

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра теоретичної фізики

Затверджено

На засіданні кафедри теоретичної фізики
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 7 від 22.01 2020р.)

Завідувач кафедри



проф. Ткачук В.М.

Силабус з навчальної дисципліни
«Квантові комп'ютери та квантові обчислення»,
що викладається в межах третього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти для здобувачів
з спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

Львів 2019 р.

**Силабус курсу «Квантові комп'ютери та квантові обчислення»
2019–2020 н.р.**

Назва курсу	Квантові комп'ютери та квантові обчислення
Адреса викладання курсу	вул. Драгоманова 12, 79005 Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	10 Природничі науки / 104 Фізика та астрономія
Викладачі курсу	Завідувач кафедри теоретичної фізики, д.фіз.-мат. н., проф. Ткачук Володимир Михайлович
Контактна інформація викладачів	volodymyr.tkachuk@lnu.edu.ua
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка курсу	http://ktf.lnu.edu.ua/progs/PhD/qcqc_ua.html
Інформація про дисципліну	В курсі представлені основи квантових комп'ютерів та квантових обчислень, квантові алгоритми, заплутаність квантових станів, декогеренція квантових систем. Також робочою програмою курсу передбачено практичні заняття з розробки квантових протоколів для роботи на квантових комп'ютерах.
Коротка анотація дисципліни	<p>Дисципліна «Квантові комп'ютери та квантові обчислення» є дисципліною вільного вибору аспіранта (складова 1: глибинні знання зі спеціальності) і розрахована на слухачів, що спеціалізуються з теоретичної фізики у межах спеціальності 104 «Фізика та астрономія» для освітньої програми доктора філософії. Її викладають у IV семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).</p> <p>Навчальний курс охоплює 3 кредити (90 год). Курс складається з 32 год лекційних занять, 16 год практичних занять та 42 год самостійної роботи. Тижневе навантаження студента складає 3 год аудиторних занять та 2,625 год самостійної роботи.</p> <p>Курс охоплює такі теми: квантові біти та їх фізична реалізація; заплутані квантові стани та квантові кореляції; квантові логічні елементи; квантові алгоритми; декогеренція квантових систем.</p>
Мета та цілі дисципліни	Формування необхідних теоретичних знань про квантові комп'ютери та квантові обчислення, їх фізичні реалізації, набуття практичних навиків роботи з основними квантовими логічними елементами для побудови квантових алгоритмів.

Література для вивчення дисципліни	<p>Основна література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>I. O. Вакарчук</i>. Квантова механіка. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 872 с. 2. <i>В. М. Ткачук</i>. Фундаментальні проблеми квантової механіки. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 144 с. 3. <i>К. А. Валиев, А. А. Кокин</i>. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. — Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001, 352 с. 4. <i>Дж. Прескилл</i>. Квантовая информация и квантовые вычисления. Т. 1. – Москва–Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2008, 464 с. 5. <i>M. A. Nielsen, I. L. Chuang</i>, Quantum Computation and Quantum Information. — Cambridge, Cambridge University Press, 2010, 710 p. 6. <i>A. O. Pittenger</i>, An Introduction to Quantum Computing Algorithms. — Boston, Birkhäuser, 1999, 152 p. 7. <i>G. Benenti, G. Casati, G. Strini</i>, Principles of Quantum Computation and Information. — Singapore, World Scientific, 2004, 272 p. 8. <i>J. Stolze, D Suter</i>, Quantum Computing. — Weinheim, Wiley-VCH, 2004, 246 p. 9. <i>E. Reiffel, W. H. Polak</i>, Quantum Computing: A Gentle Introduction. — Cambridge, MIT Press, 2011, 389 p. <p>Інформаційні ресурси: https://www.ibm.com/quantum-computing/</p>
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 16 годин практичних занять, та 42 години самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <ul style="list-style-type: none"> - знати як будуються квантові логічні елементи та реалізуються квантові обчислення, розуміти важливість заплутаних станів для реалізації квантових алгоритмів, розуміти принцип роботи основних квантових алгоритмів, знати принципи роботи квантових процесорів побудованих на основі спінових систем, розуміти вплив декогеренції на роботу квантових логічних елементів. - вміти отримати умови для реалізації квантової еволюції між заданими початковим та кінцевим станами, визначати міру заплутаності квантових станів і отримувати заплутані стани на багатокубітових системах, реалізувати квантові логічні елементи на спінових системах, використовувати квантові алгоритми, вміти описати процес декогеренції для конкретних фізичних систем.
Ключові слова	Квантові логічні елементи, заплутаність квантових станів, спінові системи, квантовий біт, квантовий комп'ютер
Формат курсу	очний проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у табл.1
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру комбінований (письмова частина супроводжується усним захистом)

Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін квантова механіка, фундаментальні проблеми квантової механіки, лінійна алгебра, методи математичної фізики.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками; в) <i>практичні</i> – виконання практичних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних об'єктів.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, доступ до інтернету
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • практичні/самостійні тощо: 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20 • контрольні заміри (модулі): 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30 • іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50 <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що аспіранти виконають декілька видів письмових робіт (тестування, письмова частина іспиту).</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи аспірантів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших аспірантів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі аспіранта є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі аспіранти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Аспіранти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку аспіранти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю література, яку аспіранти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Аспіранти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на практичних заняттях, самостійній роботі, поточному тестуванні та підсумковому іспиті. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність аспіранта під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та</p>

	<p>плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Питання до екзамену	<ol style="list-style-type: none"> 1. Класичні та квантові біги. 2. Матриця густини спіна $1/2$. 3. Простір станів для дворівневої квантової системи. 4. Еволюція спіна в магнітному полі. 5. Двоспінові системи та їх еволюція. 6. Заплутані стани та міра заплутаності. 7. Створення заплутаних станів. 8. Реалізація беллівських станів на системі двох спінів. 9. Еволюція двох взаємодіючих спінів у магнітному полі. 10. Вимірювання станів для системи двох спінів. Заплутаність у багатоспіновій системі. 11. Означення класичного та квантового логічних елементів. 12. Одно- та багатоквабітові квантові логічні елементи. 13. Реалізація логічних елементів на дворівневій квантовій системі. 14. Реалізація двоквабітових логічних елементів на системі двох взаємодіючих спінів. 15. Класичні алгоритми та їх характеристики. 16. Квантові алгоритми та їх переваги. 17. Квантове перетворення Фур'є. 18. Задача Дойча–Йожи. Алгоритм Шора факторизації чисел. 19. Алгоритм пошуку Гровера. 20. Фізична реалізація квантових алгоритмів. 21. Означення декогеренції. 22. Декогеренція спіна у флуктуючому магнітному полі. 23. Точна модель декогеренції. 24. Спостереження декогеренції на реальних фізичних системах. 25. Вплив декогеренції на роботу квантових процесорів. 26. Декогеренція та нулі статистичної суми Лі–Янга.
Опитування	

Таблиця 1

Схема курсу "Квантові комп'ютери та квантові обчислення"

Тиждень	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Додаткова література / ресурс для виконання завдань (за потреби)	Термін виконання
1,2	Квантові біги та їх фізична реалізація (Класичні та квантові біги. Матриця густини спіна $1/2$. Простір станів для дворівневої квантової системи. Еволюція спіна в магнітному полі. Двоспінові системи та їх еволюція)	Лекції – 4 год, практич. заняття – 2 год, самостійна робота – 6 год		2 тижні

3,4,5	Заплутані квантові стани та квантові кореляції. (Заплутані стани та міра заплутаності. Створення заплутаних станів. Реалізація беллівських станів на системі двох спінів. Еволюція двох взаємодіючих спінів у магнітному полі. Вимірювання станів для системи двох спінів. Заплутаність у багатоспіновій системі)	Лекції – 6 год, практ. Заняття – 3 год, самостійна робота – 8 год		3 тижні
6, 7, 8	Квантові логічні елементи. (Означення класичного та квантового логічних елементів. Одно- та багатоквабітові квантові логічні елементи. Реалізація логічних елементів на дворівневій квантовій системі. Реалізація двоквабітових логічних елементів на системі двох взаємодіючих спінів)	Лекції – 6 год, практ. Заняття – 3 год, самостійна робота – 8 год		3 тижні
9, 10	Квантові алгоритми. (Класичні алгоритми та їх характеристики. Квантові алгоритми та їх переваги. Квантове перетворення Фур'є. Задача Дойча-Йожи. Алгоритм Шора факторизації чисел. Алгоритм пошуку Гровера. Фізична реалізація квантових алгоритмів)	Лекції – 8 год, практ. Заняття – 4 год, самостійна робота – 10 год		4 тижні
11, 12	Декогеренція квантових систем. (Означення декогеренції. Декогеренція спіна у флуктуючому магнітному полі. Точна модель декогеренції. Спостереження декогеренції на реальних фізичних системах. Вплив декогеренції на роботу квантових процесорів. Декогеренція та нулі статистичної суми Лі-Янга)	Лекції – 8 год, практ. заняття – 4 год, самостійна робота – 10 год		4 тижні