



# СПІНТРОНІКА ТА МАГНОНІКА

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|   |   |
|---|---|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Третій (освітньо-науковий)</i>   |
| Галузь знань                                | <i>10 Природничі науки</i>  |
| Спеціальність                               | <i>104 Фізика та астрономія</i>   |
| Освітня програма                            | <i>Фізика</i>   |
| Статус дисципліни                           | <i>Вибіркова</i>  |
| Форма навчання                              | <i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>  |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>2 курс, осінній семестр</i>  |
| Обсяг дисципліни                            | <i>5 кредитів/150 годин</i>   |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>Залік МКР</i>  |
| Розклад занять                              | <i>час і місце проведення аудиторних викладені на сайті<br/><a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>   |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>   |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>Лектор: доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, телеграм-канал «Спінтроніка та магноніка»<br/><a href="https://t.me/+xDMv23GOjE9hNmM6">https://t.me/+xDMv23GOjE9hNmM6</a> та телеграм-чат «Спінтроніка та магноніка» <a href="https://t.me/+nnveHt_5hxc3MTIy">https://t.me/+nnveHt_5hxc3MTIy</a></i>                                |
| Розміщення курсу                            | <i>На платформі дистанційного навчання Google Клас за посиланням<br/><a href="https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap">https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap</a> , код класу d2pl3ap, постійне посилання на Google Meet<br/><a href="https://meet.google.com/zkv-tzmz-kns">https://meet.google.com/zkv-tzmz-kns</a></i> |

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Одне з найцікавіших завдань, які вирішує сучасна електроніка – це створення дуже швидких пристроїв без високих втрат енергії у вигляді тепла. Вважається, що в перспективі нас чекають пристрої без хімічних реакцій, які переводять електрику в енергію постійного магнітного поля і також здійснюють зворотне перетворення, магніторезистивна пам'ять з нульовим енергоспоживанням і довготривалим ресурсом, більш досконалі, ніж зараз, магнітні головки запису в жорстких дисках, а також оптичні пристрої нанометрових масштабів. Ключем до інновацій подібного типу є управління спінами частинок в функціональних матеріалах. Перемикаючи напрямки спінів та спінових магнітних моментів, можна змінювати магнітні властивості речовини. А головне – здійснюється перемикавання спінів дуже просто, швидко і майже без втрат енергії. З ідеї керування спінами для запису і передачі інформації народилися два проривних напрямки в електроніці – спінтроніка (в ній використовується заміна

електричного струму електронів в металах на спіновий струм) і магنونіка (вивчає спінові хвилі). На принципах спітроніки або магنونіки будуть засновані всі перераховані вище пристрої. Функціональні матеріали для цих областей в останні роки викликають високий інтерес – приблизно кожні п'ять років кількість присвячених їм публікацій подвоюється.

Мета навчальної дисципліни – формування у аспірантів компетентностей в області спітроніки та магنونіки.

Предмет навчальної дисципліни – явища протікання спінових струмів та розповсюдження спінових хвиль в нанорозмірних магнетовпорядкованих матеріалах.

#### **Програмні результати навчання:**

Компетентності: (ФК01) здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в спітроніці та магنونіці та дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з магнетизму та суміжних галузей.

Знання: (ПРН01) передові концептуальні та методологічні знання зі спітроніки та магنونіки і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

Уміння: (ПРН05) планувати і виконувати дослідження зі спітроніки та магنونіки та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати у контексті усього комплексу сучасних знань зі спітроніки та магنونіки.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти отримають знання зі спітроніки та магنونіки; набудуть уміння застосовувати здобуті фундаментальні знання теорії спін-залежних ефектів в магнетиках при розробці нових наукових методик та в новітніх промислових технологій, в зразках нових матеріалів, для пояснення отриманих даних і передбачення нових наукових результатів, класифікувати та описувати явища протікання спінових струмів та розповсюдження спінових хвиль, складати математичні моделі опису спінових струмів та спінових хвиль; отримають досвід практичного застосування методів опису спінових струмів та спінових хвиль, проведення досліджень і узагальнення їх результатів в області явищ і процесів, що відбуваються та супроводжують протікання спінових струмів та розповсюдження спінових хвиль, самостійної роботи з навчальною, науковою та довідковою літературою у області спітроніки та магنونіки українською та іноземними мовами.

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

Вивчення даної дисципліни базується на дисциплінах першого та другого рівнів вищої освіти «Загальна фізика: електрика та магнетизм», «Фізика магнітних явищ» та ін. Знання, отримані аспірантами з дисципліни «Спітроніка і магنونіка», використовуються при підготовці аспірантами наукових доповідей та наукових статей, а також при захисті дисертації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

| Назви тем | Кількість годин |              |
|-----------|-----------------|--------------|
|           | Всього го       | У тому числі |
|           |                 |              |

|  |   | Лекції | Практичні заняття | СРС |
|--|---|--------|-------------------|-----|
| Тема 1. Спін електронів, ядер та атомів. Поняття про спінтроніку та магноніку.   | 8 | 2      | 1                 | 5   |
| Тема 2. Спінкові ефекти в твердотільних структурах. Гігантський магнітоопір. Тунельний магнітоопір. Передача спінового моменту від вільних носіїв заряду до магнітних атомів. Спіновий ефект Хола. Теплові спінові ефекти. Ефект Кондо.  | 8 | 2      | 1                 | 5   |
| Тема 3. Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотільні структури. Інжекція через невикривлюючий контакт. Тунелювання через потенціальний бар'єр. Спінова фільтрація носіїв заряду з використанням низькорозмірних структур.  | 8 | 2      | 1                 | 5   |
| Тема 4. Транспорт спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках. Зміна орієнтації спіна електронів за механізмом Еліотта-Яфета. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Дьяконова-Переля. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Біра-Аронова-Пікуса. Зміна орієнтації спіна в результаті їх надтонкої взаємодії з ядрами атомів. Механізми релаксації спіна електронів в напівпровідниках. Особливості релаксації спіна електронів в низькорозмірних структурах. | 8 | 2      | 1                 | 5   |
| Тема 5. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах. Оптичні методи. Електричні методи.   | 8 | 2      | 1                 | 5   |
| Тема 6. Елементи обробки інформації на спінових ефектах. Датчики магнітних полів. Магнітна головка, що зчитує, на ефекті гігантського магнітоопору. Спінові транзистори. Енергонезалежна пам'ять на ефекті гігантського магнітоопору. Енергонезалежна пам'ять на основі спін-залежного тунелювання. Спінова логіка.  | 8 | 2      | 1                 | 5   |
| Тема 7. Прилади спінтроніки. Спіновий діод. Двополюсні діодні структури. Трьохполюсні транзисторні структури. Структури з наведеним струмом переключенням Намагніченості. Електронний спін-резонансний транзистор для квантових обчислень.   | 8 | 2      | 1                 | 5   |
| Тема 8. Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів та електронів у твердотільних структурах. Основи квантової обробки інформації. Квантовий біт інформації. Квантовий комп'ютер. Матеріали елементів для квантової обробки інформації на спінах електронів та ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації   | 8 | 2      | 1                 | 5   |

|   |            |           |           |           |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|
| на спінах ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації на спінах електронів у квантових точках. |            |           |           |           |
| Тема 9. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка.   | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 10. Спін-орбітроніка.  | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 11. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка.  | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 12. Динаміка намагніченості. Спінові хвилі. Рівняння Ландау-Ліфшиця-Гілберта-Слончевського.          | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 13. Граничні умови для рівняння Ландау-Ліфшиця на інтерфейсі між двома ферромагнетиками.             | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 14. Спін-хвильова оптика. Дифракція та інтерференція спінових хвиль.                                 | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 15. Нелінійні розв'язки рівняння Ландау-Ліфшиця. Магнітні солітони.                                  | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 16. Магنونні кристали для обробки інформації.  | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 17. Доменні стінки, вихори та скірміони як перспективні носії бітів інформації.                      | 8          | 2         | 1         | 5         |
| Тема 18. Новітні напрямки досліджень в області магنونіки та спінтроніки.                                  | 8          | 2         | 1         | 5         |
| <b>Разом</b>  | <b>144</b> | <b>36</b> | <b>18</b> | <b>90</b> |
| <b>Залік</b>  | <b>6</b>   |           |           | <b>6</b>  |
| <b>Всього годин</b>   | <b>150</b> | <b>36</b> | <b>18</b> | <b>96</b> |

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова [1–5] Додаткова [6–10]

- [1] Ю. А. Куницький, В. В. Курилюк, Л. В. Ордорець, and І. Ю. Проценко, *Основи Спінтроніки: Матеріали, Прилади Та Пристрої* (Сум. держ. ун-т, Суми, 2013).
- [2] E. Y. Tsybmal and I. Žutić, *Spintronics Handbook: Spin Transport and Magnetism, Second Edition* (CRC Press, Second Edition. | Boca Raton : Taylor & Francis, CRC Press, 2018. |, 2019).
- [3] Evgeny Y. Tsybmal and Igor Žutić, *Spintronics Handbook: Spin Transport and Magnetism, Second Edition Semiconductor Spintronics—Volume Two*, Vol. 53 (CRC Press Taylor & Francis Group, 2019).
- [4] M. Hołyńska, *Introduction to Single-Molecule Magnets*, in *Single-Molecule Magnets* (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2018), pp. 1–39.
- [5] T. Schäpers, *Semiconductor Spintronics Thomas Schäpers* (Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2021).
- [6] T. Shinjo, *Nanomagnetism and Spintronics* (Amsterdam, The Netherlands, 2009).
- [7] В. Г. Барьяхтар, Б. А. Иванов, В. Н. Криворучко, and А. Г. Данилеви, *Современные Проблемы Динамики Намагниченности: От Основ До Сверхбыстрой Релаксации* (Химджест, Киев, 2013).
- [8] A. V. Chumak, A. A. Serha, and B. Hillebrands, *Magnonic Crystals for Data Processing* (arXiv:1702.06701, n.d.).
- [9] В. А. Стародуб, Т. Н. Стародуб, О. Н. Кажева, and В. И. Брегадзе, *Материалы Современной Электроники и Спінтроніки* (Физматлит, Москва, 2018).
- [10] I. Žutić, J. Fabian, and S. Das Sarma, *Spintronics: Fundamentals and Applications*, Rev. Mod. Phys. **76**, 323 (2004).

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційна частина забезпечується інформаційно-рецептивним методом, надаючи базу для використання репродуктивного методу та методу проблемного викладу на практичних заняттях.

#### Лекційні заняття

| № | Назва теми лекції та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)   |
|---|---|
| 1 | Лекція 1.<br>Тема 1. Спін електронів, ядер та атомів. Поняття про спінтроніку та магноніку.   |
| 2 | Лекція 2.<br>Тема 2. Спінові ефекти в твердотільних структурах. Гігантський магнітоопір. Тунельний магнітоопір. Передача спінового моменту від вільних носіїв заряду до магнітних атомів. Спіновий ефект Хола. Теплові спінові ефекти. Ефект Кондо.   |
| 3 | Лекція 3.<br>Тема 3. Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотільні структури. Інжекція через невідпрямлюючий контакт. Тунелювання через потенціальний бар'єр. Спінова фільтрація носіїв заряду з використанням низькорозмірних Структур.   |
| 4 | Лекція 4.<br>Тема 4. Транспорт спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках. Зміна орієнтації спіна електронів за механізмом Еліотта-Яфета. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Дьяконова-Переля. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Біра-Аронова-Пікуса. Зміна орієнтації спіна в результаті їх надтонкої взаємодії з ядрами атомів. Механізми релаксації спіна електронів в напівпровідниках. Особливості релаксації спіна електронів в низькорозмірних структурах. |
| 5 | Лекція 5.<br>Тема 5. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах. Оптичні методи. Електричні методи.   |
| 6 | Лекція 6.<br>Тема 6. Елементи обробки інформації на спінових ефектах. Датчики магнітних полів. Магнітна головка, що зчитує, на ефекті гігантського магнітоопору. Спінові транзистори. Енергонезалежна пам'ять на ефекті гігантського магнітоопору. Енергонезалежна пам'ять на основі спін-залежного тунелювання. Спінова логіка.  |
| 7 | Лекція 7.<br>Тема 7. Прилади спінтроніки. Спіновий діод. Двополюсні діодні структури. Трьохполюсні транзисторні структури. Структури з наведеним струмом переключенням  |

|    |   |
|----|---|
|    | <i>Намагніченості. Електронний спін-резонансний транзистор для квантових обчислень.</i>   |
| 8  | <i>Лекція 8.<br/>Тема 8. Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів та електронів у твердотільних структурах. Основи квантової обробки інформації. Квантовий біт інформації. Квантовий комп'ютер. Матеріали елементів для квантової обробки інформації на спінах електронів та ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації на спінах ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації на спінах електронів у квантових точках.</i> |
| 9  | <i>Лекція 9.<br/>Тема 9. Низькорозмірні молекулярні магніти і спітроніка.</i>   |
| 10 | <i>Лекція 10.<br/>Тема 10. Спін-орбітроніка.</i>  |
| 11 | <i>Лекція 11.<br/>Тема 11. Низькорозмірні молекулярні магніти і спітроніка.</i>   |
| 12 | <i>Лекція 12.<br/>Тема 12. Динаміка намагніченості. Спінові хвилі. Рівняння Ландау-Ліфшиця-Гілберта-Слончевського.</i>  |
| 13 | <i>Лекція 13.<br/>Тема 13. Граничні умови для рівняння Ландау-Ліфшиця на інтерфейсі між двома ферромагнетиками.</i>   |
| 14 | <i>Лекція 14.<br/>Тема 14. Спін-хвильова оптика. Дифракція та інтерференція спінових хвиль.</i>   |
| 15 | <i>Лекція 15.<br/>Тема 15. Нелінійні розв'язки рівняння Ландау-Ліфшиця. Магнітні солітони.</i>  |
| 16 | <i>Лекція 16.<br/>Тема 16. Магнетні кристали для обробки інформації.</i>  |
| 17 | <i>Лекція 17.<br/>Тема 17. Доменні стінки, вихори та скірміони як перспективні носії бітів інформації.</i>  |
| 18 | <i>Лекція 18.<br/>Тема 18. Новітні напрямки досліджень в області магнетоники та спітроніки.</i>   |

### **Практичні заняття**

*Основні завдання циклу практичних занять з кредитного модуля передбачають формування у аспірантів практичних навичок представлення результатів наукових досліджень.*

| <i>№</i> | <i>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</i>  |
|----------|---|
| 1        | <i>Практичне заняття 1.<br/>Тема 1. Спін електронів, ядер та атомів. Поняття про спітроніку та магнетонику.<br/>Тема 2. Спінові ефекти в твердотільних структурах. Гігантський магнітоопір. Тунельний магнітоопір. Передача спінового моменту від</i> |

|   |   |
|---|---|
|   | <i>вільних носіїв заряду до магнітних атомів. Спіновий ефект Хола. Теплові спінові ефекти. Ефект Кондо.</i>   |
| 2 | <i>Практичне заняття 2.<br/>Тема 3. Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотільні структури. Інжекція через невідпрямлюючий контакт. Тунелювання через потенціальний бар'єр. Спінова фільтрація носіїв заряду з використанням низькорозмірних структур.<br/>Тема 4. Транспорт спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках. Зміна орієнтації спіна електронів за механізмом Еліотта-Яфета. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Дьяконова-Переля. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Біра-Аронова-Пікуса. Зміна орієнтації спіна в результаті їх надтонкої взаємодії з ядрами атомів. Механізми релаксації спіна електронів в напівпровідниках. Особливості релаксації спіна електронів в низькорозмірних структурах.</i> |
| 3 | <i>Практичне заняття 3.<br/>Тема 5. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах. Оптичні методи. Електричні методи.<br/>Тема 6. Елементи обробки інформації на спінових ефектах. Датчики магнітних полів. Магнітна головка, що зчитує, на ефекті гігантського магнітоопору. Спінові транзистори. Енергонезалежна пам'ять на ефекті гігантського магнітоопору. Енергонезалежна пам'ять на основі спін-залежного тунелювання. Спінова логіка.</i>  |
| 4 | <i>Практичне заняття 4.<br/>Тема 7. Прилади спінтроніки. Спіновий діод. Двополюсні діодні структури. Трьохполюсні транзисторні структури. Структури з наведеним струмом переключенням Намагніченості. Електронний спін-резонансний транзистор для квантових обчислень.<br/>Тема 8. Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів та електронів у твердотільних структурах. Основи квантової обробки інформації. Квантовий біт інформації. Квантовий комп'ютер. Матеріали елементів для квантової обробки інформації на спінах електронів та ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації на спінах ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації на спінах електронів у квантових точках.</i>                                 |
| 5 | <i>Практичне заняття 5.<br/>Тема 9. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка.<br/>Тема 10. Спін-орбітроніка.</i>  |
| 6 | <i>Практичне заняття 6.<br/>Тема 11. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка.<br/>Тема 12. Динаміка намагніченості. Спінові хвилі. Рівняння Ландау-Ліфшиця-Гілберта-Слончевського.</i>   |
| 7 | <i>Практичне заняття 7.<br/>Тема 13. Граничні умови для рівняння Ландау-Ліфшиця на інтерфейсі між двома ферромагнетиками.<br/>Тема 14. Спін-хвильова оптика. Дифракція та інтерференція спінових хвиль.</i>   |

|   |  |
|---|--|
| 8 | <p>Практичне заняття 8.</p> <p>Тема 15. Нелінійні розв'язки рівняння Ландау-Ліфшиця. Магнітні солітони.</p> <p>Тема 16. Магнетні кристали для обробки інформації.</p>                                    |
| 9 | <p>Практичне заняття 9.</p> <p>Тема 17. Доменні стінки, вихори та скіріміони як перспективні носії бітів інформації.</p> <p>Тема 18. Новітні напрямки досліджень в області магнетіки та спінтроніки.</p> |

### **Контрольні роботи**

Метою контрольної роботи є перевірка вмінь аспірантів самостійно розв'язувати наукові задачі з магнетіки і спінтроніки, вмінь використання відповідних теоретичних, експериментальних методів та програмних продуктів.

Перевірка практичних навичок відбувається у вигляді контрольної роботи, завданнями до якої є складання презентації власних наукових досліджень в галузі магнетіки і спінтроніки. Перевірка знання теоретичного матеріалу на контрольних заходах відбувається у вигляді усних запитань викладача та відповідей аспіранта з окремих розділів програми.

### **6. Самостійна робота аспіранта**

| №  | Назва теми лекції та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)   |
|----|---|
| 1. | <p>СРС 1.</p> <p>Тема 1. Спін електронів, ядер та атомів. Поняття про спінтроніку та магнетіку.</p>   |
| 2. | <p>СРС 2.</p> <p>Тема 2. Спінові ефекти в твердотільних структурах. Гігантський магнітоопір. Тунельний магнітоопір. Передача спінового моменту від вільних носіїв заряду до магнітних атомів. Спіновий ефект Хола. Теплові спінові ефекти. Ефект Кондо.</p>   |
| 3. | <p>СРС 3.</p> <p>Тема 3. Інжекція спін-поляризованих носіїв заряду в твердотільні структури. Інжекція через невідправляючий контакт. Тунелювання через потенціальний бар'єр. Спінова фільтрація носіїв заряду з використанням низькорозмірних Структур.</p>   |
| 4. | <p>СРС 4.</p> <p>Тема 4. Транспорт спін-поляризованих носіїв заряду в напівпровідниках. Зміна орієнтації спіна електронів за механізмом Еліотта-Яфета. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Дьяконова-Переля. Зміна орієнтації спіна електрона за механізмом Біра-Аронова-Пікуса. Зміна орієнтації спіна в результаті їх надтонкої взаємодії з ядрами атомів. Механізми релаксації спіна електронів в напівпровідниках. Особливості релаксації спіна електронів в низькорозмірних структурах.</p> |
| 5. | <p>СРС 5.</p> <p>Тема 5. Визначення спінових характеристик вільних носіїв заряду в твердотільних структурах. Оптичні методи. Електричні методи.</p>   |



|     |  |
|-----|--|
| 6.  | <i>СРС 6.<br/>Тема 6. Елементи обробки інформації на спінових ефектах. Датчики магнітних полів. Магнітна голівка, що зчитує, на ефекті гігантського магнітоопору. Спінові транзистори. Енергонезалежна пам'ять на ефекті гігантського магнітоопору. Енергонезалежна пам'ять на основі спін-залежного тунелювання. Спінова логіка.</i>  |
| 7.  | <i>СРС 7.<br/>Тема 7. Прилади спінтроники. Спіновий діод. Двополюсні діодні структури. Трьохполюсні транзисторні структури. Структури з наведеним струмом переключенням<br/>Намагніченості. Електронний спін-резонансний транзистор для квантових обчислень.</i>   |
| 8.  | <i>СРС 8.<br/>Тема 8. Квантова обробка інформації з використанням спінів ядер атомів та електронів у твердотільних структурах. Основи квантової обробки інформації. Квантовий біт інформації. Квантовий комп'ютер. Матеріали елементів для квантової обробки інформації на спінах електронів та ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації на спінах ядер атомів. Елементи для квантової обробки інформації на спінах електронів у квантових точках.</i> |
| 9.  | <i>СРС 9.<br/>Тема 9. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка.</i>  |
| 10. | <i>СРС 10.<br/>Тема 10. Спін-орбітроніка.</i>  |
| 11. | <i>СРС 11.<br/>Тема 11. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка.</i>  |
| 12. | <i>СРС 12.<br/>Тема 12. Динаміка намагніченості. Спінові хвилі. Рівняння Ландау-Ліфшиця-Гілберта-Слончевського.</i>  |
| 13. | <i>СРС 13.<br/>Тема 13. Граничні умови для рівняння Ландау-Ліфшиця на інтерфейсі між двома ферромагнетиками.</i>   |
| 14. | <i>СРС 14.<br/>Тема 14. Спін-хвильова оптика. Дифракція та інтерференція спінових хвиль.</i>   |
| 15. | <i>СРС 15.<br/>Тема 15. Нелінійні розв'язки рівняння Ландау-Ліфшиця. Магнітні солітони.</i>  |
| 16. | <i>СРС 16.<br/>Тема 16. Магنونні кристали для обробки інформації.</i>  |
| 17. | <i>СРС 17.<br/>Тема 17. Доменні стінки, вихори та скірміони як перспективні носії бітів інформації.</i>  |
| 18. | <i>СРС 18.<br/>Тема 18. Новітні напрямки досліджень в області магنونіки та спінтроники.</i>  |

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять (згідно розкладу і згідно загально-університетського розпорядку);
- правила поведінки на заняттях (активність на практичних заняттях є обов'язковою, бали за активність на практичних заняттях не ставляться, відключення телефонів є обов'язковим);
- правила захисту індивідуальних завдань (тестування <https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap>);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів (штрафні бали не призначаються, заохочувальні бали призначаються суворо згідно підрозділу 8 цього силабусу);
- політика дедлайнів та перескладань (згідно загально-університетського розпорядку);
- політика щодо академічної доброчесності (згідно загально-університетського розпорядку);
- Аспірант зобов'язаний зареєструватися на платформі дистанційного навчання Google Workspace for Education Fundamentals (в минулому G Suit For Education) на домені @LLL.kpi.ua та приєднатися до Google Класу «Спінтроніка та магنونіка» за посиланням <https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap>. Для цього аспіранту необхідно спочатку отримати акаунт в Google Workspace for Education Fundamentals на домені @LLL.kpi.ua. Для отримання акаунта в Google Workspace for Education Fundamentals на домені @LLL.kpi.ua необхідно заповнити Google Форму: [https://sikorsky-distance.kpi.ua/reg\\_gsuite/](https://sikorsky-distance.kpi.ua/reg_gsuite/). Після реєстрації та модерації заявки аспіранта, адміністратор надішле аспіранту на пошту пароль та логін до акаунту, з яким аспірант зможе використовувати всі доступні інструменти та сервіси Google Workspace for Education Fundamentals. Google Workspace for Education Fundamentals – це пакет спеціалізованого хмарного програмного забезпечення, інструментів для спільної роботи та дистанційного навчання від компанії Google. Основна складова пакету – система управління навчанням Google Клас, яка дозволяє викладачу створювати навчальні класи, оцінювати завдання, надавати учням зворотній зв'язок, публікувати оголошення і поширювати навчальні матеріали. Викладач може бачити, хто виконав завдання, а хто ще продовжує над ним працювати, а також читати питання і коментарі учнів. Для приєднання до навчального курсу «Спінтроніка та магنونіка» аспіранту потрібно перейти у Google Клас за посиланням <https://classroom.google.com>, натиснути зображення «+» у верхньому правому кутку браузера, вибрати «Приєднатися до класу» та ввести код курсу d2pl3ap. Акаунти аспірантів, які приєдналися до Google Класу не з акаунта на домені @LLL.kpi.ua, будуть вилучатися з навчального курсу «Спінтроніка та магنونіка» Google Класу тому, що автоматичний імпорт оцінок за тестування можливий виключно з акаунта на домені @LLL.kpi.ua. Система Google Клас автоматично надсилає кожному аспіранту бали по кожному з видів контролю на електронну пошту. Тому для ознайомлення з балами за кожен окремий вид контролю аспіранту необхідно змінити налаштування електронної пошти так, щоб ці електронні листи не потрапляли у спам. Всі виконані завдання для перевірки викладачем аспірант повинен завантажувати через систему Google Клас (результати виконання завдань, надіслані через телеграм канал перевіряються не будуть);
- Листування із аспірантами з організаційних питань буде здійснюватися через телеграм-канал «Спінтроніка та магنونіка» <https://t.me/+xDMv23GOfE9hNmM6> та телеграм-чат «Спінтроніка та магنونіка» [https://t.me/+nnveHt\\_5hxc3MTly](https://t.me/+nnveHt_5hxc3MTly).

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: тести

Календарний контроль: контроль виконання самостійної роботи та завдань практичних занять проводиться двічі на семестр у формі тестів як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Рейтинг аспірантів ФМФ з «Спінтроники та магноники» складається з балів, які вони отримують за:

- 1) МКР
- 2) Практичні заняття

Аспірантам, які успішно здали МКР (модульна контрольна робота) та розв'язують задачі на практичних заняттях, можуть нараховуватися за семестр максимум 100 балів. Оцінювання МКР та оцінювання вміння розв'язувати задачі на практичних заняттях здійснюватиметься оцінюванням результатів тестування на платформі дистанційного навчання Google Workspace for Education Fundamentals на домені @LLL.kpi.ua в системі Google Клас за посиланням <https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap>. МКР складається з одного тесту 50 балів максимум. Оцінювання вміння розв'язувати задачі на практичних заняттях складається з двох тестів по 25 балів максимум за кожен тест. Кожен з тестів можливо пройти тільки один раз. Відповідно перед кожною атестацією, а також в кінці семестру всі набрані студентом бали в Google Класі будуть вноситись до системи АІС «Електронний кампус» КПІ імені Ігоря Сікорського.

Необхідною умовою допуску до заліку із «Спінтроники та магноники» є задовільне виконання МКР (не менше 25 балів), задовільні вміння розв'язання задач на практичних заняттях (не менше 25 балів), а також сумарний стартовий рейтинг не менше 50 балів.

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

Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

Сума вагових балів контрольних заходів зі «Спінтроники та магноники» протягом семестру складає  $R_c = 100$  балів.

Рейтингова шкала з спінтроники та магноники складає  $R_D = R_c = 100$  балів.

Якщо аспірант протягом семестру набрав не менше 60 балів, він отримує залік автоматом.

Для виставлення оцінок до залікової книжки рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

| Кількість балів                            | Оцінка       |
|--|--------------|
| 95-100                                     | Відмінно     |
| 85-94                                      | Дуже добре   |
| 75-84                                      | Добре        |
| 65-74                                      | Задовільно   |
| 60-64                                      | Достатньо    |
| Менше 60                                   | Незадовільно |
| Не виконані інші умови допуску до екзамену | Не допущено  |

Якщо ж аспірант протягом семестру набрав менше 60 балів, він має скласти залікову контрольну роботу у вигляді тесту на платформі дистанційного навчання Google Workspace for Education Fundamentals на домені @LLL.kpi.ua в системі Google Клас за посиланням <https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap>, ваговий коефіцієнт якої складає 100 балів. При цьому, стартовий рейтинг не враховується. Кількість балів, набраних на заліковій контрольній роботі, переводиться в

оцінку за тою ж шкалою. Якщо аспірант набрав протягом семестру 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, він може це зробити шляхом складання залікової контрольної роботи у вигляді тесту на платформі дистанційного навчання Google Workspace for Education Fundamentals на домені @LLL.kpi.ua в системі Google Клас за посиланням <https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap>, ваговий коефіцієнт якої складає 100 балів. При цьому, стартовий рейтинг не враховується.

#### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль наведено в тестах в системі дистанційного навчання Google Клас <https://classroom.google.com/c/NDQ5MTcyNDA1NDky?cjc=d2pl3ap>;
- Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у Наказі № 7-177 від 01.10.2020 р. «Про затвердження положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** професором кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів, д.ф.-м.н., професором Горобець О.Ю.

**Ухвалено** кафедрою загальної фізики та моделювання фізичних процесів (протокол № 06-23 від 07.06.2023).

**Погоджено** Методичною комісією Фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 27.06.2023).