

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

“_____” _____ 20__ р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Основи терагерцової спектроскопії

(назва навчальної дисципліни)

напря́м _____ 6.040204 прикладна фізика

спеціальність _____ 8.04020402 Радіофізика і електроніка

спеціалізація _____ квантова радіофізика та фотоніка

факультет _____ радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2016 / 2017 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

“ 21 ” червня 2016 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Алексеев Євгеній Анатолійович, д.ф.-м.н., професор, старший науковий співробітник

Програму схвалено на засіданні кафедри
квантової радіофізики

Протокол від “ 21 ” червня 2016 року № 8

Завідувач кафедри квантової радіофізики

_____ проф. Маслов В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 16 ” червня 2016 року, протокол № 6

Голова методичної комісії радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

_____ проф. Черногор Л. Ф.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “ Основи терагерцової спектроскопії ” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

_____ магістр _____
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності _____ 8.04020402 Радіофізика і електроніка

спеціалізації _____ квантова радіофізика та фотоніка _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Вивчення методів емісійної та поглинальної спектроскопії у субтерагерцовому, терагерцовому та оптичному діапазоні з вимірюванням частот; методів субдоплерівської спектроскопії; принципів роботи стандартів частоти; методів сучасної надширококутної терагерцової спектроскопії у часовій області.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Вивчення методів та засобів спектроскопії у терагерцовому та субтерагерцовому діапазоні.

1.3. Кількість кредитів 6

1.4. Загальна кількість годин 180 (32л+32п+116с)

| | |
|--|------|
| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | |
| <u>Нормативна</u> / за вибором | |
| <u>Денна форма навчання</u> Заочна (дистанційна) форма навчання | |
| Рік підготовки | |
| 2-й | -й |
| Семестр | |
| 3-й | -й |
| Лекції | |
| 32 год. | год. |
| Практичні, семінарські заняття | |
| 32 год. | год. |
| Лабораторні заняття | |
| год. | год. |
| Самостійна робота | |
| 116 год. | год. |
| Індивідуальні завдання | |
| год. | |

1.6. Заплановані результати навчання

Студенти повинні **знати** :

Основні методи емісійної та поглинальної спектроскопії у субтерагерцовому, терагерцовому та оптичному діапазоні з вимірюванням частот; методів субдоплерівської спектроскопії; принципів роботи стандартів частоти; методів сучасної надширокопосмугової терагерцової спектроскопії у часовій області.

Студенти повинні **вміти** :

здійснювати розрахунки простих систем фазового автопідстроювання частоти, застосовувати методи гармонічного аналізу.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи емісійної спектроскопії

Тема 1. Емісійна спектроскопія

Терагерцовий діапазон та його значення у сучасному світі. Переваги емісійних спектрометрів. Імпульсні Фур'є спектрометри з імпульсним упорскуванням речовини що досліджується. Емісійні спектрометри з внутрішньо імпульсним частотним модулюванням.

Тема 2. Терагерцова спектроскопія когерентного спонтанного випромінювання

Спектрометри з реєстрацією когерентного спонтанного випромінювання. Аналіз систем фазового автопідстроювання частоти. Застосування перетворення Лапласа для аналізу систем регулювання. Функція дії у просторі перетворення Лапласа при переключенні частоти. Негативний зворотній зв'язок як основа фазового автопідстроювання частоти. Прямий цифровий синтез частоти у спектрометрах з реєстрацією когерентного спонтанного випромінювання.

Тема 3. Субдоплерівська спектроскопія

Види розширення спектральних ліній. Реальна форма спектральних ліній. Методи уникнення доплерівського розширення спектральних ліній. Спектроскопія насичення зі спостереженням провалу Лемба. Математичне моделювання спектральної лінії з провалом Лемба. Субдоплерівський спектрометр РІНАНУ.

Тема 4. Стандарти частоти

Точність вимірювань. Різниця між "accuracy" та "precision". Мазер на основі амоніаку як стандарт частоти. Рубідієвий стандарт частоти. Цезієвий стандарт частоти. Лазерне охолодження атомів. Методи досягнення високої точності та стабільності.

Розділ 2. Основи терагерцової спектроскопії

Тема 5. Вимірювання частоти у терагерцовому та оптичному діапазоні

Спектр послідовності коротких імпульсів. Фемтосекундні лазери як основа оптичної частотної гребінки. Оптичні частотні гребінки як стандарти та синтезатори частоти. Вимірювання частоти в оптичному діапазоні за допомогою оптичних частотних гребінок.

Тема 6. Надширокополосна терагерцова спектроскопія у часовій області

Методи надширокополосної терагерцової спектроскопії у часовій області. Застосування надширокополосної терагерцової спектроскопії. Спектроскопічні дослідження міжзоряного середовища. Спектрорадіометри та аналізатори спектра.

3. Структура навчальної дисципліни

| Назви розділів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------|----|------|------|-------|--------------|--------------|----|------|------|-------|
| | денна форма | | | | | | заочна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | | усього | у тому числі | | | | |
| | | л | п | лаб. | інд. | с. р. | | л | п | лаб. | інд. | с. р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Розділ 1. Основи емісійної спектроскопії | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Емісійна спектроскопія | 26 | 6 | 4 | | | 16 | | | | | | |
| Тема 2. Терагерцова спектроскопія когерентного спонтанного випромінювання | 34 | 6 | 6 | | | 22 | | | | | | |
| Тема 3. Субдоплерівська спектроскопія | 32 | 4 | 6 | | | 22 | | | | | | |
| Тема 4. Стандарти частоти | 24 | 4 | 4 | | | 16 | | | | | | |
| Разом за розділом 1 | 116 | 20 | 20 | | | 76 | | | | | | |
| Розділ 2. Основи терагерцової спектроскопії | | | | | | | | | | | | |
| Тема 5. Вимірювання частоти у терагерцовому та оптичному діапазоні | 36 | 8 | 6 | | | 20 | | | | | | |
| Тема 6. Надширокополосна терагерцова спектроскопія у часовій області | 32 | 4 | 6 | | | 20 | | | | | | |
| Разом за розділом 2 | 64 | 12 | 12 | | | 40 | | | | | | |
| Усього годин | 180 | 32 | 32 | | | 116 | | | | | | |

4. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1 | Емісійна спектроскопія | 4 |
| 2 | Терагерцова спектроскопія когерентного спонтанного випромінювання | 6 |
| 3 | Субдоплерівська спектроскопія | 6 |
| 4 | Стандарти частоти | 4 |
| 5 | Вимірювання частоти у терагерцовому та оптичному діапазоні | 6 |
| 6 | Надширокополосна терагерцова спектроскопія у часовій області | 6 |
| | Разом | 32 |

5. Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Види, зміст самостійної роботи | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1 | Емісійна спектроскопія | 16 |
| 2 | Терагерцова спектроскопія когерентного спонтанного випромінювання | 22 |
| 3 | Субдоплерівська спектроскопія | 22 |
| 4 | Стандарти частоти | 16 |
| 5 | Вимірювання частоти у терагерцовому та оптичному діапазоні | 20 |
| 6 | Надширокополосна терагерцова спектроскопія у часовій області | 20 |
| | Разом | 116 |

6. Індивідуальні завдання

Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується циклом лекцій, проведенням практичних занять.

7. Методи контролю

По кожному модулю проводиться контрольна робота, яка оцінюється в відповідних балах.

8. Схема нарахування балів

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | | | Екзамен | Сума |
|--|----|----|----|----------|----|---------|------|
| Розділ 1 | | | | Розділ 2 | | | |
| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | | |
| 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 15 | 60 |
| | | | | | | | 40 |
| | | | | | | | 100 |

T1, T2 ... – теми розділів.

Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка | |
|--|--------------|---------------|
| | 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. E.Bründermann, H.-W. Hübers, M. F. Kimmitt, Terahertz Techniques. – Springer, London – New York, 2012. – 383 p.
2. M. Perenzoni, D.J. Paul (Editors), Physics and Applications of Terahertz Radiation. – Springer, London – New York, 2014. – 255 p.
3. Алексеев Е.А., Захаренко В.В. Синтезатор прямого цифрового синтеза в микроволновой спектроскопии // Радиофизика и радиоастрономия. – 2007. – т.12. – №2. – с. 205-213.
4. Алексеев Е.А., Мотиенко Р.А., Маргулес Л. Спектрометры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на основе синтезаторов прямого цифрового синтеза // Радиофизика и радиоастрономия. – 2011. – т.16. – №3. – с. 313-327.
5. Ye J., Cundiff S.T. (Editors), Femtosecond Optical Frequency Comb: Principle, Operation, and Applications. – Kluwer Academic Publishers / Springer Norwell, MA, 2004. – 361 p.
6. Риле Ф. Стандарты частоты. – М: Физматлит, 2009. – 510 с.

Допоміжна література

7. Макаренко В., Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза // Электронные компоненты и системы. – 2004. – №1. – с.3 – 7.
8. Макаренко В., Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза // Электронные компоненты и системы. – 2004. – №2. – с.13 – 18.
9. Клэппер Дж., Фрэнкл Дж.. Системы фазовой и частотной автоподстройки частоты. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1977. – 440с.

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

10. Руководство по синтезаторам прямого цифрового синтеза
<http://www.ieee.li/pdf/essay/dds.pdf>
11. Руководство по ФАПЧ <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND8040-D.PDF>
http://www.freescale.com/files/rf_if/doc/app_note/AN535.pdf