlin, Germany, 1986; 240 pp.
23. Ermolaev, A.M.; Rashba, G.I.; Solyanik, M.A. *Physica* 2011, vol B406, pp. 2077-2080.
24. Ermolaev, A.M.; Rashba, G.I.; Solyanik, M.A. *Physics of the Solid State* 2011, vol 53, 1594-1598.
25. Ermolaev, A.M.; Rashba, G.I.; Solyanik, M.A. *Low Temp. Phys.* 2012, vol **38**, 1209-1215.
26. Landau, L.D. *JETP* 1957, vol 32, 59-66.
27. Silin, V.P. *JETP* 1958, vol 35, 1243-1250.
28. Ermolaev, A.M.; Kofanov, S.V.; Rashba, G.I. *Adv. in Condens. Matter Phys.* 2011, Vol 2011, Article ID 901848, 7 pp.; doi: 10.1155/2011/901848
29. Kulik, I.O. *JETP Lett.* 1970, vol **11**, 275-278.
30. Ermolaev, A.M.; Rashba, G.I.; Solyanik, M.A. *Vestnik KhNU ser. "Fizika"* 2010, vol **914**, 24-28.
31. Vitlina, R.Z.; Magarill, L.I.; Chaplik, A.V. *Pis'ma v JETP* 2007, vol **86**, 132-134.
32. Eminov, P.A. *JETP* 2009, vol **135**, 1029-1036.
33. White, R.M. *Quantum Theory of Magnetism*; Springer-Verlag: Berlin, GERMANY, 1983; 304 pp.
34. Peierls, R.E. *Quantum Theory of Solids*; Clarendon Press: Oxford, UK, 1955; 260 pp.
35. Ermolaev, A.M.; Rashba, G.I.; Solyanik, M.A. *Low Temp. Phys.* 2011, vol **37**, 824-830.
36. Apostol, M. Z. *Phys.* 1975, vol **B22**, 13-25.



37. Sarma, D.; Quinn, J. J. *Phys. Rev.* 1982, vol B**25**, 7603-7621.
38. Bloss, W. L. *Solid State Comm.* 1982, vol **44**, 366-382.
39. Tselis, A.C.; Quinn, J.J. *Phys. Rev.* 1984, vol B**29**, 2021-2027; *Phys. Rev.* 1984, vol B**29**, 3318-3335.
40. Wei-ming, Q.; Kirczenow, G. *Phys. Rev.* 1987, vol B**36**, 6596-6601.
41. Fetter, A.L.; Walecka, J.D. *Quantum theory of many-particle systems*; Mc Gr. Hill: New York, USA, 1971; 600 p.
42. Ando, T.; Fowler, A.; Stern, F. *Rev. Mod. Phys.* 1982, vol **54**, 437-???
43. Pines, D.; Nozieres, P. *The Theory of Quantum Fluids*; W.A. Benjamin Inc.: New York, USA, 1966; 382 p.
44. Kadanoff, L.P.; Baym, G. *Quantum Statistical Mechanics*; W.A. Benjamin Inc.: New York, USA, 1962; 256 p.
45. Schultz, S.; Dunifer, G. *Phys. Rev. Lett.* 1967, vol **18**, 283-287.
46. Platzman, P.M.; Wolff, P.A. *Phys. Rev. Lett.* 1967, vol **18**, 280-283.
47. Izuyama, T.; Kim, D.-J.; Kubo, R. *J. Phys. Soc. Japan* 1963, vol **18**, 1025-1042.
48. Edwards, D.M. *J. Phys. C* 1969, vol **2**, 84-95.
49. Doniach, S.; Sondheimer, E. *Green's functions for solid state physicists*; W. A. Benjamin Inc.: New York, USA, 1974; 266 p.
50. Gleizer, N.V.; Ermolaev, A.M. *Low Temp. Phys.* 1998, vol **24**, 489-494.
51. Akhiezer, A.I.; Bar'yakhtar, V.G.; Peletminskiy, S.V. *Spinovie volni*; Nauka: Moskva, SU, 1967; 368 p.
52. Kaner, E.A.; Ermolaev, A.M. *JETP Lett.* 1986, vol 44, 501-502.
53. Kaner, E.A.; Ermolaev, A.M. *JETP* 1986, vol 92, 2245-2256.