



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи

В.Л. Шаран

ініціали та прізвище

17 вересня 2019 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Математичні методи квантової механіки

Назва

Галузь знань 10 Природничі науки
 Спеціальність 104 «Фізика та астрономія»
 Освітня програма «Фізика та астрономія»
 Статус дисципліни Вибіркова
 Навчально-науковий інститут фізики, математики, економіки та інноваційних технологій
 Кафедра фізики
 Мова навчання українська
 Дані про вивчення дисципліни

Форма навчання	Курс	Семестр	Обсяг дисципліни: год / кредити ЄКТС	Кількість годин						Курсова робота	Вид семестрового контролю	
				Аудиторні заняття					Самостійна робота		Залік	Екзамен
				Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття	Семінарські заняття				
Денна	2	3	120 / 4	46	16	–	30	–	74	–	–	+

Робоча програма складена на основі освітньої програми та навчального плану підготовки докторів філософії (240 кредитів ЄКТС).

Розробили:

Р.Я. Лешко, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри

фізики

Підпис

Ініціали та прізвище викладача, науковий ступінь та вчене звання

Погоджено керівником групи забезпечення спеціальності:

Пелешак Роман Михайлович, доктор фізико-математичних наук, професор

Підпис

Ініціали та прізвище, науковий ступінь та вчене звання

Схвалено на засіданні кафедри фізики.

Протокол № 8 від 30 серпня 2019 р.

Завідувач кафедри

Підпис

Р.М. Пелешак

Ініціали та прізвище

Схвалено на засіданні науково-методичної ради навчально-наукового інституту фізики, математики, економіки та інноваційних технологій.

Протокол № 6 від 02 09 2019 р.

Схвалено на засіданні науково-методичної ради університету.

Протокол № 7 від 14 09 2019 р.

1. МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета: сформувати в аспірантів фундаментальні знання щодо основних та найбільш важливих методів квантової механіки, її математичного апарату для опису квантовомеханічних систем.

Предмет: основні поняття, принципи, методи математичного апарату квантової механіки.

Завдання:

- вивчити основні методи математичного апарату квантової механіки;
- забезпечити освоєння аспірантами теоретичних концепцій та методології побудови математичної моделі розглядуваних задач;
- викласти математичний апарат квантової механіки ;
- виробити в аспірантів уміння та навички застосовувати основні прийоми квантової механіки до описання процесів у різних системах;
- виробити уміння комп'ютерного моделювання та комп'ютерного розв'язування прикладних задач за допомогою СКМ;
- поглибити уявлення аспірантів про застосування інформаційних технологій до квантовомеханічних задач;
- формувати в аспірантів сучасний науковий світогляд, уміння розв'язувати теоретичні, методологічні, світоглядні задачі сучасної науки.

У результаті вивчення дисципліни “Математичні методи квантової механіки” аспірант повинен оволодіти такими **компетентностями**:

Загальні компетентності:

1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
2. Знання та розуміння предметної області та розуміння предметної діяльності.
3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними та новітніми знаннями.
4. Здатність проведення досліджень на високому рівні та генерування нових ідей.
5. Вміння виявляти, ставити та вирішувати актуальні проблеми.
6. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
7. Здатність працювати в міжнародному контексті.
8. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня.
9. Здатність усвідомлювати професійні етичні аспекти фізичних досліджень, дотримуватися принципів академічної доброчесності.
10. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
11. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо, нести повну відповідальність за самостійно виконану роботу.
12. Здатність до критичної оцінки сучасних наукових досліджень і генерування нових ідей при вирішенні дослідницьких і практичних завдань.
13. Здатність працювати автономно, розробляти та управляти проектами чи працювати у команді.

Фахові компетентності:

1. Глибокі концептуальні знання та розуміння найбільш актуальних проблем та досягнень у різних галузях сучасної фізики та астрономії.
2. Здатність користуватися основними джерелами наукової інформації, у тому числі базами даних та науковими публікаціями.
3. Здатність здійснювати огляд сучасних публікацій в періодичних виданнях за однією із тем з фізики та астрономії.
4. Здатність встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів.
5. Здатність робити наукові узагальнення та осмислення результатів наукових досліджень, співвідносити висновки із положеннями сучасних фізичних або астрономічних теорій.
6. Здатність розуміти та застосовувати математичні та числові методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних процесів та систем.
7. Здатність до теоретичних та експериментальних досліджень оптичних властивостей напівпровідників і діелектриків.
8. Здатність застосовувати на практиці теорію релаксаційних процесів у квантових гетеросистемах / знання магнітних властивостей наноструктур.
9. Здатність аналізувати фізичні явища у напружених низько розмірних наногетеросистемах, будувати та аналізувати математичні моделі напружених наногетеросистем, використовуючи процедури формального уявлення про систему та дані експериментальних досліджень.
10. Здатність визначати основні електронні характеристики наногетеросистем у межах теоретичних моделей.
11. Здатність аналізувати явища, що протікають в сучасних оптоелектронних приладах.
12. Здатність оцінювати можливість застосування того чи іншого фізичного явища для побудови приладу оптоелектронної техніки.
13. Здатність аналізувати можливості практичного застосування напівпровідникових квантових структур і надграток в опто-, мікро-, та наноелектроніці.

Програмні результати навчання:

1. Вміти використовувати існуючі та проєктувати і запроваджувати інноваційні технології навчання фізики.
2. Вміти отримати теоретичний чи експериментальний результат у рамках обмеженого часу з наголосом на професійну сумлінність та відсутність плагіату.
3. Вміння аналізувати структуру наукового знання, основних його рівнів, методів та форм, а також сучасних проблем фізики, астрономії та філософії науки.
4. Вміти знаходити в інформаційних джерелах, в тому числі за допомогою інформаційних технологій та баз даних, правову, статистичну та

інформацію, щодо інтелектуальної власності та використовувати її у професійній діяльності.

5. Знати методи дослідження оптичних властивостей напівпровідників і діелектриків.
6. Знати квантування енергетичного спектру електронів в сильних магнітних полях.
7. Знати механізми фізичних процесів, що протікають в напівпровідниках та нанорозмірних структурах.
8. Знати оптичні характеристики основних напівпровідників та наноматеріалів.
9. Вміти пояснити залежність оптичних характеристик та параметрів від властивостей матеріалів, в тому числі і розмірних.
10. Знати класифікацію наногетеросистем та їх фізичні властивості.

2. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна “Математичні методи квантової механіки” вивчається після таких дисциплін: “Оптичні властивості напівпровідників та діелектриків” та “Фізика напружених низькорозмірних наносистем”.

3. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

У результаті вивчення цієї навчальної дисципліни аспіранти повинні

знати:

- основні поняття і терміни квантової механіки;
- методи моделювання квантовомеханічних процесів;
- квантовомеханічні моделі для характерних фізичних процесів;
- числові та аналітичні методи аналізу рівнянь Шредінгера, Дірака, що описують фізичні процеси і системи;

вміти:

- сформулювати основні математичні методи квантової механіки ;
- отримати розв'язки рівняння Шредінгера для різноманітних систем ;
- розв'язувати модельні квантовомеханічні задачі;
- визначати проводити різного роду перетворення оператора Гамільтона;
- розпізнавати шаблонні задачі та зводити складні задачі до шаблонних.

4. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Оцінювання здійснюється за шкалами оцінювання: ЄКТС, стобальною і національною.

A (90 – 100 балів) – відмінні знання та уміння лише з незначною кількістю несуттєвих помилок: отримує аспірант, який виявляє глибокі системні знання математичних методів квантової механіки; володіє високим рівнем

узагальнення та систематизації програмного матеріалу; дає точне визначення і тлумачення основних понять, законів і теорій; вільно застосовує теоретичні знання для розв'язування прикладних задач; виконує завдання самостійно за власним планом; вільно застосовує міждисциплінарні підходи при критичному осмисленні математичних проблем; застосовує принципи, методи та організаційні процедури дослідницької діяльності; вміє проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових ідей; вміє використовувати математичні методи при аналізі задач на предмет коректності та дослідженні зв'язків між математичними структурами; вміє оцінити адекватність математичної моделі об'єкту за допомогою аналітичного дослідження та імітаційного моделювання; грамотно представляє та обґрунтовує результати теоретичних та прикладних математичних досліджень; використовує сучасне математичне програмне забезпечення при проведенні теоретичних досліджень, для підтвердження теоретичних результатів і висунення гіпотез; вільно розв'язує задачі різної складності; виконав усі види навчальної роботи.

В (82 – 89 балів) – *вище середнього рівня з кількома помилками*: отримує аспірант, знання та уміння якого відповідають вимогам програми; який вільно володіє навчальним матеріалом, застосовує отримані знання на практиці, однак, допускає неточності й не завжди може застосувати знання для розв'язання принципово нової для нього задачі; знає і розуміє фундаментальні та прикладні аспекти різних розділів математики; міцно засвоїв математичні концепції, методи системного аналізу і математичного моделювання; знає методологічні принципи та методи наукового дослідження задач квантової механіки; застосовує сучасні інформаційно-комунікаційні технології при розв'язуванні синергетичних задач; вміє визначати міждисциплінарний характер наукових проблем; володіє міцними знаннями щодо побудови, дослідження та аналізу математичних моделей фізичних процесів і явищ з використанням методів геометрії та топології, інтегральних та диференціальних рівнянь, математичної фізики, математичного аналізу, але розв'язує задачі з незначними помилками; виконав усі види навчальної роботи.

С (75 – 81 бал) – *в цілому ґрунтовні системні знання з невеликою кількістю суттєвих помилок*: отримує аспірант, який виявив ґрунтовні й міцні знання програмного матеріалу; володіє усіма необхідними уміннями й навичками; орієнтується в сучасних методах аналізу фізичних процесів, однак, допускає суттєві неточності; в цілому самостійно застосовує теоретичні знання на практиці; робить певні узагальнення; вільно розв'язує репродуктивні задачі; однак, при розв'язуванні пошукових та творчих задач зустрічається чимало неточностей або суттєва помилка; самостійно проводить дослідження нелінійних моделей фізичних процесів; досліджує стійкість нелінійних фізичних процесів до просторових збурень, але робить невелику кількість суттєвих помилок; немає глибокого розуміння фізичного змісту використаних понять; уміє інтерпретувати отримані розв'язки задачі та робити висновки; виконав усі види навчальної роботи.

D (67 – 74 бали) – *непогано, але зі значною кількістю недоліків*: отримує аспірант за знання і розуміння тільки основного програмного матеріалу; відтворює матеріал у спрощеній формі; може продемонструвати зв'язок між окремими теоретичними закономірностями та розв'язує нескладні репродуктивні задачі; вміє формулювати основні висновки та робити узагальнення, але допускає при цьому суттєві помилки і неточності; слабо володіє методами аналізу квантовомеханічних процесів; має неповні знання щодо чисельних методів; виявляє слабку обізнаність з міжпредметними зв'язками даної дисципліни; недостатньо орієнтується в теоретико-методологічних засадах розв'язування задач синергетики і не завжди може використати теоретичні знання на практиці; відчуває труднощі під час розв'язування прикладних задач; з допомогою викладача здатен інтерпретувати, аналізувати та оцінювати отримані розв'язки задачі; виконав усі види навчальної роботи.

E (60 – 66 балів) – *знання та уміння задовольняють мінімальним критеріям*: отримує аспірант, знання та уміння якого задовольняють мінімальним критеріям відповідно до програми; який може відтворити більше половини навчального матеріалу на репродуктивному рівні з елементами логічних зв'язків; володіє елементарними уміннями та навичками; може розв'язати просту репродуктивну задачу; погано орієнтується в основних поняттях, принципах, методах синергетики; допускає суттєві неточності; допускає грубу помилку, аналізуючи побудовану модель задачі; з допомогою викладача здатен інтерпретувати отримані результати та робити висновки; виконав усі види семестрової навчальної роботи, але зі значними недоліками.

FX (35 – 59 балів) – *незадовільні знання з можливістю повторного складання екзамену*: отримує аспірант за поверхневе знання і розуміння основного програмного матеріалу; непослідовний виклад матеріалу з допущенням суттєвих помилок; який не вміє робити узагальнення та висновки; не вміє застосовувати теоретичні знання при розв'язуванні прикладних задач; необізнаний в питаннях, винесених на самостійне опрацювання; не орієнтується в методах моделювання процесів самоорганізації складних систем, не володіє математичним апаратом квантової механіки; не вміє застосовувати методи розв'язування задач на практиці; не виконав усіх видів навчальної роботи.

F (0 – 34 бали) – *з обов'язковим повторним курсом*: виставляється у випадку, коли аспірант володіє лише окремими поняттями, фрагментарними знаннями програмного матеріалу без жодного взаємозв'язку між ними; за відсутності сформованих умінь та навичок, що унеможливило б побудову ним математичної моделі задачі, розв'язування прикладних задач; при цьому ж аспірант не виконав усіх видів навчальної роботи.

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

- контрольні роботи;
- захист індивідуального навчально-дослідницького завдання.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Математичні основи квантової механіки.

- 1.1 Простір станів. Оператори.
- 1.2. Представлення векторів станів та операторів.
- 1.3. Властивості власних значень і власних векторів ермітових операторів.
- 1.4. Унітарні перетворення.
- 1.5 Постулат про вимірювання у квантовій механіці.
- 1.6. Середні значення фізичних величин. Чистий ансамбль станів.
- 1.7 Змішаний ансамбль станів. Матриця густини.
- 1.8. Квантова дужка Пуассона.
- 1.9. Динаміка квантової системи.
- 1.10. Динаміка квантової системи. Змішаний ансамбль.
- 1.11. Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.
- 1.12. Вимірювання в чистому та змішаному ансамблях.

2. Наближені методи квантової механіки.

- 2.1. Варіаційний метод Рітца.
- 2.2. Теорія збурень.
 - 2.2.1. Стаціонарна теорія збурень
 - 2.2.2. Вироджений і невироджений випадок теорії збурень
 - 2.2.3. Нестационарна теорія збурень
- 2.3. Метод унітарних перетворень.
- 2.4. Модель з неаналітичною залежністю енергії від константи взаємодії

3. Квантова механіка багатьох частинок

- 3.1. Тотожність частинок.
- 3.2. Метод самоузгодженого поля Хартрі-Фока
- 3.3. Застосування статистичного методу Томаса-Фермі.
- 3.4. Метод Хіллерааса для багатьох частинок.
- 3.5. Розрахунок багатоелектронних атомів.

4. Метод матриці густини

- 4.1. Властивості матриці густини.
- 4.2. Матриця густини у статистичній механіці.
- 4.3. Теорія збурень для матриці густини. Рівняння руху.
- 4.4. Лінійний відклик системи на зовнішній вплив:
 - 4.4.1. Особливості дворівневої системи;
 - 4.4.2 Ітераційний метод розв'язання рівнянь для матриці густини.
- 4.5. Застосування матриці густини до реальних систем і процесів:
 - 4.5.1 Лінійне поглинання світла, лінійна дисперсія;
 - 4.5.2 Нелінійні оптичні ефекти.

5. Релятивістські та квазірелятивістські методи квантової механіки

- 5.1. Релятивістське рівняння руху частинки з нульовим спіном та її рух.
- 5.2. Вільний рух частинки з нульовим спіном у зображенні Фешбаха-Вілларса.
- 5.3. Інтеграли руху та власні значення операторів в релятивістській теорії.
- 5.4. Релятивістське рівняння Дірака, його коваріантний запис.
- 5.5. Релятивістські поправки руху електрона у електромагнітному полі.
- 5.6. Спін-орбітальна взаємодія.
- 5.7. Зарядове спряження. Частинки та античастинки.
- 5.8. Рівняння Дірака для частинок з нульовою масою спокою. Нейтрино.

6. Методи вторинного квантування

- 6.1. Вторинне квантування електромагнітного поля без зарядів.
- 6.2. Фотони з визначеним моментом і парністю.
- 6.3. Квазічастинки у системі бозонів, що не взаємодіють.
- 6.4. Зображення чисел заповнення для ферміонів, що не взаємодіють.
- 6.5. Системи ферміонів, що взаємодіють парними силами. Канонічне перетворення Боголюбова.

7. Квантовомеханічні методи обчислення зонної структури твердих тіл

- 7.1. Адиабатичне наближення
- 7.2. Одноелектронне наближення Хартрі-Фока.
- 7.3. Метод майже вільних електронів.
- 7.4. Метод сильного зв'язку.
- 7.5. Метод приєднаних плоских хвиль.
- 7.6. Метод ортогоналізованих плоских хвиль.
- 7.7. Метод псевдопотенціалу
- 7.8. *KP*-метод.

Тематика практичних занять

1. Різні зображення операторів фізичних величин.
2. Середні значення фізичних величин. Чисті та змішані стани
3. Метод Рітца для модельних задач.
4. Застосування стаціонарної теорії збурень.
5. Раптове вмикання збурень. Ймовірність переходів за одиницю часу.
6. Дворівнева система у електромагнітному полі. Коефіцієнт поглинання.
7. Релятивістський розрахунок атома водню.
8. Рівняння Паулі і поправки до енергії атома водню.
9. Гамільтоніан електрона, що взаємодіє з електромагнітним полем у зображенні вторинного квантування.
10. Розрахунок зонної структури бездефектних кристалів.

7. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальні завдання (ІЗ) – це частина навчального матеріалу з дисципліни, що має на меті поглибити, узагальнити та закріпити знання, отримані аспірантами у процесі навчання, а також застосування цих знань на практиці.

Звіт про виконання ІЗ повинен містити титульну сторінку (згідно зразка) та змістове наповнення до 10 аркушів. Звіт про виконання ІЗ – це завершена робота теоретичного характеру, яка містить систематизований чітко викладений матеріал за обраною темою на основі спеціально підібраної літератури. ІЗ подається викладачу не пізніше, ніж за два тижні до останнього заняття.

Критерії оцінювання індивідуального завдання: повнота розкриття теми у роботі – 16 балів, якість мовного оформлення – 2 бали, якість бібліографічного опису – 2 бали.

Теми індивідуальних завдань:

1. Чисельні методи розв'язання рівняння Шредінгера.
2. Математична одомірного кристалу. Його зонна структура.
3. Математична двомірного кристалу. Його зонна структура.
4. Розрахунок атома літію методом Хартрі-Фока.
5. Коефіцієнт поглинання і показник заломлення у рамках моделі матриці густини.
6. Розрахунок кристалу методом псевдопотенціалу.
7. Електрон-фононна взаємодія.
8. Розрахунок кристалу методом сильного зв'язку.

8. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота аспіранта з дисципліни передбачає опрацювання теоретичного матеріалу, виконання завдань у межах кожної теми робочої програми, підготовку до контрольних робіт та захисту індивідуального навчально-дослідницького завдання.

Перелік завдань для самостійної роботи аспірантів:

1. Проаналізувати розв'язки багатеелектронних атомів пертурбаційними методами.
2. Застосувати метод Хіллерааса до атома літію.
3. Дослідити математичну модель, яка описує поглинання світла.
4. Проаналізувати релятивістські поправки до простих атомів.
5. Дослідити власні стани і власні функції сферичного спінора.
6. Отримати гамільтоніан електрон-фононої взаємодії з різними типами фононів у зображенні вторинного квантування.
7. Розрахувати кристал методом слабого зв'язку.
8. Дослідити *KP*-методом кристали кубічної симетрії.

9. ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Засвоєння аспірантами матеріалу з дисципліни перевіряється контрольними роботами та виконанням індивідуального завдання. Також аспіранти повинні бути готовими до експрес-контролю на практичних заняттях (фронтальне опитування, співбесіда, письмовий тест). Поточний контроль знань здійснюється з метою перевірки рівня підготовленості аспіранта до практичного заняття та рівня засвоєння ним навчального матеріалу. Вивчення дисципліни завершується екзаменом.

Контроль знань проводиться протягом терміну, визначеного навчальним графіком для складання заліків та екзаменів, у вигляді письмового виконання завдань та співбесіди з викладачем. Завдання охоплюють весь програмний матеріал дисципліни “Математичні методи квантової механіки”.

Сумарна кількість балів з дисципліни визначається як сума балів з усіх видів навчальної роботи і виставляється за трьома шкалами оцінювання: стобальною, національною і ЄКТС.

Екзамен за талонами № 2 і К проводиться в письмовій формі з оцінюванням за стобальною шкалою. Завдання охоплюють весь програмний матеріал даної навчальної дисципліни.

Контрольні роботи, окрім тестових завдань, обов’язково передбачають теоретичні дослідження та вміння аспіранта застосовувати теоретичні знання для розв’язування прикладних задач. У контрольній роботі зазначається кількість балів за правильне виконання кожного з її завдань з урахуванням їх складності, обсягу та значущості в засвоєнні дисципліни.

Розподіл 100 балів між видами робіт:

Поточний контроль та самостійна робота				Сума
Контрольні роботи (КР)			Індивідуальне завдання	
Тема 1-3	Тема 4-5	Тема 6-7		
КР 1	КР 2	КР 3	ІЗ	
20	30	30	20	

10. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для захисту індивідуальних завдань аспірантам необхідна програма підготовки презентацій Microsoft PowerPoint, мультимедійний проектор. На практичних використовується СКМ для проведення чисельних розрахунків та аналітичних перетворень

11. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Рекомендована література

Основна

1. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. М.: Наука, 1976. - 664 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие для вузов. В 10 т. Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория) — 4-е изд., испр.—М.: Наука. Гл. Ред. физ-мат. лит., 1989. - 768 с.
3. Давыдов А.С. Квантовая механика. М. «Наука», 1973. — 704 с.
4. Хакен Х. Квантовополевая теория твердого тела – М. : «Наука», 1980. – 341 с.
5. Фейнман Р. Статистическая механика – М. : «Мир», 1975. – 407 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие для вузов. В 10 т. Т. IV. Квантовая электродинамика — 4-е изд., испр. — М.: Наука. Гл. Ред. физ-мат. лит., 1989. - 728 с.

Допоміжна

1. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул (электронные оболочки). — М. : Высшая школа, 1979. — 407с.
2. Бете Г. Квантовая механика. — М.: Мир, 1968. — 333с.
3. Конноли Дж.. Полуэмпирические методы расчета электронной структуры. — М.: Мир. 1980, — т. 1, 471.
4. Гречко Л. Г., Сучаков В.Й., Томасевич О.Ф., Федорченко Л.М. Сборник задач по теоретической физике, 1972

Інформаційні ресурси

1. Електронний архів наукових та освітніх матеріалів КПІ ім. Ігоря Сікорського: <http://ela.kpi.ua/>
2. Науковий репозитарій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича:
<http://www.library.chnu.edu.ua/index.php?page=/ua/04fondy>
3. Електронний науковий архів Науково-технічної бібліотеки Національного університету “Львівська політехніка”: <http://ena.lp.edu.ua:8080/>

4. Мультидисциплінарний відкритий електронний архів ELibUkr-OA:
<http://oa.elibukr.org/>