**Затверджено вченою радою**

**фізичного факультету**

**Київського національного університету**

**імені Тараса Шевченка**

**26 грудня 2022 р., протокол №8**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Микола МАКАРЕЦЬ**

**ПИТАННЯ,**

**ЯКІ ВИНОСЯТЬСЯ НА КОМПЛЕКСНИЙ ІСПИТ З ФІЗИКИ ЯДРА ТА ФІЗИКИ ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ**

**ЗА ОСВІТНЬО-НАУКОВОЮЮ ПРОГРАМОЮ:**

**«КВАНТОВА ТЕОРІЯ ПОЛЯ»**

*А) Блок «Квантова теорія поля»*

1. Генеруючий функціонал, амплітуда переходу вакуум–вакуум в квантовій теорії поля та її обчислення у випадку вільного скалярного поля.
2. Теорема Віка для скалярних та спінорних полів. Правила Фейнмана для квантової електродинаміки. Ефект Комптона.
3. Неабелеві поля Янга-Мілса. Лагранжіан квантової хромодинаміки в калібрувальному та масовому базисах.
4. Поляризація вакууму в другому порядку теорії збурень в КЕД. Модифікація закону Кулона, зсув рівнів воднеподібних атомів за рахунок потенціалу Юлінга. Порівняння енергетичних спектрів атомів водню та мюонного водню.
5. Аномальний магнітний момент електрона. Поправка Швінгера до діраківського магнітного моменту.
6. Класифікація перенормовності квантовопольових теорій. Індекс розбіжності діаграм, зв’язок з розмірністю константи взаємодії. Приклади розбіжних діаграм в КЕД.
7. Правила Фейнмана в КХД. Рівняння Гелмана-Лоу, бета-функція Калана-Симанзіка; ефективна константа взаємодії та асимптотична свобода в КХД.
8. Лагранжіан Стандартної моделі. Змішування кварків, матриця Кабіббо-Кобаяші-Маскави. Заряджені та нейтральні струми.
9. Спонтанне порушення симетрії в електрослабкому секторі Стандартної моделі. Механізм Браута-Енглера-Хіггса генерації мас калібрувальних бозонів та ферміонів.
10. Спонтанне порушення симетрії. Теореми Голдстоуна, теорема про підрахунок числа безмасових частинок при спонтанному порушені симетрії.
11. S-матриця і зв’язок її матричних елементів з функціями Гріна, редукційні формули Лемана-Симанзіка-Циммермана.
12. Варіанти розширення Стандартної моделі: скалярний, нейтринний, векторний, псевдоскалярний (аксіонний) портали, портал Черна-Саймонса.
13. Нульові коливання вакууму у просторах різних розмірностей та топології. Ефект Казиміра.
14. Народження електрон-позитронних пар в однорідному електричному полі (квазікласичний розгляд). Ефект Швінгера.
15. Теорія Вейля двокомпонентного нейтрино.
16. Механізми Дірака, Майорани та Дірака-Майорани генерації мас нейтрино. Механізм «гойдалки» як спосіб пояснення малої маси активних нейтрино.
17. Осциляції нейтрино у вакуумі. Загальна теорія осциляцій нейтрино та її застосування на прикладі осциляцій нейтрино двох ароматів у вакуумі. Стерильні нейтрино.
18. Механізм конфайнменту та монополі в тривимірній U(1) калібрувальній теорії.
19. Точний розв’язок двовимірних калібрувальних теорій. Натяг струни між статичними кварками.
20. Квантування калібрувальних моделей на гратці. Дія Вільсона та її континуальна границя. Закон площі для петлі Вільсона.
21. Бета-функція в двовимірних О(N) моделях та асимптотична свобода. Точний розв’язок О(N) моделей при великих значеннях N.
22. Фазовий перехід Березинського-Костерліца-Таулеса в двовимірній XY-моделі.
23. Аномальна трикутна діаграма в регуляризації Паулі-Віларса. Кіральна аномалія в методі Фуджикави.
24. Розпад нейтрального піона на два фотони. Гіпотеза про часткове збереження аксіального струму. Теорема Сатерленда-Велтмана. Кіральна аномалія.
25. Взаємодія фотона з речовиною в рамках КЕД: поглинання, пружне та непружне розсіяння, люмінесценція.

*Б) Блок «Гравітація і космологія»*

1. Фізична модель Всесвіту. Великий вибух та еволюція Всесвіту. Утворення елементарних частинок та хімічних елементів.
2. Космологічний принцип та розширення Всесвіту. Рівняння Фрідмана та загальні властивості еволюції Всесвіту. Фотометрична відстань, відстань за кутовим розміром та спостережні свідчення розширення Всесвіту з додатним прискоренням. ЛямбдаCDM-модель.
3. Рекомбінація, рівняння Саха, температура рекомбінації. Останнє розсіяння фотонів.
4. Реліктове випромінювання як джерело інформації про ранній Всесвіт. Анізотропія температури та поляризації реліктового випромінювання.
5. Первинний нуклеосинтез. Нейтрон-протонне відношення. Кінетика нуклеосинтезу, розповсюдженість легких елементів у сучасному Всесвіті.
6. Реліктові нейтрино, температура відщеплення нейтрино, космологічні обмеження на масу нейтрино.
7. Фазові переходи першого та другого роду, кросовер. Електрослабкий фазовий перехід, фазові переходи КХД в ранньому Всесвіті.
8. Проблеми теорії гарячого великого вибуху. Інфляційний сценарій як спосіб рішення цих проблем. Моделі інфляції.
9. Фаза постінфляційного розігріву Всесвіту. Народження частинок Стандартної Моделі. Стохастичний, широкий та вузький параметричні резонанси.
10. Темна матерія, спостережні свідчення про її існування. Кандидати на роль частинок темної матерії.
11. Баріонна асиметрія Всесвіту, механізми її генерації та умови Сахарова.
12. Генерація первинних скалярних і тензорних збурень в інфляційних моделях, рівняння Муханова-Сазакі. Спектр скалярних та тензорних збурень, нахил спектру, тензорно-скалярне відношення.
13. Термодинаміка чорних дір. Ефект Хокінга, температура Хокінга.
14. Чорна діра, що обертається, ергосфера, механізм Пенроуза.
15. Властивості центрально-симетричних чорних дір. Рух частинок та світла поблизу шварцшильдівської чорної діри.

*В) Блок «Теорія конденсованого стану. Методи КТП в ТКС»*

1. Нерівноважні процеси в системі багатьох частинок. Одночастинкова функція розподілу. Кінетичне рівняння Больцмана.
2. Квантовий ефект Холла. Особливості квантового ефекту Холла в графені.
3. Ефекти де Гааза-ван Альфена та Шубнікова-де Гааза.
4. Теорія лінійного відгуку, формула Кубо.
5. Методи квантового опису систем багатьох частинок: адіабатичне наближення, метод Хартрі-Фока, метод Томаса-Фермі
6. Функція Гріна в теорії конденсованого стану. Аналітичні властивості функцій Гріна. Фізичний зміст полюсів функцій Гріна та енергетичний спектр.
7. Функції Гріна при ненульовій температурі. Формалізм Мацубари.
8. Надпровідність. Варіаційний метод в теорії надпровідності Бардіна-Купера-Шріффера. Надпровідна щілина.
9. Рівняння Гінзбурга. Надпровідники другого роду. Вихори Абрікосова. Надплинність у гелії-3 та гелії-4, спектр елементарних збуджень у гелії-4.
10. Нелінійне рівняння Шредінгера та його фізичний зміст. Солітонний розв’язок нелінійного рівняння Шредінгера.

*Г) Блок «Загальні питання»*

1. Закони збереження та їх зв’язок з фундаментальними властивостями простору і часу. Теорема Е. Нетер.
2. Методи аналітичного опису механічних систем. Порівняльний аналіз механіки Ньютона, Лагранжа, Гамільтона.
3. Основні закони термодинаміки. Умови термодинамічної рівноваги. Термодинаміка Всесвіту, що розширюється, закон збереження ентропії.
4. Нульові коливання вакууму. Зсув Лемба в спектрі атомів водню та мюонного водню.
5. Елементарні частинки. Частинки та античастинки. Стандартна модель фізики елементарних частинок, її здобутки та недоліки.
6. Рівняння Дірака для частинки з аномальним магнітним моментом.
7. Основні рівняння квантової теорії: рівняння Шредінгера, Клейна-Гордона Дірака, Прока.
8. Безмасове абелеве калібрувальне поле, калібрувальна симетрія, рівняння руху в коваріантній формі
9. Зіткнення важких ядер і множинне народження частинок. Кварк-глюонна плазма, її властивості та пошуки.
10. Ефект Ааронова-Бома, однозначні та неоднозначні хвильові функції, вплив топології простору, експериментальна перевірка ефекту.

Затверджено на засіданні науково-методичної комісії фізичного факультету, протокол №13 від 17 жовтня 2022 р.