



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Фізико-технічний інститут
Кафедра прикладної фізики

Симетрія в фізиці

0402

Галузь знань 10 Фізичні науки
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Курс	4
Семестр	8

Освітньо-професійна програма
Статус Прикладна фізика
Форма навчання Дисципліна за вибором
Семестровий денна
контроль екзамен

ECTS	2.5
Годин	75

Розподіл годин

Аудиторні години			Самостійна робота
Лекції	Практичні	Лабораторні	
32	16		27
кожний тиждень	Раз на 2 тижні		

Гарант освітньої програми В.В. Іванова
Завідувач кафедри С.О. Воронов
Голова методичної комісії
«___» _____ 2020 р. «___» _____ 2020 р. «___» _____ 20...
р.

Поточна редакція від «___» квітня 2020 р.

Інформація про викладача

	Лекція	Практичні
ПІБ	Загородній Вячеслав Васильович	Загородній Вячеслав Васильович
Посада	доцент	доцент
Вчене звання	доцент	доцент
Науковий ступінь	К.т.н.	К.т.н.
Профіль викладача	http:// orcid.org/0000-0002-6712-6391	http:// orcid.org/0000-0002-6712-6391
e-mail	V31zagww@gmail.com	V31zagww@gmail.com

Анотація навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Симетрія у фізиці»

Ідеї симетрії – одні з найглибших та плідних у природознавстві.

Ще за античних часів зародилися вчення про сумісності та пропорції. Ці ідеї явно та неявно були присутні в усіх природничо-філософських теоріях античності та середньовіччя. До середини 19 століття ідею симетрії розглядали як філософську категорію чи принцип світогляду, а не як самостійну науку у сучасному понятті. Лише з появою робіт Еваріста Галуа (1811 – 1832 р.р.) про роль перестановок в теорії алгебраїчних рівнянь, вірніше, публікацію Жордана, присвячену теорії Галуа, через 40 років після його смерті, можна вважати приблизною датою виникнення цієї нової теорії і початком її самостійного існування. Клейн Ф. вперше встановив зв'язок між симетріями великих багатогранників і групами перестановок. Проникнення теоретико-групового мислення у фізику почалося на рубежі 19 і 20 століть. Цьому сприяли два видатні досягнення в двох різних областях природознавства – класифікації кристалів і кристалографічних симетрій Федорова і Шенфліса (1894 р.), та спеціальна теорія відносності Ейнштейна-Пуанкаре (1895 р.). Становлення квантової теорії і квантової механіки йшло паралельно з розвитком теорії груп і теорії представлень. У роботах Гайзенберга і Дирака квантово-механічні змінні були представлені як елементи асоціативної алгебри, які задовольняють деяким комутаційним співвідношенням, а стани системи – як вектори простору представлень цієї алгебри. Симетрія і її математичний апарат – теорії груп – виступають як принципово важливий евристичний принцип при побудові моделей нових явищ. Один з прикладів – відкриття унітарної асиметрії в сильних взаємодіях і виявлення на цій основі кваркової структури матерії. Це було зроблено в 60 роках минулого століття після того, як була відкрита нова характеристика елементарних часток – дивність. Вже у 60 роках минулого століття для опису елементів симетрії кристалів були використані елементи представлення скінченних груп, матричних груп, а також теорія прямих добутоків цих представлень. На сучасному етапі взаємозв'язок з теоретичною фізикою означає використання апарату неklasичних алгебр Лі, теорії когомології, нескінченновимірних афінних алгебр, квантових груп і алгебр. У фізиці важливу роль відіграє поняття симетрії. В кристалографії та хімії важливе значення мають операції симетрії, які описуються точковими й просторовими групами. Вивчення цих груп важливе для класифікації та визначення властивостей мінералів та молекул. Групи симетрії визначають, наприклад, структуру оптичних спектрів, спектрів раманівського розсіяння тощо. Під симетрією молекули розуміється рух простору, що суміщають кожний атом молекули із атомом того ж типу і які зберігають всі валентні зв'язки між атомами. Велику міру симетрії має кристал, набір симетрій і перетворення симетрій кристала є його важливою характеристикою. Симетрії можуть мати вирази алгебри або арифметики. Симетрією многочлена $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ називається перестановка невідомих $x_1 \dots x_n$, що зберігає величину F . Симетрію у фізиці розуміють як інваріантність (незмінність) фізичної системи відносно тих чи інших перетворень, які здійснюються над нею. Самі перетворення – це елементи симетрії чи просто симетрії.

Мета курсу – надати основні відомості з теорії груп, теорії представлень кінцевих груп, їх застосування для класифікації електронного стану в конденсованих середовищах. Розглядаються кристалографічні аспекти симетрії, симетрія фізичних систем та інше. Теорія дискретних груп симетрії (точкових та просторових) широко застосовується при розрахунках багатьох характеристик молекул та кристалічних твердих тіл. Сучасний рівень наукових досліджень дає змогу здійснювати обрахунки деяких властивостей молекул і кристалів за допомогою стандартних пакетів програм, а також інтернет-ресурсів з базами даних щодо кристалографічних груп. Для зі стандартними пакетами або ресурсами інтернет-мережі необхідне опанувати понятійним апаратом, термінологією та принципами теорії симетрії. Курс „Симетрія у фізиці” застосовується з метою опанування студентами сучасних методів,

які використовуються в фізиці для систематизації властивостей твердих тіл, класифікації станів квантових атомних та молекулярних систем, правилах відбору при переходах між різними квантовими станами і рівнями, опису трансляційної і обертальної симетрії.

Місце навчальної дисципліни в програмі навчання

Навчальна дисципліна належить до циклу дисципліни за вільним вибором, професійна складова

Предмет навчальної дисципліни: теорія груп та застосування теоретико-групових методів в деяких розділах фізики

Міждисциплінарні зв'язки: атомна фізика, оптика, квантова механіка, методи мат. фізики, фізика твердого тіла, кристалографія, теорія симетрії, лінійна алгебра і геометрія, теорія хімічних зв'язків, теорія функцій і функціональний аналіз.

Вивчення курсу є кроком і необхідним етапом для отримання загальної і спеціальної фізичної освіти, яка закладає взагалі базу для подальшого опанування фізичною спеціалізацією.

Необхідні навички

Дисципліна базується на знаннях фізичних та математичних дисциплін, якими студенти вже оволоділи протягом попередніх 7 семестрів навчання. Зокрема, студентам необхідно знати атомну фізику, квантову механіку, методи мат. фізики, окремі розділи теорії поля, лінійну алгебру та геометрію, математичний аналіз, основи кристалографії та фізики тв. тіла, теорію функцій комплексної змінної, окремі питання теорії функцій і функціонального аналізу.

Програмні результати навчання¹

В результаті вивчення навчальної дисципліни «Симетрія у фізиці» студенти зможуть:

В результаті вивчення навчальної дисципліни студенти зможуть:

ЗНАТИ:

1. основні елементи і перетворення симетрії кінцевих і нескінченних фізичних систем;
2. абстрактну теорію груп, алгебру групових співвідношень;
3. теорію представлень груп у багатовимірних просторах, ізоморфне і гомоморфне представлення груп у скінченновимірних просторах зі скалярним добутком;
4. відображення (представлення) абстрактних груп операторами та їх матрицями у скінченновимірних просторах;
5. ієрархію скінчених груп, точкові власні і невластні групи симетрії;
6. будову точкових груп симетрії, їх ієрархію;
7. будову просторових груп симетрії, групу трансляцій, взаємодію трансляційної та точкової симетрії;
8. застосування просторових груп симетрії до зонної структури твердих тіл;
9. що таке таблиці Келі та як їх створювати;
10. оператори перетворень лінійного простору в матричному вигляді та методи їх знаходження;
11. характери груп та створення таблиці характерів скінченних груп;
12. застосування теорії груп в квантовій механіці, квантовій хімії, в теорії твердого тіла, зонної теорії, кристалографії, при опису квантово-механічних коливань молекул, фазових перетвореннях та в інших окремих розділах фізики.

Вивчення курсу є необхідним етапом загальної фізичної і математичної освіти, яке закладає базу для подальшої спеціалізації. Завданнями дисципліни є також надання

¹ Learning outcomes.

Симетрія у фізиці

необхідного матеріалу для подальшого самостійного засвоєння дисциплін у разі потреби в розділах теоретичної і експериментальної сучасної фізики.

Відповідність результатів навчання до компетентностей у стандарті вищої освіти можна переглянути у Додатку 1 «Програмні результати навчання (розширена форма)».

Перелік тем, завдання та терміни виконання

Програмні результати навчання, контрольні заходи та терміни виконання оголошуються студентам на першому занятті.

№ з/п	Тема	Програмні результати навчання	Основні завдання	
			Контрольний захід	Термін виконання
1.	Абстрактна теорія груп	№ 1, 2		3-ий тиждень
2.	Теорія представлення скінчених груп	№ 1, 2, 3, 4	атестація	7-ий тиждень
3.	Точкові групи. Симетрія в квантовій механіці	№ 3, 4, 5, 6		11-ий тиждень
4.	Кристаліграфічні просторові групи. Класифікація станів електрона в періодичному полі ґратки	№ 7, 8, 9, 10, 11, 12	атестація	16-ий тиждень

Система оцінювання

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кількість	Всього
1.	Семестрове індивідуальне розрахункове завдання	60	20	3	60
2.	Усний екзамен	40	40	1	40
	Всього				100

Результати семестрового індивідуального завдання оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі та супроводжуються позитивними коментарями та зауваженнями стосовно помилок. Невиконання семестрового розрахункового завдання або не захист в відведений термін вважається заборгованістю. Студент не допускається до екзамену доки не ліквідується заборгованість.

Семестрова атестація студентів

Обов'язкова умова допуску до екзамену		Критерій
1	Поточний рейтинг	$RD \geq 60$
2	Виконання семестрового індивідуального завдання	Розрахункове завдання
3	Поточний контрольний захід	Письмове опитування

Додаткові умови допуску до екзамену:

Симетрія у фізиці

1. Активність на лекціях та практичних заняттях.
2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації.
3. Відвідування лекційних занять.
4. Відвідування практичних занять.

(окрім обов'язкових умов можна вказати додаткові та/або необов'язкові умови допуску до екзамену/заліку).

Таблиця переведення рейтингових балів до оцінок за університетською шкалою ²

Рейтингові бали, RD	Оцінка за університетською шкалою	Можливість отримання оцінки «автоматом»
$95 \leq RD \leq 100$	Відмінно	-
$85 \leq RD \leq 94$	Дуже добре	-
$75 \leq RD \leq 84$	Добре	-
$65 \leq RD \leq 74$	Задовільно	-
$60 \leq RD \leq 64$	Достатньо	-
$RD < 60$	Незадовільно	-
Невиконання умов допуску	Не допущено	-

Захист виконаного та оформленого індивідуального розрахункового завдання проводиться у формі співбесіди з викладачем. Під час захисту студент зобов'язаний вміти розповісти про розв'язування вказаних викладачем завдань та відповісти на теоретичні питання за темою завдання, користуючись власноруч написаним конспектом лекції.

На усному екзамені студент має в білеті, якій він бере, два запитання із програми курсу. На підготовку до відповіді відводиться одна астрономічна година. Екзамен викладачем приймається у формі співбесіди зі студентом. Студент відповідає на запитання білета та на додаткові питання за програмою курсу.

Програма курсу доводиться до уваги студентів не пізніше, ніж за місяць до закінчення семестру.

(додаткова інформація стосовно іспиту/співбесіди).

Політика навчальної дисципліни

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Участь у міжнародних, всеукраїнських, інститутських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни)	5 балів	Не відвідування лекції або практичних занять без поважних причин (за кожен випадок)	-2 бали
		Порушення термінів виконання семестрового завдання (за кожен день)	-1 бал
Додаткові задачі розрахунку	0.5 балів		

² Оцінювання результатів навчання здійснюється за рейтинговою системою оцінювання відповідно до рекомендацій Методичної ради КПІ ім. Ігоря Сікорського, ухвалених протоколом №7 від 29.03.2018 року.

кової роботи			
--------------	--	--	--

Відвідування занять

Відвідування лекції та практичних занять є обов'язковим. У разі хвороби студент зобов'язаний представляти довідку про термін проходження лікування, оформлену належним чином в установі, де проходило лікування. Наявність такого документу є гарантією не нарахування штрафних балів. В інших випадках (наприклад, сімейні обставини) питання вирішується в індивідуальному порядку разом з викладачем. У будь-якому випадку студентам рекомендується відвідувати усі види занять, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Пропущені контрольні заходи

У разі пропуску термінів захисту семестрових розрахункових завдань з поважних причин, підтверджених відповідною довідкою, студент(-ка) має можливість захистити роботу в інший узгоджений з викладачем термін без зниження оцінки. Якщо пропуск стався без поважних причин, студенту нараховуються штрафні бали.

У разі пропуску усного екзамену без поважних причин студент отримує запис у відомості «не з'явився» та йде на перескладання.

Календарний рубіжний контроль

Проміжна атестація студентів (далі - атестація) є календарним рубіжним контролем. Метою проведення атестації є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу студентами ³.

Критерій			Перша атестація	Друга атестація
Термін атестації ⁴			8-ий тиждень	14-ий тиждень
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг ⁵		≥ 20 балів	≥ 35 балів
	Семестрове індивідуальне завдання	Розрахункове завдання	+	+

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

³ Рейтингові системи оцінювання результатів навчання: Рекомендації до розроблення і застосування. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 20 с.

⁴ Там само.

⁵ Там само.

Симетрія у фізиці

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

У разі неможливості розв'язати деякі задачі семестрової розрахункової роботи студент може звернутися до викладача із проханням замінити задачі.

Дистанційне навчання (необов'язковий пункт)

... (дозволяється/не дозволяється, умови, перелік онлайн-курсів тощо)

Інклюзивне навчання (необов'язковий пункт)

... (допускається/не допускається, основна інформація)

Навчання іноземною мовою (необов'язковий пункт)

Викладання іноземними мовами допускається і здійснюється у разі використання іноземномовного підручника/посібника, аналога або еквівалента якого не має в україномовній літературі.

Позааудиторні заняття (необов'язковий пункт)

... (чи проводяться заняття за межами закладу вищої освіти: виїзні заняття, заняття на підприємствах, в установах, організаціях тощо)

Додатки

Додаток 1. Програмні результати навчання (розширена форма)

В результаті вивчення навчальної дисципліни «Симетрія у фізиці» студенти зможуть:

Результати навчання		Відповідність результатів навчання до компетентностей у СВО ⁶	
		Загальні компетентності (soft skills)	Спеціальні компетентності (фахові)
1.	Елементи симетрії і перетворення симетрії фізичних систем. Визначення групи. Приклади груп. Елементи груп. Таблиця Келі. Наслідки з визначення груп.	Симетрія як властивість фізичних систем.	Створення груп. Групова алгебра. Знаходження підгруп. Складання таблиці Келі. Знаходження суміжних сукупностей, спряжених класів.
2.	Ізоморфізм і гомоморфізм груп, властивості гомоморфних груп. Представлення скінчених груп.	Теорія представлення як математичний апарат симетрії.	Властивості лінійних операторів. Матричний запис лінійних

⁶ Наказ Міністерства освіти і науки України №... від року «Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю ...» для ... (...) рівня вищої освіти».

	Ізоморфні, гомоморфні представлення скінчених груп. Лінійне представлення групи в скінченновимірному евклідовому просторі. Матричне представлення кінцевих груп. Базис представлення, розмірність представлення. Ортогональне доповнення.	Операторна і матрична алгебра.	операторів Представлення операторів. Обернений оператор. Дії з операторами і їх матрицями. Комутатор операторів. Спряжений, самоспряжений, унітарний оператор. Звідні і незвідні представлення. Унітарні представлення та їх властивості.
3.	Властивості ортогональності незвідних представлень і його наслідки. Характери представлень, властивості характерів звідних і незвідних представлень.	Теорія характерів	Регулярне представлення. Перша теорема Бернсайда. Число незвідних представлень (друга теорема Бернсайда). Друге співвідношення ортогональності характерів груп. Принципи побудови таблиці характерів незвідних представлень. Циклічні групи і їх незвідні представлення. Прямий добуток матриць. Прямий добуток представлень груп. Прямий добуток груп. Характери прямого добутку представлень груп.
4.	Опис точкових груп першого роду, як груп симетрії правильних опуклих багатогранників. Опис точкових груп другого роду. Граничні точкові групи.	Симетрія скінченних фізичних систем	Лінійні групи не вироджених перетворень Група ортогональних перетворень. Унітарні групи. Точкові групи. Елементи і операції симетрії точкових груп. Принципи побудови точкових тривимірних груп. Точкові перетворення і їх матриці.
5.	Представлення групи симетрії рівняння Шредингера.	Симетрія в квантовій механіці.	Базис представлення і його властивості. Матричне представлення. Умови

			інваріантності рівняння Шредингера щодо групи перетворень симетрії і його наслідки. Класифікація стаціонарних станів квантових систем. Випадкове і суттєве (природне) виродження. Порушення симетрії в наслідок збурення. Застосування до методу МО ЛКАО.
6.	Трансляційна симетрія. Гратки Браве. Сингонії. Допустимі точкові групи. Група трансляцій. Оператор трансляції. Спільний елемент просторової групи	Симетрія в конденсованому тв. тілі.	Незвідні представлення групи трансляцій. Обернена гратка. Хвильовий вектор. Зона Бриллюена. Симетрія прямої і оберненої ґраток. Зірка вектора \mathbf{k} . Група вектора \mathbf{k} . Незвідні представлення просторових груп. Незвідні представлення групи вектора \mathbf{k} . Типи векторів \mathbf{k} в зоні Бриллюена..
7.	Симетричні точки оберненого простору. Будова енергетичних зон за допомогою співвідношення сумісності на приклади простій кубічній ґратці.	Зонна теорія тв. тіл.	Електрон у періодичному полі решітки (одно-електронні стани в періодичному потенціалі). Теорема Блоха. Енергетичні зони. Співвідношення сумісності у гранецентрованій кубічній ґратці. Хвильові функції особливих точок.