

СИЛАБУС
навчальної дисципліни
«СУПЕРСИМЕТРИЯ І СУПЕРГРАВІТАЦІЯ В ФІЗИЦІ ЕЛЕМЕНТАРНИХ
ЧАСТИНОК»

Галузь знань	<i>10 – Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 – Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу</i>
Освітній рівень	<i>доктор філософії</i>
Статус дисципліни	<i>Вибірковий</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Курс / семестр	<i>III курс, 1 (2) семестр</i>
Кількість кредитів ЄКТС	<i>2 кредити ЄКТС</i>
Розподіл за видами занять та годинами навчання	<i>Лекції – 16 год.</i>
	<i>Практичні (семінарські) – 8 год.</i>
	<i>Консультації – 2 год.</i>
	<i>Самостійна робота – 34 год.</i>
Форма підсумкового контролю	<i>Іспит</i>
Відділ	<i>Відділ фізики високих енергій, ІЯД НАН України, корп. 101, к. 427 тел. +380-44-525-33-50</i>
Викладач (-і)	<i>Обіход Тетяна Вікторівна, старший науковий співробітник, к. ф.-м. н., с.н.с.</i>
Контактна інформація викладача (-ів)	<i>obikhod@kinr.kiev.ua, +380-96-297-2147</i>
Дні занять	<i>За розкладом</i>
Консультації	<i>Дистанційні, за домовленістю з ініціативи здобувача, групі.</i>

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

Мета навчальної дисципліни - формування у аспірантів компетентностей у галузі фізики елементарних частинок і високих енергій, які є основними положеннями фізики за межами Стандартної моделі, методами теоретичного опису явищ фізики частинок при високих енергіях, та засвоєння методів обробки вимірюваних на сучасних прискорювачах фізичних величин.

Предмет навчальної дисципліни – теоретичні основи фізики високих енергій, комп’ютерне моделювання і обробка експериментальних даних, отриманих на Великому Адронному Колайдері.

Компетентності

Інтегральна компетентність (ІК): здатність продукувати нові ідеї в фізиці високих енергій загалом і теорії суперсиметрії зокрема, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та професійної практики, застосовувати новітні

методології наукової діяльності, здійснювати власні наукові дослідження в галузі математичної фізики і фізики високих енергій.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК.01. Здатність генерувати нові ідеї в галузі фізики високих енергій.

ЗК.03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми в галузі теорії суперструн і D-бран на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

СК.01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру із суперсиметрії, інтегрувати знання з різних галузей фізики високих енергій, оцінювати поточний стан і перспективи розвитку нових наукових напрямків фізики елементарних частинок

СК.04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері фізики високих енергій.

СК.05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти які підкріплено відповідними дослідженнями з теорії суперсиметрії, планувати й організовувати роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

СК.06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для теоретичного обґрунтування фундаментальних наукових досліджень з пошуку суперчастинок, комп'ютерного моделювання відповідних процесів з пошуку фізики за межами Стандартної Моделі.

Програмні результати навчання

РН.01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з фізики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теорії суперсиметрії, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН.02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку досліджень із суперсиметрії і супергравітації, наукові та прикладні проблеми фізики і дотичних міждисциплінарних напрямів.

РН.03. Уміти формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу сучасних експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

РН.06. Уміти планувати і виконувати фундаментальні дослідження з фізики теорії суперсиметрії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо проблем теорії суперструн і D-бран.

РН.11. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність із застосуванням сучасного математичного апарату теорії груп, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне забезпечення літературою з алгебраїчної геометрії і гомологічної алгебри.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти повинен: вивчити теоретичні основи фізики за межами Стандартної Моделі, теорії суперструн і D-бран, питання щодо простору додаткових вимірів і утворення мікроскопічних чорних дір, особливості реакцій елементарних частинок на сучасних прискорювачах при високих енергіях; **знати** основні поняття фізики елементарних частинок, типи суперчастинок та їх взаємодій, їх характеристики, методи теоретичного опису властивостей суперчастинок та процесів їх взаємодії, методи розрахунку вимірюваних фізичних величин, що характеризують процеси

при високих енергіях, в тому числі з використанням сучасних комп'ютерних програм, основи теорії суперсиметрії і супергравітації фізики елементарних частинок; **вміти** розробляти методики фундаментальних досліджень для конкретних процесів з пошуку нової фізики за межами Стандартної Моделі, характеризувати нові процеси із застосуванням діаграм Фейнмана і врахуванням внутрішніх петель із нових частинок, самостійно працювати з навчальною, науковою та довідковою літературою у області фазових перетворень при високих енергіях українською та іноземними мовами.

Передумови для навчання

Перелік попередньо прослуханих дисциплін / Знання, вміння, навички, якими повинен володіти здобувач, щоб приступити до вивчення дисципліни

Для успішного засвоєння дисципліни аспірант повинен знати математичний аналіз, теорію груп та теорію рівнянь математичної фізики в обсязі стандартних університетських курсів. Крім того, необхідно мати навички програмування на одній з мов програмування, які зазвичай використовуються в точних науках (Python, Fortran, C++ тощо). Компетентності, знання, уміння та досвід, одержані в процесі вивчення кредитного модуля «Числові методи математичної фізики», є необхідними для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації, для розуміння світових тенденцій із фізичних досліджень у фізиці високих енергій, при розробці комп'ютерних програм і нових теорій.

Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна структурно має 1 розділ:

Розділ 1. Основні поняття теорій суперсиметрії і супергравітації і пошук суперчастинок на сучасних прискорювачах (Tevatron, LHC).

Матеріально-технічне (програмне) забезпечення дисципліни

Для виконання практичних завдань за темою курсу потрібен персональний комп'ютер; можна вважати, що ця вимога легко задовольняється для аспірантів ІЯД НАН України у тих відділах, де виконується наукова робота (навіть якщо аспірант не має ані особистого комп'ютера вдома, ані ноутбука). Існують безкоштовні варіанти усіх програмних засобів, необхідних для виконання практичних завдань, наприклад, збірка компіляторів gcc для Linux, бібліотека LAPACK або подібні до неї бібліотеки, написані на C++, графічна програма gnuplot. Отже, кожний відділ у змозі створити аспірантові достатні умови для виконання завдань курсу.

Сторінка курсу на платформі Інституту (персональна навчальна система)

Наразі такої немає.

Рекомендовані джерела

Базова література:

- 1.Лидер Э., Предацци Э. Введение в калибровочные теории и «новая физика». - Киев: «Наукова думка», 1990. – 456 с.
- 2.Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. – М.: Наука, 1988. – 272 с.
- 3.Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. - М.: Наука, 1981. – 304 с.
- 4.Райдер Л. Квантовая теория поля. — М. : Мир, 1987. — 512 с.
- 5.Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантованных полей. — М. : Наука, 1973. — 416 с.
- 6.Ченг Т. П., Ли Л. Ф. Калибровочные теории в физике элементарных частиц. — М.: Мир, 1987. — 624 с.
- 7.Весс Ю., Бергер Дж. Суперсимметрия и супергравитация.- Москва: Мир, 1986.- 181 с.

- 8.S. Martin (2011). "A Supersymmetry Primer". Perspectives on Supersymmetry. Advanced Series on Directions in High Energy Physics. 18. pp. 1–98. arXiv:hep-ph/9709356.
- 9.Введение в супергравитацию./ Дж. Стредтиг, Дж. Тейлор, М. Грисару и др.; Под ред. С. Феррары, Дж. Тейлора.: Пер. с англ. Д.В.Гальцова и А.А. Цейтлина; Под ред. Д.В.Гальцова и Р.Э.Каллош. - М.: Мир, 1985. -298 с.
- 10.Уэст П. Введение в суперсимметрию и супергравитацию. - Москва: Мир, 1989.- 329 с.
- 11.Sohnius M. Introducing supersymmetry. Phys. Rept., v.128, p.39 (1985).
- 12.Haber H.E., Kane G.L. The Search for Supersymmetry: Probing Physics Beyond the Standard Model. Phys. Rept., v. 117, p.75 (1985).
- 13.CMS Collaboration. CMS Technical Design Report, volume II: Physics performance // J.Phys. – 2007. - G34. - P. 995.
- 14.Грин М., Шварц Дж., Виттен Э. Теория суперструн. Т. 1. – Москва: Мир, 1990. – 520 с.
- 15.Каку М. Введение в теорию суперструн. – Москва: Мир, 1999. – 624 с.
- 16.Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории: Пер. с англ. / Под ред. В. О. Малышен-ко. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 288 с.
- 17.Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. – М.: ЕДИТОРИАЛ УРСС, 2004, - 256 с.

Допоміжна література:

- 1.Baer H. and Tata X. «Weak Scale Supersymmetry», Cambridge University Press, 2006.
- 2.Haber H. E. «Introductory Low-Energy Supersymmetry», Lectures given at TASI 1992, (SCIPP 92/33, 1993), hep-ph/9306207.
- 3.Kazakov D. I. «Beyond the Standard Model (In search of supersymmetry)», Lectures at the European school on high energy physics, CERN-2001-003,\ hep-ph/0012288.
- 4.Kazakov D. I. “Supersymmetry on the Run: LHC and Dark Matter” Proceedings of International school of physics “Masses and Constants”, Schladming, March 2010, Nucl.Phys.Proc. Suppl. 203-204 (2010) 118, arXiv:1010.5419 [hep-ph].
- 5.Вайнберг С. «Квантовая теория полей. т. 3, Суперсимметрия, М. ФАЗИС, 2002.
- 6.Adel Bilal (2001). "Introduction to Supersymmetry". arXiv:hep-th/0101055.
- 7.Cooper, F.; Khare, A.; Sukhatme, U. (1995). "Supersymmetry and quantum mechanics". Physics Reports. 251 (5–6): 267–385. arXiv:hep-th/9405029.
- 8.Junker, G. (1996). Supersymmetric Methods in Quantum and Statistical Physics.
- 9.Kane, Gordon L., Supersymmetry: Unveiling the Ultimate Laws of Nature, Basic Books, New York (2001).
10. Drees, Manuel, Godbole, Rohini, and Roy, Probir, Theory & Phenomenology of Sparticles, World Scientific, Singapore (2005).
- 11.Duplij, Steven (2003). Duplij, Steven; Siegel, Warren; Bagger, Jonathan (eds.). Concise Encyclopedia of Supersymmetry.
- 12.Müller-Kirsten, Harald J. W., and Wiedemann, Armin, Introduction to Supersymmetry, 2nd ed., World Scientific, Singapore (2010).

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб’єкт навчання і майбутній науковець.

Лекційні заняття

Розділ 1. Основні поняття теорій суперсиметрії і супергравітації і пошук суперчастинок на сучасних прискорювачах (Tevatron, LHC).

Лекція 1. Вступ. Стандартна Модель фундаментальних взаємодій. Мета, завдання та структура курсу. Склад частинок та групи симетрії. Об’єднання калібрувальних констант.

Проблема ієрархії взаємодії. Мотивування введення суперсиметрії. Алгебра суперсиметрії.
Лекція 2. $N = 1$ суперсиметрія. Суперпростір і суперполя. Кіральні і векторні суперполя. Модель Весса-Зуміно. Побудова суперсиметричних лагранжіанів.

Лекція 3. $N = 1$ суперсиметрична теорія Янга-Міллса з полями матерії. Теорія Янга-Міллса (загальні положення). Суперпотенціал і скалярний потенціал в суперсиметричних моделях. Спонтанне порушення суперсиметрії. Механізм О'Райферті і механізм Файе-Іліопулоса. Розщеплення мас в супермультиплетах.

Лекція 4. Мінімальна суперсиметрична Стандартна Модель (MSSM). Механізми м'якого порушення суперсиметрії в MSSM. Спектр мас MSSM. R-парність і кандидати на темну матерію. Скварки і слептони. Калібріно.

Лекція 5. Суперпартнери - взаємодії і маси. Рівняння ренормгрупи для параметрів моделі. Хиггсовські бозони в суперсиметричних теоріях. Простір параметрів MSSM моделі. Народження і розпад суперпартнерів на сучасних прискорювачах. Проявлення суперсиметрії на колайдерах і експериментальні обмеження на маси суперпартнерів.

Лекція 6. Немінімальне розширення Стандартної Моделі. Моделі з розширеним хиггсовським сектором. Моделі з порушеною R-парністю. Пошук суперсиметрії в неприскорювальних експериментах. Основні процеси народження і канали розпадів суперпартнерів. Правила Фейнмана для процесів із суперчастинками.

Лекція 7. Основи теорії струн і D-бран. Теорія суперструн і D-бран (загальні положення). Моделі з важкими векторними бозонами. Модель Рендала-Сандрума. Модель додаткових вимірів Аркані-Хамед-Дімопулос-Двалі.

Лекція 8. Моделі додаткових вимірів. Експериментальні дані по пошуку частинок моделі додаткових вимірів. Пошуки Калуца-Клейн партнерів гравітонів і калібрувальних бозонів. Двуджетові експериментальні виміри і їх теоретична трактовка. Мікроскопічні чорні діри. Пошуки екзотики на Великому адронному колайдері.

Практичні заняття

Заняття 1. Здача практичних завдань. Демонстрація самостійно опанованих тем з теорії Стандартної моделі.

Заняття 2. Приготування до контрольної роботи. Побудова $N = 1$ суперсиметричної теорії Янга-Міллса з полями матерії.

Заняття 3. Приготування до контрольної роботи. Розгляд базових питань і завдань Мінімальної суперсиметричної Стандартної Моделі.

Заняття 4. Приготування до контрольної роботи. Моделі додаткових вимірів.

Заняття 5. Контрольна робота. Моделювання двуджетових процесів.

Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
Опрацювання матеріалу лекцій та літератури	15
Виконання практичних завдань	10
Підготовка до контрольної роботи	4
Підготовка до іспиту	5

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

– правила відвідування занять: заняття проводяться відповідно до розкладу згідно із правилами, встановленими [Положенням про організацію освітнього процесу в Інституті ядерних досліджень НАН України](#), присутність на заняттях є добровільною, примушування до будь-

яких дій в навчальному процесі без особистої згоди аспіранта не допускається. Відповідно до робочої навчальної програми даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях згідно з [Уніфікованою системою оцінювання навчальних досягнень аспірантів](#).

- правила поведінки на заняттях: аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Інституту здійснюється за умови вказівки викладача;
- політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не виконував модульні контрольні роботи (без поважної причини), то його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання передбачено за поважних причин;
- політика щодо академічної доброчесності: [Положення про академічну доброчесність працівників та здобувачів вищої освіти в Інституті ядерних досліджень НАН України](#) встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в Інституті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

Система оцінювання результатів навчання

Види контролю та система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: іспит.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) на практичних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) за відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів

1) Практичні та лекційні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 0,5 балів. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить $40 \times 0,5 = 20$ балів.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 20.

Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 15-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 11-14 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

3) Іспит. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 20 балів. Всього $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;

- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Накопичування рейтингових балів з навчальної дисципліни

Види навчальної роботи	Мах кількість балів
Навчальна активність на лекційних та практичних заняттях	20
Контрольна робота	40
Іспит	40
Максимальна кількість балів	100

Відповідність системи оцінювання ІЯД НАН України шкалі оцінювання ЄКТС та національній системі оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену (іспиту), диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики, тренінгу	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	добре	
74 – 81	C		
64 – 73	D		
60 – 65	E	задовільно достатньо	
35 – 59	FX	незадовільно	не зараховано
1 – 34	F		

Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни, див. сайт ІЯД.

Силабус затверджено на засіданні вченої ради ІЯД НАН України.
« 8 » жовтня 2024 р. Протокол № 10.