

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРІЯ КАЛІБРУВАЛЬНИХ ПОЛІВ»



Ступінь освіти	бакалавр
Освітня програма	Фізика
Тривалість викладання	6 семестр
Заняття:	Весняний семестр
лекції:	2 години
практичні заняття:	1 година
Мова викладання	українська

Сторінка курсу в СДО НТУ «ДП»: <https://do.nmu.org.ua/course/view.php?id=2066>
Фізики
Кафедра, що викладає

Інформація про викладача:

Дмитрієв Микита Сергійович	доцент, Ph.D.
Персональна сторінка	
Е-пошта:	Dmytriev.M.S@nmu.one

1. Анотація до курсу

Курс «Теорія калібрувальних полів» є обов'язковою дисципліною бакалаврської програми «Фізика» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія». Він охоплює фундаментальні принципи та методи сучасної теоретичної фізики, зокрема симетрії в природі, теорію груп Лі та їх представлення, калібрувальної інваріантності, а також застосування цих концепцій до опису фундаментальних взаємодій.

Програма курсу включає вивчення основних понять теорії груп і алгебри Лі, структури калібрувальної інваріантності та її ролі у формулюванні сучасних фізичних теорій та вивчення калібрувальних полів. Розглядаються конкретні приклади калібрувальних полів, такі як електромагнітне поле, слабкі та сильні ядерні взаємодії, а також гравітація.

Дисципліна спрямована на формування компетентностей, що дозволять студентам використовувати математичний апарат груп Лі для класифікації частинок і їх взаємодій, а також розуміти основи квантової теорії поля.

Курс передбачає лекції та практичні заняття, які сприяють глибокому засвоєнню матеріалу. Підсумковий контроль здійснюється у формі іспиту.

2. Мета та завдання курсу

Мета дисципліни – формування у студентів фундаментальних знань, компетентностей і навичок у галузі сучасної теоретичної фізики, зокрема в області калібрувальних полів, які є основою для розуміння квантової теорії поля та Стандартної моделі фізики елементарних частинок.

Завдання курсу:

– Ознайомлення студентів із поняттями симетрії, теорії груп та алгебри Лі, що є ключовими для формулювання калібрувальних теорій.

- Вивчення калібрувальної інваріантності та її значення у фізиці взаємодій фундаментальних частинок.
- Опанування математичного апарату для опису калібрувальних полів та їхніх взаємодій.
- Розгляд основних калібрувальних теорій – квантової електродинаміки, квантової хромодинаміки та теорії слабких взаємодій.
- Ознайомлення з формулюванням теорії гравітаційного поля як неабелевого калібрувального поля.
- Розвиток навичок математичного моделювання фізичних процесів, необхідних для аналізу сучасних експериментальних і теоретичних досліджень у фізиці високих енергій.

3. Результати навчання

Розуміти основи симетрії у фізиці та її роль у формулюванні калібрувальних теорій. Знати основні поняття теорії груп, зокрема груп Лі, та їхнє застосування у фізиці. Опанувати математичний апарат для опису калібрувальних полів та їх взаємодій. Розуміти калібрувальну інваріантність і її застосування у квантовій теорії поля. Знати структуру та основні принципи Стандартної моделі фізики елементарних частинок. Усвідомлювати зв'язок між квантовою теорією поля та експериментально підтвердженими фізичними явищами.

4. Структура курсу

ЛЕКЦІЇ

1 Основи теорії груп

1.1. Визначення групи

1.2. Групи перетворень системи координат

2 Групи Лі. Алгебри Лі

2.1. Нескінченно малі перетворення групи

2.2. Визначення групи Лі

2.3. Генератори групи

2.4. Теорема Лі

2.5. Комутатор генераторів групи. Абелеві та неабелеві групи

2.6. Тотожність Якобі для генераторів групи

2.7. Алгебра Лі

2.8. Прості і напівпрості групи Лі

3. Представлення груп Лі

3.1. Приклади різних представлень груп симетрії кристалів для перетворень тензорних величин властивостей кристалів

3.2. Привідні і непривідні представлення груп Лі

3.3. Фундаментальне представлення групи Лі

3.4. Приєднане представлення групи Лі

3.5. Тензорні представлення груп Лі

3.6. Приклади представлень груп Лі

4. Група SU(2)

- 4.1. Фундаментальне представлення групи і її генератори. Матриці Паулі
- 4.2. Зв'язок між групами SU(2) і SO(3). Топологія групи SU(2)
- 4.3. Комутатор групи. Приєднане представлення групи
- 4.4. Схеми Юнга

5. Група SU(3)

- 5.1. Фундаментальне представлення групи і її генератори. Матриці Гел-Манна
- 5.2. Комутатор групи. Приєднане представлення групи
- 5.3. Тензорні представлення групи SU(3)
- 5.4. Алгебра кольорів. Діаграмне представлення обчислень із кольоровими тензорами

6. Група Лоренца

- 6.1. Рівняння Клейна-Гордона
- 6.2. Рівняння Дірака. Спінори
- 6.3. Спінорне представлення групи Лоренца
- 6.4. Векторне представлення групи Лоренца
- 6.5. Тензорне представлення групи Лоренца
- 6.6. Фізичні поля як вектори різних представлень групи Лоренца

7. Калібрувальна інваріантність

- 7.1. Калібрувальне поле. Векторний потенціал і тензор напруженості калібрувального поля
- 7.2. Глобальна калібрувальна інваріантність у скалярній квантовій електродинаміці
- 7.3. Локальна калібрувальна інваріантність у скалярній квантовій електродинаміці. Закон збереження заряду і струму
- 7.4. Локальні калібрувальні перетворення у фундаментальному представленні неабелевих груп
- 7.5. Локальні калібрувальні перетворення векторного потенціалу і тензору напруженості калібрувального поля
- 7.6. Поля Янга-Міллса

8. Приклади калібрувальних полів

- 8.1. Електромагнітне поле
- 8.2. Поле-переносник слабкої взаємодії
- 8.3. Поле сильної ядерної взаємодії
- 8.4. Гравітаційне поле

5. Технічне обладнання та/або програмне забезпечення

Необхідний доступ до системи дистанційного навчання НТУДП. На практичних заняттях необхідна наявність калькуляторів.

6. Система оцінювання та вимоги

6.1. Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90 – 100	відмінно
74-89	добре
60-73	задовільно
0-59	незадовільно

6.2. Оцінка виставляється на основі індивідуальних завдань, заліку та екзамену. Максимальний бал за кожне індивідуальне завдання складає 60 балів (3 теоретичні задачі по 20 балів).

Критерії оцінювання

Реальні результати навчання студента ідентифікуються та вимірюються відносно очікуваних під час контрольних заходів за допомогою критеріїв, що описують дії студента для демонстрації досягнення результатів навчання.

Для оцінювання виконання контрольних завдань під час поточного контролю лекційних і практичних занять в якості критерія використовується коефіцієнт засвоєння, що автоматично адаптує показник оцінки до рейтингової шкали:

$$O_i = 100 a/m,$$

де a – число правильних відповідей або виконаних суттєвих операцій відповідно до еталону рішення; m – загальна кількість запитань або суттєвих операцій еталону.

Зміст критеріїв спирається на компетентнісні характеристики, визначені НРК для бакалаврського рівня вищої освіти (подано нижче).

Загальні критерії досягнення результатів навчання Для 6-го кваліфікаційного рівня за НРК

	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
Знання		
– спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері професійної діяльності або галузі знань і є основою для оригінального мислення та проведення досліджень,	Відповідь відмінна – правильна, обґрунтована, осмислена. Характеризує наявність: – спеціалізованих концептуальних знань на рівні новітніх досягнень; – критичне осмислення проблем у навчанні та/або професійній діяльності та на межі предметних галузей	95-100
	Відповідь містить не грубі помилки або описки	90-94
	Відповідь правильна, але має певні неточності	85-89
	Відповідь правильна, але має певні неточності й недостатньо обґрунтована	80-84
	Відповідь правильна, але має певні неточності, недостатньо обґрунтована та осмислена	74-79
	Відповідь фрагментарна	70-73
	Відповідь демонструє нечіткі уявлення студента про	65-69

	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показники оцінки
критичне осмислення проблем у галузі та на межі галузей знань	об'єкт вивчення	
	Рівень знань мінімально задовільний	60-64
	Рівень знань незадовільний	<60
Уміння/навички		
<p>– спеціалізовані уміння/навички розв'язання проблем, необхідні для проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності з метою розвитку нових знань та процедур;</p> <p>– здатність інтегрувати знання та розв'язувати складні задачі у широких або мультидисциплінарних контекстах;</p> <p>– здатність розв'язувати проблеми у нових або незнайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної</p>	Відповідь характеризує уміння: <ul style="list-style-type: none"> – виявляти проблеми; – формулювати гіпотези; – розв'язувати проблеми; – оновлювати знання; – інтегрувати знання; – провадити інноваційну діяльність; – провадити наукову діяльність 	95-100
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності з не грубими помилками	90-94
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації однієї вимоги	85-89
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації двох вимог	80-84
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації трьох вимог	74-79
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації чотирьох вимог	70-73
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності при виконанні завдань за зразком	65-69
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з неточностями	60-64
	Рівень умінь/навичок незадовільний	<60

	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
відповідальності		
<i>Комунікація</i>		
– зрозуміле і недвозначне донесення власних знань, висновків та аргументації до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються	Зрозумілість відповіді (доповіді). <i>Мова:</i> <ul style="list-style-type: none"> – правильна; – чиста; – ясна; – точна; – логічна; – виразна; – лаконічна. <i>Комунікаційна стратегія:</i> <ul style="list-style-type: none"> – послідовний і несуперечливий розвиток думки; – наявність логічних власних суджень; – доречна аргументації та її відповідність відстоюваним положенням; – правильна структура відповіді (доповіді); – правильність відповідей на запитання; – доречна техніка відповідей на запитання; – здатність робити висновки та формулювати пропозиції; – використання іноземних мов у професійній діяльності 	95-100
	Достатня зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія з незначними хибами	90-94
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано п'ять вимог)	74-79
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано сім вимог)	70-73
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано дев'ять вимог)	65-69
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано 10 вимог)	60-64
	Рівень комунікації незадовільний	<60

	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
<i>Відповідальність і автономія</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – управління робочими або навчальними процесами, які є складними, непередбачуваними та потребують нових стратегічних підходів; – відповідальність за внесок до професійних знань і практики та/або оцінювання результатів діяльності команд та колективів; – здатність продовжувати навчання з високим ступенем автономії 	Відмінне володіння компетенціями: <ul style="list-style-type: none"> – використання принципів та методів організації діяльності команди; – ефективний розподіл повноважень в структурі команди; – підтримка врівноважених стосунків з членами команди (відповідальність за взаємовідносини); – стресовитривалість; – саморегуляція; – трудова активність в екстремальних ситуаціях; – високий рівень особистого ставлення до справи; – володіння всіма видами навчальної діяльності; – належний рівень фундаментальних знань; – належний рівень сформованості загальнонавчальних умінь і навичок 	95-100
	Упевнене володіння компетенціями відповідальності і автономії з незначними хибами	90-94
	Добре володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано дві вимоги)	85-89
	Добре володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано три вимоги)	80-84
	Добре володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано чотири вимоги)	74-79
	Задовільне володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано п'ять вимог)	70-73
	Задовільне володіння компетенціями відповідальності і автономії (не реалізовано шість вимог)	65-69
	Задовільне володіння компетенціями відповідальності і автономії (рівень фрагментарний)	60-64
Рівень відповідальності і автономії незадовільний	<60	

7. Політика курсу

7.1. Політика щодо академічної доброчесності

Академічна доброчесність здобувачів вищої освіти є важливою умовою для опанування результатами навчання за дисципліною і отримання задовільної оцінки з поточного та підсумкового контролів. Академічна доброчесність базується на засудженні практик списування (виконання письмових робіт із залученням зовнішніх джерел інформації, крім дозволених для використання), плагіату (відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення авторства), фабрикації (вигадування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі). Політика щодо академічної доброчесності регламентується положенням "Положення про

систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті "Дніпровська політехніка". http://www.nmu.org.ua/ua/content/activity/us_documents/System_of_prevention_and_detection_of_plagiarism.pdf.

У разі порушення здобувачем вищої освіти академічної доброчесності (списування, плагіат, фабрикація), робота оцінюється незадовільно та має бути виконана повторно. При цьому викладач залишає за собою право змінити тему завдання.

7.2. Комунікаційна політика

Здобувачі вищої освіти повинні мати активовану університетську пошту.

Усі письмові запитання до викладачів стосовно курсу мають надсилатися на університетську електронну пошту.

7.3. Політика щодо перескладання

Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

7.4 Політика щодо оскарження оцінювання

Якщо здобувач вищої освіти не згоден з оцінюванням його знань він може опротестувати виставлену викладачем оцінку у встановленому порядку.

7.5. Відвідування занять

Для здобувачів вищої освіти денної форми відвідування занять є обов'язковим. Поважними причинами для неявки на заняття є хвороба, участь в університетських заходах, академічна мобільність, які необхідно підтверджувати документами. Про відсутність на занятті та причини відсутності здобувач вищої освіти має повідомити викладача або особисто, або через старосту.

За об'єктивних причин (наприклад, міжнародна мобільність) навчання може відбуватись в онлайн формі за погодженням з керівником курсу.

7.6. Бонуси

За активність та правильні відповіді на лекційних та практичних заняттях студент може отримати до +2 балів до семестрової оцінки на кожному занятті.

8 Рекомендовані джерела інформації

1. Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder. An Introduction To Quantum Field Theory. – CRC Press. – 2019
2. Matthew D. Schwartz. Quantum Field Theory and the Standard Model – Cambridge University Press. – 2013.
3. C. N. Yang and R. L. Mills. Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance. Phys. Rev. 96, 191 — 1954 — DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.96.191>

4. П
е
в
з
н
е
р

М