

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

Микола ШУЛЬГА

« 30 »

2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Деякі питання електродинаміки високих енергій у речовині та
високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

Доктор філософії

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

104 фізика та астрономія

освітня програма

освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»

спеціалізація

вид дисципліни

за вибором

Інститут

Інститут теоретичної фізики ННЦ
«Харківський фізико-технічний інститут»

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від "29" 11 2022 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф.-м.н., ст. досл. Ігор КИРИЛЛІН

д.ф.-м.н., ст. досл. Сергій ТРОФИМЕНКО

Програму схвалено на засіданні Вченої ради Інституту теоретичної
фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

від "19" 09 2022 року, протокол № 4

т.в.о. директора Інституту теоретичної фізики ННЦ «Харківський
фізико-технічний інститут»

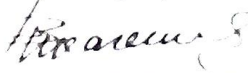

(п.п.мс)

Леонід ДАВИДОВ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(п.п.мс)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Деякі питання електродинаміки високих енергій у речовині та високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом третього року навчання.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни є засвоєння аспірантами теорії високопродуктивних обчислень на системах як зі спільною, так і з розподіленою пам'яттю та отримання практичних навичок з написання паралельних програм із застосуванням бібліотек багатопотокових розрахунків. Також метою є оволодіння аспірантами методами теоретичного опису електродинамічних процесів, що мають місце при проходженні частинок високих енергій крізь аморфні та кристалічні середовища.

1.1 Основними завданнями вивчення дисципліни «Деякі питання електродинаміки високих енергій у речовині та високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці» є

(1) оволодіння знаннями, необхідними для проведення високопродуктивних обчислень;

(2) отримання практичних навичок з написання паралельних програм із застосуванням бібліотек багатопотокових розрахунків;

(3) засвоєння основних характеристик та методів опису процесу іонізаційних втрат енергії релятивістських частинок у речовині;

(4) засвоєння базових властивостей фізичних процесів, які покладено в основу роботи сучасних джерел електромагнітного випромінювання на основі релятивістських частинок, як-от синхротрони, ондулятори та лазери на вільних електронах;

(5) опанування методів теоретичного опису процесів електромагнітного випромінювання при взаємодії частинок високих енергій із речовиною, а саме: перехідного, дифракційного, характеристичного і параметричного рентгенівського випромінювання, випромінювання Сміта-Парселла.

1.2.1. Формування інтегральних компетентностей

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та інноваційної діяльності у сфері фізики, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

1.2.2 Формування наступних загальних компетентностей

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.3. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

СК10. Компетентність у сфері фізики взаємодії частинок високих енергій із речовиною.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Деякі питання електродинаміки високих енергій у речовині та високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	
спеціальність	104 – фізика та астрономія
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Мова навчання	Українська
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибір ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	залік
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	III
Лекційні заняття	32
Практичні заняття	16
Самостійна робота	70

Консультації	2
--------------	---

1.6 Передумови для вивчення дисципліни.

Знання аспірантами класичної електродинаміки, спеціальної теорії відностності і квантової механіки в межах стандартних університетських курсів. Вміння створювати комп'ютерні програми мовою C та володіння методами наближених розрахунків.

1.7. Заплановані результати навчання

Під час вивчення дисципліни аспіранти набувають теоретичних знань та практичних навичок з таких питань: поняття паралельного алгоритму вирішення математичних та фізичних задач, створення паралельного алгоритму та його реалізація у вигляді багатопотокових комп'ютерних програм із застосуванням стандартів POSIX Threads, OpenMP, MPI та OpenCL, реалізація вказаних стандартів у програмах, написаних мовою C. Аспіранти мають оволодіти методами теоретичного опису і обчислення основних характеристик наступних процесів за участю релятивістських частинок: іонізаційні втрати енергії, перехідне, дифракційне, характеристичне, параметричне рентгеновське випромінювання, випромінювання Сміта-Парселла.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

RH01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з фізики та астрономії 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.

RH04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у фізиці (астрономії) та дотичних міждисциплінарних напрямках.

RH41. Вміти створювати паралельні програми з застосуванням бібліотек багатопотокових розрахунків та обчислювати основні характеристики процесів за участю частинок високої енергії, пов'язаних із іонізаційними втратами енергії, перехідним, дифракційним, синхротронним, ондуляторним, характеристичним і параметричним рентгеновським випромінюванням та випромінюванням Сміта-Парселла.

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

- основні етапи розробки паралельних програм;
- основні парадигми паралельного програмування;
- принципи побудови паралельних алгоритмів вирішення математичних та фізичних задач;

- основні проблеми, які виникають при створенні паралельних програм для систем зі спільною та розподіленою пам'яттю та шляхи їх вирішення;
- принципи організації синхронізації та взаємодії потоків багатопотокових програм;
- основні конструкції для створення потоків, розподілу роботи між ними, керування роботою з даними та синхронізації потоків у стандартах POSIX Threads, OpenMP, OpenCL;
- примітиви передачі та отримання повідомлень між окремими процесами у стандарті MPI;
- основні моделі взаємодії процесів у розподілених системах;
- основні характеристики процесу іонізаційних втрат енергії швидких заряджених частинок, що описуються формулою Бете-Блоха та розподілом Ландау;
- фізичні механізми, на яких засновано роботу ондуляторів та лазерів на вільних електронах;
- спектральні та кутові характеристики перехідного, дифракційного, характеристичного, параметричного рентгенівського випромінювання та випромінювання Сміта-Парселла і механізми їх генерації.

В результаті вивчення дисципліни здобувач повинен вміти:

- складати паралельні алгоритми для різних типів математичних та фізичних задач;
- створювати паралельні програми для реалізації складених алгоритмів;
- визначати потенційне прискорення алгоритму при збільшенні числа обчислювальних елементів;
- реалізовувати взаємне виключення потоків для вирішення задачі критичної секції;
- реалізовувати бар'єрну синхронізацію потоків;
- реалізовувати синхронний та асинхронний обмін повідомленнями у розподілених системах;
- обчислювати середню та найбільш імовірну величину іонізаційних втрат енергії різних типів частинок в залежності від їх енергії та параметрів середовища;
- розраховувати інтенсивність та спектрально-кутовий розподіл перехідного та дифракційного випромінювання релятивістських частинок;
- обчислювати інтенсивність характеристичного випромінювання;
- розраховувати частоту та інтенсивність параметричного рентгенівського випромінювання та випромінювання Сміта-Парселла;
- самостійно опановувати та використовувати літературу з питань взаємодії частинок високих енергій з речовиною.

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Змістовий модуль 1 включає теми 1–5, змістовий модуль 2 – теми 6–11.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці.

ТЕМА1. Основні особливості паралельних обчислень та основи розробки паралельних програм. (16 год.) Мета, задачі та цілі паралельної обробки даних. Рівні паралелізму: бітовий, інструкцій, даних та задач. Платформи паралельних обчислень. Таксономія Флінна. Продуктивність алгоритму та прискорення. Закони Амдала та Густавсона-Барсіса. Складові розробки паралельних програм. Ітеративний паралелізм. Рекурсивний паралелізм. Виробники та споживачі. Клієнт-сервер. Керівник-робітники. Взаємодіючі рівні. Розробка паралельних програм засобами POSIX Threads.

ТЕМА 2. Засоби розробки паралельних програм для систем зі спільною пам'яттю. (16 год.) Розробка паралельних програм засобами OpenMP. Конструкції для створення потоків. Конструкції розподілу роботи між потоками. Конструкції для керування роботою з даними. Стан гонитви, взаємне виключення, синхронізація та паралельне сповільнення. Розв'язання задачі критичної секції з активним очікуванням. Бар'єр зі спільним лічильником. Бар'єрна синхронізація за допомогою прапорців. Симетричні бар'єри. Бар'єр з розповсюдженням. Семафори та операції з ними. Бінарні семафори. Розв'язання задачі критичної секції за допомогою семафорів. Задача про філософів, що обідають та її розв'язання. Реалізація бар'єрів за допомогою семафорів. Змінні оточення та допоміжні функції.

ТЕМА 3. Розробка паралельних програм для обчислювальних систем із розподіленою пам'яттю. (16 год.) Обмін повідомленнями між процесами. Синхронні, асинхронні, блокуючі та неблокуючі функції відправлення та отримання повідомлень. Взаємне блокування. Загальні процедури MPI. Синхронізація процесів у MPI.

ТЕМА 4. Розробка паралельних програм для обчислень на графічних процесорах. (16 год.) Анатомія GPU. Програмування в OpenCL. Приклади розв'язання математичних та фізичних задач засобами OpenCL.

ТЕМА 5. Паралельні методи розв'язування математичних та фізичних задач. (16 год.) Обчислення визначеного інтегралу. Обчислення простих чисел. Методи вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Методи сортування. Розв'язок диференціальних рівнянь. Метод Монте-Карло. Гравітаційна задача N тіл.

Модуль 2. Випромінювання та іонізаційні втрати енергії релятивістських частинок у речовині. Джерела випромінювання на основі релятивістських частинок.

ТЕМА 6. Іонізаційні втрати енергії. Формула Бете-Блоха. (10 год.) Діапазон прицільних параметрів, важливих для процесу іонізаційних втрат енергії (ІВЕ). Середня величина ІВЕ нерелятивістської частинки. Формула Бора. Вплив квантових ефектів. Середня величина ІВЕ релятивістської частинки. Формула Бете-Блоха. Повна та обмежена величина ІВЕ. Ефект густини.

ТЕМА 7. Іонізаційні втрати енергії. Розподіл Ландау. (6 год.) Кінетичне рівняння для функції розподілу імовірності величини ІВЕ у тонкій мішені. Переріз передачі енергії частинкою атомному електрону. Функція розподілу Ландау для величини ІВЕ частинки у тонкій мішені. Межі застосування цієї функції. Найбільш імовірна величина ІВЕ частинки у тонкій мішені.

ТЕМА 8. Джерела випромінювання на основі релятивістських частинок. (4 год.) Загальні властивості електромагнітного випромінювання ультрарелятивістськими частинками. Когерентний ефект у випромінюванні. Довжина формування випромінювання. Спектр синхротронного випромінювання при різних енергіях частинки. Ондуляторне випромінювання. Його спектрально-кутові характеристики та механізм генерації. Лазер на вільних електронах.

ТЕМА 9. Метод віртуальних фотонів. Характеристичне випромінювання. (4 год.) Розкладання в інтеграл Фур'є кулонівського поля ультрарелятивістського електрона. Аналогія між цим полем та плоскою електромагнітною хвилею. Метод віртуальних фотонів для опису процесів випромінювання при взаємодії частинок високих енергій із речовиною. Спектр віртуальних фотонів кулонівського поля ультрарелятивістського електрона. Іонізація атомних К-оболонки і характеристичне рентгенівське випромінювання.

ТЕМА 10. Перехідне і дифракційне випромінювання. (4 год.) Перехідне випромінювання в міліметровому та оптичному діапазонах. Розгляд на основі методу зображень та на основі розв'язку граничної задачі для рівнянь Максвелла. Рентгенівське перехідне випромінювання. Інтерпретація перехідного випромінювання на основі методу віртуальних фотонів. Дифракційне випромінювання. Випромінювання Сміта-Парселла.

ТЕМА 11. Когерентне рентгенівське випромінювання у кристалі. (10 год.) Основні властивості явища дифракції Брегга рентгенівських хвиль у кристалі. Розв'язок рівнянь Максвелла для поля ультрарелятивістської частинки в кристалі за допомогою теорії збурень. Параметричне рентгенівське випромінювання. Дифраговане рентгенівське перехідне випромінювання.

Назва лекції			
	Лекції	Практичні/семінарські заняття	Самостійна робота
Змістовний модуль 1. Високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці.			
Тема 1. Основні особливості паралельних обчислень та основи розробки паралельних програм.	4	4	8
Тема 2. Засоби розробки паралельних програм для систем зі спільною пам'яттю	4	4	8
Тема 3. Розробка паралельних програм для обчислювальних систем із розподіленою пам'яттю.	4	4	8
Тема 4. Розробка паралельних програм для обчислень на графічних процесорах.	4	2	8
Тема 5. Паралельні методи розв'язування математичних та фізичних задач.	4	2	8
Разом за змістовний модуль 1	20	16	40
Змістовний модуль 2. Випромінювання та іонізаційні втрати енергії релятивістських частинок у речовині. Джерела випромінювання на основі релятивістських частинок.			
Тема 6. Іонізаційні втрати енергії. Формула Бете-Блоха.	2	0	6
Тема 7. Іонізаційні втрати енергії. Розподіл Ландау.	2	0	4
Тема 8. Джерела випромінювання на основі релятивістських частинок.	2	0	6
Тема 9. Метод віртуальних фотонів. Характеристичне	2	0	4

випромінювання.			
Тема 10. Перехідне і дифракційне випромінювання	2	0	2
Тема 11. Когерентне рентгенівське випромінювання у кристалі.	2	0	8
Разом за змістовний модуль 2	12	0	30
Всього	32	16	70

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 36 год.; практичних/семінарів – 20 год., самостійної роботи – 62 год., консультацій – 2 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Розробка паралельних програм засобами POSIX Threads	4
2	Розробка паралельних програм засобами OpenMP	4
3	Розробка паралельних програм засобами MPI	4
4	Розробка паралельних програм засобами OpenCL	2
5	Розробка паралельних програм для розв'язування математичних та фізичних задач.	2
	Всього	16

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами змістовного модуля 1.	40
2	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами змістовного модуля 2.	30
	Всього	70

Запитання для самоперевірки

1. Як побудувати програму для паралельного обчислення визначеного інтегралу?
2. Як побудувати програму для паралельного обчислення простих чисел?
3. Як побудувати програму для паралельного вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь?
4. Як побудувати програму для паралельного сортування елементів?
5. Як побудувати програму для розв'язку диференціальних рівнянь?
6. Як побудувати програму для паралельного розрахунку з використанням методу Монте-Карло?
7. Як побудувати програму для паралельного вирішення гравітаційної задачі N тіл?
8. Наведіть міркування, з яких визначаються характерні прицільні параметри, що відповідають за процес іонізаційних втрат енергії (IBE) частинки.
9. У якому випадку можна застосовувати формулу Бора для IBE без урахування квантових ефектів та в чому полягає її корекція з урахуванням цих ефектів?
10. Як IBE частинки залежать від її енергії, заряду та атомного номера речовини?
11. У чому відмінність повної та обмеженої величини IBE?
12. У чому полягає ефект густини для IBE?
13. Що таке розподіл Ландау і як він виглядає?
14. Що таке довжина формування випромінювання?
15. Як виглядає спектр синхротронного випромінювання і як оцінити частоту максимуму цього спектра на основі поняття про довжину формування?
16. Основні властивості ондуляторного випромінювання та принцип роботи лазера на вільних електронах.
17. У чому полягає аналогія між кулонівським полем релятивістського електрона та плоскою електромагнітною хвилею, і в чому сутність методу віртуальних фотонів?
18. Що таке характеристичне випромінювання і як його можна описати в рамках методу віртуальних фотонів?
19. Основні властивості перехідного випромінювання в різних діапазонах частот.
20. Основні властивості дифракційного випромінювання та випромінювання Сміта-Парселла.
21. Основні властивості параметричного та дифрагованого перехідного рентгенівського випромінювання у кристалі.

Запитання до заліку

1. Рівні паралелізму: бітовий, інструкцій, даних та задач. Платформи паралельних обчислень. Таксономія Флінна. Продуктивність алгоритму та прискорення. Закони Амдала та Густавсона-Барсіса.

2. Складові розробки паралельних програм. Ітеративний паралелізм. Рекурсивний паралелізм. Виробники та споживачі. Клієнт-сервер. Керівник-робітники. Взаємодіючі рівні.

3. Стан гонитви, взаємне виключення, синхронізація та паралельне сповільнення. Розв'язання задачі критичної секції з активним очікуванням. Бар'єр зі спільним лічильником. Бар'єрна синхронізація за допомогою прапорців. Симетричні бар'єри. Бар'єр з розповсюдженням.

4. Семафори та операції з ними. Бінарні семафори. Розв'язання задачі критичної секції за допомогою семафорів. Задача про філософів, що обідають та її розв'язання. Реалізація бар'єрів за допомогою семафорів. Умовні змінні. Синхронізація у моніторі.

5. Розробка паралельних програм засобами OpenMP. Конструкції для створення потоків. Конструкції розподілу роботи між потоками. Конструкції для керування роботою з даними. Конструкції для синхронізації потоків. Змінні оточення та допоміжні функції.

6. Розробка паралельних програм для обчислень на графічних процесорах. Анатомія GPU. Програмування в OpenCL. Приклади розв'язання математичних та фізичних задач засобами OpenCL.

7. Розробка паралельних програм для обчислювальних систем із розподіленою пам'яттю. Обмін повідомленнями між процесами. Синхронні, асинхронні, блокуючі та неблокуючі функції відправлення та отримання повідомлень. Взаємне блокування. Загальні процедури MPI. Синхронізація процесів у MPI.

8. Середня величина іонізаційних втрат енергії швидкої нерелятивістської частинки.

9. Середня величина іонізаційних втрат енергії релятивістської частинки.

10. Розподіл Ландау для величини іонізаційних втрат енергії частинки у тонкій мішені.

11. Синхротронне і ондуляторне випромінювання. Лазер на вільних електронах.

12. Метод віртуальних фотонів для опису процесів взаємодії частинок високих енергій з речовиною.

13. Характеристичне рентгенівське випромінювання на основі методу віртуальних фотонів.

14. Перехідне випромінювання.

15. Дифракційне випромінювання та випромінювання Сміта-Парселла.

16. Параметричне та дифраговане перехідне рентгенівське випромінювання у кристалі.

6. Методи контролю

Поточний контроль проводиться у вигляді експрес-контролю та на основі оцінювання практичних робіт здобувачів під час проведення занять, а також самостійних робіт. Підсумковий контроль проводиться у вигляді заліку.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Деякі питання електродинаміки високих енергій у речовині та високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці» згідно навчальної програми містить 11 тем. Темі розподілені по модулях відповідно: I модуль – 5 тем (від 1 до 5), II модуль – 6 тем (від 6 до 11). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та самостійні роботи.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Залік	100
T1-T5	T6-T11		
40	20		

T1, T2 ... – теми розділів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль засвоєння теоретичного матеріалу та виконання самостійних робіт. За ці види робіт здобувач може набрати 60 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за два модулі має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На заліку здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, залік вважається не зданим. Бали, одержані на заліку від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

8. 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
------	--------------	---------------

Критерії оцінювання питань залікового білету (контрольної роботи)

Заліковий білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

№	Характеристика відповіді на кожне з питань залікового білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
1	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
2	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
3	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
4	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
5	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
6	Невірна відповідь	0-5 %
7	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література Основна література

1. Andrews G.R. Foundations of multithreaded, parallel, and distributed programming. Addison-Wesley, 2020.
2. Foster, Ian. Designing and building parallel programs: concepts and tools for parallel software engineering. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995.
3. Trobec R. et al. Introduction to parallel computing: from algorithms to programming on state-of-the-art platforms. Springer, 2018.
4. Коцовський В.М. Теорія паралельних обчислень: навчальний посібник. Ужгород: ПП «АУТДОР-Шарк», 2021.

5. Качко Е.Г. Параллельное программирование. Учебн. пос. Х.: Изд-во «Форт», 2011.
6. Akhiezer A.I., Shul'ga N.F. High-energy electrodynamics in matter. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1996.
7. Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Ереван: изд.-во Академии наук Арм. ССР, 1969, 457 с.
8. Jackson J. D. Classical electrodynamics. New York: Wiley, 1962. 641 p.
9. Tanabashi M. et al. (Particle Data Group). Review of particle physics. Phys. Rev. D. 2018. Vol. 98. P. 030001.
10. Landau L.D. On the energy loss of fast particles by ionization. J. Phys. USSR. 1944. Vol. 8. P. 201.
11. Pellegrini C., Marinelli A., Reiche S. The physics of x-ray free-electron lasers. 2016. Rev. Mod. Phys. Vol. 88. P. 015006.
12. Sørensen A.H. Atomic K-shell excitation at ultrarelativistic impact energies. Phys. Rev. A. 1987. Vol. 36. P. 3125.
13. Shibata et al. Coherent Smith-Purcell radiation in the millimeter-wave region from a short-bunch beam of relativistic electrons. Phys. Rev. E. 1998. Vol. 57. P. 1061.

Допоміжна література

1. Ясько М.М. Навчальний посібник до вивчення курсів «Паралельна обробка даних» та «Мови обчислень та кластерні системи». – Д.: РВВ ДНУ, 2010. – 76 с.
2. Трофименко С.В. Інтерференційні ефекти в іонізаційних втратах, перехідному та когерентному рентгенівському випромінюванні релятивістських частинок: Дис. на здобуття наукового ступеня доктора наук / ННЦ Харківський фізико-технічний інститут. Харків, 2021. 348 с.
3. Saldin E.L., Schneidmiller E.A., Yurkov M.V. The physics of free electron lasers. An introduction. Hamburg, DESY preprint, 1994. 217 p.
4. Vavilov P.V. Ionization losses of high-energy heavy particles. Sov. Phys. JETP. 1957. Vol. 5. P. 749.
5. Chen R. et al. Recent advances of transition radiation: Fundamentals and applications. Materials Today Electronics. 2023. Vol. 3. P. 100025.

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

1. The OpenMP API specification for parallel programming <https://www.openmp.org>
2. Open standard for parallel programming of heterogeneous systems <https://www.khronos.org/OpenGL>
3. Open MPI: Open Source High Performance Computing <https://www.open-mpi.org/>
4. Online compiler and debugger for C/C++ <https://www.onlinegdb.com>