



ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ПОЛЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	Е Природничі науки, математика та статистика
Спеціальність	Е5 Фізика і астрономія
Освітня програма	Освітньо-професійна програма «Модельювання фізичних процесів»
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів (150 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен усний
Розклад занять	Розклад занять викладено на сторінці http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, листування із студентами з організаційних питань буде здійснюватися через WhatsApp чат дисципліни Практичні заняття: доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, листування із студентами з організаційних питань буде здійснюватися через WhatsApp чат дисципліни
Розміщення курсу	На платформі дистанційного навчання Google Клас за посиланням https://classroom.google.com/c/NzEwMjY0OTAxNTg3?cjc=ct65cvc, код класу ct65cvc, постійне посилання на Google Meet https://meet.google.com/bkr-bnek-gqj

Програма навчальної дисципліни

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

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей.

Загальні компетентності:

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК4. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК7. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

Фахові компетентності спеціальності:

ФК1. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.

ФК5. Здатність сприймати ново здобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними.

ФК9. Здатність самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

Основні завдання кредитного модуля:

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати наступні **результати навчання**:

ПРН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

ПРН02. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.

ПРН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

ПРН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємодіючи спілкуючись із колегами.

ПРН10. Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела.

ПРН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

ПРН13. Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.

ПРН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки за результатами дослідження.

ПРН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень в області фізики та астрономії.

ПРН18. Вміти використовувати набуті знання для розв'язання різних задач з фізики та астрономії.

ПРН19. Вміти моделювати фізичні і не тільки процеси та явища, що виникають в навколишньому світі.

ПРН20. Вміти створювати та досліджувати різні фізичні теорії за допомогою моделювання фізичних та астрономічних процесів.

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

Кредитний модуль «Основи квантової теорії поля» відноситься до дисципліни «Основи квантової теорії поля», яка належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки, і вивчається студентами в 11-му семестрі навчання за напрямом «фізика». Цей кредитний модуль спрямований на формування у студентів базових понять, вмінь та навичок стосовно курсу квантової теорії поля. Вивчення даного кредитного модуля базується на курсах „Механіка“, „Молекулярна фізика“, „Електрика та магнетизм“, „Класична механіка“, „Математичний аналіз“ та ін. Знання, отримані студентами з курсу основи квантової теорії поля, використовуються в курсі „Вступ до фізики твердого тіла“ та ін.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів, тем	Розподіл за семестрами та видами занять			
	Всього	Лекції	Практичні заняття	СРС
Семестр 3				
Розділ 1. Необхідний математичний апарат та позначення.				
Тема 1.1. 4-вектори та операції над ними. Тензори та псевдотензори.	3,75	0,5	0,25	3
Тема 1.2. 4-вимірне перетворювання Фур'є. Оператор д'Аламбера.	3,75	0,5	0,25	3
Тема 1.3. Представлення групи Лоренца. Спінори.	3,75	0,5	0,25	3
Разом за розділом 1	11,25	1,5	0,75	9
Розділ 2. Частинки та поля.				
Тема 2.1. Частинки та їх властивості.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 2.2. Закони збереження.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 2.3. Відповідність частинка-поле.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 2.4. Парність польових функцій.	3,75	0,5	0,25	3
Разом за розділом 2	12,0	2,0	1	9
Розділ 3. Динамічні інваріанти полів.				
Тема 3.1. Лагранжіан. Енергія-імпульс.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 3.2. Теорема Ньотер.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 3.3. Момент кількості руху та спін.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 3.4. Вектор струму та заряд.	2,75	0,5	0,25	2
Контрольна робота з розділів 1 -3	1,75	0,5	0,25	1
Разом за розділом 3	12,75	2,5	1,25	9
Розділ 4. Простіші вільні поля.				
Тема 4.1. Скалярне поле. Імпульсне представлення.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 4.2. Векторне поле. Локальний репер.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 4.3. Електромагнітне поле. Калібровочна інваріантність та умова Лоренца. Узагальнений Лагранжіан. Діагональна калібровка. Перехід до локального реперу.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 4.4. Поле Дірака. Рівняння Дірака і матриці Дірака. Лагранжів формалізм. Імпульсне представлення. Розклад по спіновим станам. Динамічні інваріанти.	2,75	0,5	0,25	2
Разом за розділом 4	11	2,0	1	8
Розділ 5. Квантування вільних полів.				
Тема 5.1. Зміст процедури квантування полів.	2,75	0,5	0,25	2

Тема 5.2. Корпускулярна трактовка чисел заповнення.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 5.3. Канонічне квантування.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 5.4. Представлення Шредингера та Гайзенберга.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.5. Релятивістська схема квантування полів.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.6. Перестановочні співвідношення. Фізичний зміст частотних компонент. Типи перестановочних співвідношень.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.7. Амплітуда вакууму і Фоківське представлення.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.8. Квантування по Фермі-Діраку та Бозе-Ейнштейну.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.9. Зв'язок спіна зі статистикою. Теорема Паулі.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.10. Скалярне поле. Запис динамічних змінних через нормальні добутки.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.11. Комплексне векторне поле.	2,25	1	0,25	1
Тема 5.12. Електромагнітне поле - складності квантування. Квантування по Гупта-Блейлеру.	2,25	1	0,25	1
Тема 5.13. Квантування поля Дірака.	2,25	1	0,25	1
Тема 5.14. Спінорне поле з масою нуль.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 5.15. CPT-теорема.	2,25	1	0,25	1
Контрольна робота з розділів 4-5	1,75	0,5	0,25	1
Разом за розділом 5	33	10	4	19
Розділ 6. Взаємодіючі поля.				
Тема 6.1. Взаємодія частинок.	3,5	1	0,5	2
Тема 6.2. Лагранжіани взаємодій.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 6.3. Електромагнітне поле, як калібровочне.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 6.4. Поле Янга-Мілса.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 6.5. Калібровочна взаємодія полів.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 6.6. Спонтанне порушення симетрії.	1,75	0,5	0,25	1
Тема 6.7. Квантові системи зі взаємодією.	2,75	0,5	0,25	1
Разом за розділом 6	15	4	2	9
Розділ 7. Матриця розсіяння.				
Тема 7.1. Теорія збурень.	3,5	1	0,5	2
Тема 7.2. Представлення взаємодії.	3,5	1	0,5	2
Тема 7.3. Матриця розсіяння.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 7.4. Умови причинності.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 7.5. Теорема Віка.	3,5	1	0,5	2
ДКР з розділів 6-7				
Разом за розділом 7	16	4	2	10
Розділ 8. Діаграми і правила Фейнмана.				
Тема 8.1. Діаграми Фейнмана.	6,5	1,0	0,5	5

Тема 8.2. Правила Фейнмана в р-представленні. Ймовірності переходів.	6,5	1,0	0,5	5
Разом за розділом 8	13	2	1	10
Розділ 9. Обчислення інтегралів і розбіжностей.				
Тема 9.1. Техніка обчислення інтегралів.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 9.2. Виділення розбіжностей.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 9.3. Загальна структура розбіжностей.	2,75	0,5	0,25	2
Тема 9.4. Процедура перенормування.	4,75	0,5	0,25	4
ДКР з розділів 8-9				
Разом за розділом 9	13	2	1	10
Підготовка до екзамену	13			13
Всього за семестр:	150	30	14	96
Всього	150	30	14	106

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова: [1–8]

Додаткова: [9–13]

1. Zee A (2023) *Quantum field theory, as simply as possible*. Princeton University Press, Princeton and Oxford
2. Woit P (2024) *Quantum Theory, Groups and Representations: An Introduction*. Department of Mathematics, Columbia University, Columbia
3. Calzetta EA, Hu B-LB (2023) *Nonequilibrium Quantum Field Theory*. Cambridge University Press, Cambridge
4. Workman RL, Burkert VD, Crede V, Klempt E, Thoma U, Tiator L, Agashe K, Aielli G, Allanach BC, Amsler C, Antonelli M, Aschenauer EC, Asner DM, Baer H, Banerjee S, Barnett RM, Baudis L, Bauer CW, Beatty JJ, Belousov VI, Beringer J, Bettini A, Biebel O, Black KM, Blucher E, Bonventre R, Bryzgalov V V, Buchmuller O, Bychkov MA, Cahn RN, Carena M, Ceccucci A, Cerri A, Chivukula RS, Cowan G, Cranmer K, Cremonesi O, D'Ambrosio G, Damour T, de Florian D, de Gouvêa A, DeGrand T, de Jong P, Demers S, Dobrescu BA, D'Onofrio M, Doser M, Dreiner HK, Eerola P, Egede U, Eidelman S, El-Khadra AX, Ellis J, Eno SC, Erler J, Ezhela V V, Fetscher W, Fields BD, Freitas A, Gallagher H, Gershtein Y, Gherghetta T, Gonzalez-Garcia MC, Goodman M, Grab C, Gritsan A V, Grojean C, Groom DE, Grünewald M, Gurtu A, Gutsche T, Haber HE, Hamel M, Hanhart C, Hashimoto S, Hayato Y, Hebecker A, Heinemeyer S, Hernández-Rey JJ, Hikasa K, Hisano J, Höcker A, Holder J, Hsu L, Huston J, Hyodo T, Ianni A, Kado M, Karliner M, Katz UF, Kenzie M, Khoze VA, Klein SR, Krauss F, Kreps M, Križan P, Krusche B, Kwon Y, Lahav O, Laiho J, Lellouch LP, Lesgourgues J, Liddle AR, Ligeti Z, Lin C-J, Lippmann C, Liss TM, Littenberg L, Lourenço C, Lugovsky KS, Lugovsky SB, Lusiani A, Makida Y, Maltoni F, Mannel T, Manohar A V, Marciano WJ, Masoni A, Matthews J, Meißner U-G, Melzer-Pellmann I-A, Mikhasenko M, Miller DJ, Milstead D, Mitchell RE, Mönig K, Molaro P, Moortgat F, Moskvic M, Nakamura K, Narain M, Nason P, Navas S, Nelles A, Neubert M, Nevski P, Nir Y, Olive KA, Patrignani C, Peacock JA, Petrov VA, Pianori E, Pich A, Piepke A, Pietropaolo F, Pomarol A, Pordes S, Profumo S, Quadt A, Rabbertz K, Rademacker J, Raffelt G, Ramsey-Musolf M, Ratcliff BN, Richardson P, Ringwald A, Robinson DJ, Roesler S, Rolli S, Romaniouk A, Rosenberg LJ, Rosner JL, Rybka G, Ryskin MG, Ryutin RA, Sakai Y, Sarkar S, Sauli F, Schneider O, Schönert S, Scholberg K, Schwartz AJ, Schwiening J, Scott D, Sefkow F, Seljak U, Sharma V, Sharpe SR, Shiltsev V, Signorelli G, Silari M, Simon F, Sjöstrand T, Skands P, Skwarnicki T, Smoot GF, Soffer A, Sozzi MS, Spanier S, Spiering C, Stahl A, Stone SL, Sumino Y, Syphers MJ, Takahashi F, Tanabashi M, Tanaka J, Taševský M, Terao K, Terashi K, Terning J, Thorne RS, Titov M, Tkachenko NP, Tovey DR, Trabelsi K, Urquijo P, Valencia G, Van de Water R, Varelas N, Venanzoni G, Verde L, Vivarelli I, Vogel P, Vogelsang W, Vorobyev V, Wakely SP, Walkowiak W, Walter

CW, Wands D, Weinberg DH, Weinberg EJ, Wermes N, White M, Wiencke LR, Willocq S, Wohl CG, Woody CL, Yao W-M, Yokoyama M, Yoshida R, Zanderighi G, Zeller GP, Zenin O V, Zhu R-Y, Zhu S-L, Zimmermann F, Zyla PA (2022) Review of Particle Physics. Prog Theor Exp Phys 2022:1–2270 . <https://doi.org/10.1093/ptep/ptac097>

5. Papageorgiou M, Fraser D (2024) Eliminating the ‘Impossible’: Recent Progress on Local Measurement Theory for Quantum Field Theory. Found Phys 54:26 . <https://doi.org/10.1007/s10701-024-00756-8>

6. Falcone R, Conti C (2024) Localization in quantum field theory. Rev Phys 12:100095 . <https://doi.org/10.1016/j.revip.2024.100095>

7. Duplij S, Walker ML (2022) Selected Topics in Gravity, Field Theory and Quantum Mechanics. MDPI, Basel, Beijing, Wuhan, Barcelona, Belgrade, Manchester, Tokyo, Cluj, Tianjin

8. Горобець ОЮ, Горобець СВ, Хакно КЮ (2024) Мова python для інженерних та наукових задач [Електронний ресурс]: підруч. для здобувачів ступеня бакалавра та магістра за спеціальностями 162 «Біотехнології та біоінженерія» та 104 «Фізика та астрономія», 1st-ше вид. ed. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ

9. Lahiri A, Pal PB (6AD) A first book of quantun field theory. Alpha Science International Ltd., Oxford

10. Landsman K (2017) Foundations of Quantum Theory: From Classical Concepts to Operator Algebras. Springer, Nijmegen

11. Radovanovic V (2006) Problem Book Quantum Field Theory. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg

12. Tong D (2007) Quantum Field Theory. University of Cambridge Part III Mathematical Tripos. University of Cambridge, Cambridge

13. Motoichi Ohtsu (2022) Quantum Fields and Off-Shell Sciences. MDPI, Basel, Beijing, Wuhan, Barcelona, Belgrade, Manchester, Tokyo, Cluj, Tianjin

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Розділ 1, тема 1.1, тема 1.2, тема 1.3. Розділ 2, тема 2.1, тема 2.2, тема 2.3, тема 2.4. Розділ 3, тема 3.1. Лекція 1. Предмет КТП. Основні уявлення про структуру елементарних частинок та їх взаємодії. Закони збереження. Відповідність частинка-поле. 4-вектори та операції над ними. Тензори та псевдотензори. 4-вимірне перетворювання Фур'є. Оператор д'Аламбера. Представлення групи Лоренца. Спінори. Парність польових функцій. Лагранжіан. [1-8]
2.	Розділ 3, тема 3.2, тема 3.3, тема 3.4. Лекція 2. Теорема Ньотер. Енергія-імпульс. Момент кількості руху та спіні. Вектор струму та заряд. [1-8]
3.	Розділ 4, тема 4.1, тема 4.2, тема 4.3 Лекція 3. Скалярне поле. Імпульсне представлення. Векторне поле. Локальний репер. Електромагнітне поле. Калібровочна інваріантність та умова Лоренца. Узагальнений Лагранжіан. Діагональна калібровка. Перехід до локального реперу. [1-8]

4.	Розділ 4, тема 4.4. Розділ 5, тема 5.1. Лекція 4. Поле Дірака. Рівняння Дірака і матриці Дірака. Лагранжів формалізм. Імпульсне представлення. Розклад по спіновим станам. Динамічні інваріанти. Зміст процедури квантування полів. [1-8]
5.	Розділ 5, тема 5.2, тема 5.3, тема 5.4, тема 5.5. Лекція 5. Корпускулярна трактовка чисел заповнення. Канонічне квантування. Представлення Шредингера та Гайзенберга. Релятивістська схема квантування полів. [1-8]
6.	Розділ 5, тема 5.6, тема 5.7. Лекція 6. Перестановочні співвідношення. Фізичний зміст частотних компонент. Типи перестановочних співвідношень. Амплітуда вакууму і Фоківське представлення. [1-8]
7.	Розділ 5, тема 5.8, тема 5.9. Лекція 7. Квантування по Фермі-Діраку та Бозе-Ейнштейну. Зв'язок спіна зі статистикою. Теорема Паулі. [1-8]
8.	Розділ 5, тема 5.10, 5.11. Лекція 8. Скалярне поле. Запис динамічних змінних через нормальні добутки. Комплексне векторне поле. [1-8]
9.	Розділ 5, тема 5.11, 5.12. Лекція 9. Електромагнітне поле - складності квантування. Квантування по Гупта-Блейлеру. Квантування поля Дірака. [1-8]
10.	Розділ 5, тема 5.14, тема 5.15. Лекція 10. Спінорне поле з масою нуль. СРТ-теорема. [1-8]
11.	Розділ 6, тема 6.1, тема 6.2, тема 6.3. Лекція 11. Взаємодія частинок. Лагранжіани взаємодій. Електромагнітне поле, як калібровочне. [1-8]
12.	Розділ 6, тема 6.4, тема 6.5, тема 6.6, тема 6.7. Лекція 12. Поле Янга-Мілса. Калібровочна взаємодія полів. Спонтанне порушення симетрії. Квантові системи зі взаємодією. [1-8]
13.	Розділ 7, тема 7.1, тема 7.2. Лекція 13. Теорія збурень. Представлення взаємодії. [1-8]
14.	Розділ 7, тема 7.3, тема 7.4, тема 7.5. Лекція 14. Матриця розсіяння. Умови причинності. Теореми Віка. [1-8]
15.	Розділ 8, тема 8.1, тема 8.2. Розділ 9, тема 9.1, тема 9.2, тема 9.3, тема 9.4. Лекція 15. Діаграми Фейнмана. Правила Фейнмана в r -представленні. Ймовірності переходів. Техніка обчислення інтегралів. Виділення розбіжностей. Загальна структура розбіжностей. Процедура перенормування. [1-8]

Практичні заняття

№	Назва тем практичних занять та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Практичне заняття 1 Розділ 1, тема 1.1, тема 1.2, тема 1.3. Розділ 2, тема 2.1., тема 2.2, тема 2.3, тема 2.4. Розділ 3, тема 3.1. Предмет КТП. Основні уявлення про структуру елементарних частинок та їх взаємодії. Закони збереження. Відповідність частинка-поле. 4-вектори та операції над ними. Тензори та псевдотензори. 4-вимірне перетворювання Фур'є. Оператор д'Аламбера. Представлення групи Лоренца. Спінори. Парність польових функцій. Лагранжіан. [8-13]
2.	Практичне заняття 2 Розділ 3, тема 3.2, тема 3.3, тема 3.4. Розділ 4, тема 4.1, тема 4.2, тема 4.3 Теорема Ньотер. Енергія-імпульс. Момент кількості руху та спін. Вектор струму та заряд. Скалярне поле. Імпульсне представлення. Векторне поле. Локальний репер. Електромагнітне поле. Калібровочна інваріантність та умова Лоренца. Узагальнений Лагранжіан. Діагональна калібровка. Перехід до локального реперу. [8-13]
3.	Практичне заняття 3 Розділ 4, тема 4.4. Розділ 5, тема 5.1, тема 5.2, тема 5.3. Поле Дірака. Рівняння Дірака і матриці Дірака. Лагранжів формалізм. Імпульсне представлення. Розклад по спіновим станам. Динамічні інваріанти. Зміст процедури квантування полів. Корпускулярна трактовка чисел заповнення. Канонічне квантування. [8-13]
4.	Практичне заняття 4 Розділ 5, тема 5.4, тема 5.5, тема 5.6, тема 5.7. Представлення Шредингера та Гайзенберга. Релятивістська схема квантування полів. Перестановочні співвідношення. Фізичний зміст частотних компонент. Типи перестановочних співвідношень. Амплітуда вакууму і Фоківське представлення. [8-13]
5.	Практичне заняття 5 Розділ 5, тема 5.8, тема 5.9, тема 5.10, 5.11, тема 5.11, 5.12, тема 5.14, тема 5.15. Квантування по Фермі-Діраку та Бозе-Ейнштейну. Зв'язок спіна зі статистикою. Теорема Паулі. Скалярне поле. Запис динамічних змінних через нормальні добутки. Комплексне векторне поле. Електромагнітне поле - складності квантування. Квантування по Гупта-Блейлеру. Квантування поля Дірака. Спінорне поле з масою нуль. СРТ-теорема. [8-13]
6.	Практичне заняття 6 Розділ 6, тема 6.1, тема 6.2, тема 6.3, тема 6.4, тема 6.5, тема 6.6, тема 6.7. Взаємодія частинок. Лагранжіани взаємодій. Електромагнітне поле, як калібровочне. Поле Янга-Мілса. Калібровочна взаємодія полів. Спонтанне порушення симетрії. Квантові системи зі взаємодією. [8-13]

7.	Практичне заняття 7 Розділ 7, тема 7.1, тема 7.2, тема 7.3, тема 7.4, тема 7.5. Розділ 8, тема 8.1, тема 8.2. Розділ 9, тема 9.1, тема 9.2, тема 9.3, тема 9.4. Теорія збурень. Представлення взаємодії. Матриця розсіяння. Умови причинності. Теореми Віка. Діаграми Фейнмана. Правила Фейнмана в р-представленні. Ймовірності переходів. Техніка обчислення інтегралів. Виділення розбіжностей. Загальна структура розбіжностей. Процедура перенормування. [8-13]
----	---

6. Самостійна робота студента

Ціллю МКР є закріплення у студентів здібностей щодо самостійної роботи. Всього на самостійну роботу студентів відведено 66 годин.

Тематика індивідуальних завдань:

1. Закони збереження.
2. Векторне поле. Локальний репер. Електромагнітне поле. Калібровочна інваріантність та умова Лоренца. Узагальнений Лагранжіан. Діагональна калібровка.
3. Поле Дірака. Рівняння Дірака і матриці Дірака. Лагранжів формалізм. Імпульсне представлення. Розклад по спіновим станам. Динамічні інваріанти.
4. Електромагнітне поле - складності квантування. Квантування по Гупта-Блейлеру. Квантування поля Дірака.
5. Ізотопічний формалізм.
6. Дублет нуклонів.
7. Триплет піонів.
8. Рівняння Клейна-Гордона. Частотні компоненти.
9. Матриці Дірака та рівняння Дірака.
10. Комутаційні співвідношення.
11. Лагранжіани взаємодій.
12. Неперервні групи.
13. Операторні перетворення.
14. Сингулярні функції.
15. Матриця розсіяння. Умови причинності. Теореми Віка.
16. Формули імпульсного інтегрування.
17. Діаграми Фейнмана. Правила Фейнмана в р-представленні. Ймовірності переходів. Техніка обчислення інтегралів.
18. Виділення розбіжностей. Загальна структура розбіжностей. Процедура перенормування.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- 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/NzEwMjY0OTAxNTg3?cjc=ct65cvc>);
- 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);
- Студент зобов'язаний зареєструватися на платформі дистанційного навчання Google Workspace for Education Fundamentals (в минулому G Suite For Education) на домені @LLL.kpi.ua та приєднатися до Google Класу «Основи квантової теорії поля» за посиланням <https://classroom.google.com/c/NzEwMjY0OTAxNTg3?cjc=ct65cvc>. Для цього студенту 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/. Після реєстрації та модерації заявки студента, адміністратор надішле студенту на пошту пароль та логін до акаунту, з яким студент 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 «Основи квантової теорії поля» студенту 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 ct65cvc. Акаунти студентів, які приєдналися до Google Класу не з акаунта на домені @LLL.kpi.ua, будуть вилучатися з навчального курсу «Основи квантової теорії поля» Google Класу тому, що автоматичний імпорт оцінок за тестування можливий виключно з акаунта на домені @LLL.kpi.ua. Система Google Клас автоматично надсилає кожному студенту бали по кожному з видів контролю на електронну пошту. Тому для ознайомлення з балами за кожен окремий вид контролю студенту необхідно змінити налаштування електронної пошти так, щоб ці електронні листи не потрапляли у спам. Всі виконані завдання для перевірки викладачем студент повинен завантажувати через систему Google Клас (результати виконання завдань, надіслані через телеграм канал перевірятися не будуть);
- Листування із студентами з організаційних питань буде здійснюватися через WhatsApp чат дисципліни.

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

Поточний контроль: тести

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

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин			Контрольні заходи
	Кредити	Акад. год.	Лекції	Практичні заняття	СРС	Семестр атест.
2	5	150	30	14	106	Екзамен

Рейтинг студентів 2 курсу магістратури ФМФ з «Основ квантової теорії поля» складається з балів, які вони отримують за:

- 1) практичні заняття
- 2) МКР

- 3) ДКР
- 4) СРС
- 5) додаткові бали за активність на практичних заняттях (10 балів максимум)
- 6) екзамен.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

Студентам, які успішно виконують СРС (самостійна робота студентів), можуть нараховуватися за семестр максимум 50 балів. СРС полягає у самостійній роботі із вивчення лекційного матеріалу. Перевірка виконання СРС та вміння розв'язувати задачі на практичних заняттях, а також ДКР та МКР 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/NzEwMjY0OTAxNTg3?cjc=ct65cvc>. Кожен з тестів можливо пройти тільки один раз. Рейтингові (вагові) бали занять і рейтингові оцінки по всіх видах контролю в Google Класі дорівнюють відповідним балам в Силабусі з коефіцієнтом 10 для зручності розрахунку балів (щоб не використовувати дробові числа). Відповідно перед кожною атестацією, а також в кінці семестру всі набрані студентом бали в Google Класі будуть ділитися на 10 і вноситись до системи АІС «Електронний кампус» КПІ імені Ігоря Сікорського.

Необхідною умовою допуску до екзамену з «Основ квантової теорії поля» є задовільне виконання СРС, МКР, ДКР (не менше 20 балів).

Екзаменаційна робота з «Основ квантової теорії поля» складається з 2 питань (2 теоретичних питання), кожне теоретичне питання максимально оцінюється в 25 балів. Всього 50 балів.

Критерії оцінювання (до екзамену):

- Студент демонструє фрагментарні знання навчального матеріалу, не достатньо розуміючи зв'язок між окремими розділами програми, робить не достатньо обґрунтовані висновки (0-23 бали).
- Студент правильно відтворює навчальний матеріал, знає основоположні теорії і факти, вміє наводити окремі власні приклади на підтвердження певних думок (24-40 балів)
- Студент добре володіє вивченим матеріалом, застосовує знання в стандартних ситуаціях, вміє аналізувати і систематизувати інформацію, використовує загальновідомі докази із самостійною і правильною аргументацією (41-45 балів)
- Студент має гнучкі знання в межах вимог навчальної програми, аргументовано використовує їх в різних ситуаціях, уміє знаходити інформацію та аналізувати її, ставити і розв'язувати проблеми (46-50 балів)

Сума вагових балів контрольних заходів з «Основ квантової теорії поля» протягом семестру складає:

$R_C = 50$ балів.

Екзаменаційна складова шкали **$R_E = 50$ балів.**

Рейтингова шкала з «Основ квантової теорії поля» складає **$R_D = R_C + R_E = 100$ балів.**

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

Студенти, які набрали протягом семестру стартовий рейтинг з дисципліни (r_C) менше 0,4 $R_C = 20$ балів, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з «Основ квантової теорії поля» і мають академічну заборгованість.

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

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/NzEwMjY0OTAxNTg3?cjc=ct65cvc;>
- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою не передбачена.*

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 № 1/06-25 від 25.06.2025).

Погоджено Методичною комісією Фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 27.06.2024).