

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Львівський національний університет імені Івана Франка

ЗАТВЕРДЖЕНО ВЧЕНОЮ РАДОЮ

Львівського національного університету
імені Івана Франка

Голова вченої ради

Мельник В.П.

протокол № 8/4 від «28» квітня 2021 р.

Освітня програма в оновленій редакції вводиться
в дію з 01.09.2021 р.

ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА

Квантові комп'ютери та квантове програмування

Другого (магістерського) рівня вищої освіти

За спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Галузі знань 10 природничі науки

Кваліфікація: *Магістр з фізики та астрономії за спеціалізацією квантові комп'ютери та квантове програмування. Викладач*

Розроблено робочою групою галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія у складі:

1. доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики
Ткачук В. М. (гарант освітньої програми)
2. доктор фізико-математичних наук, доцент *Гнатенко Х. П.*
3. кандидат фізико-математичних наук, доцент *Чорнодольський Я. М.*
4. кандидат фізико-математичних наук, доцент *Самар М. І.*

Рецензії-відгуки зовнішніх стейкхолдерів:

1. Інститут фізики конденсованих систем Національної академії наук України.
2. Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я. С. Підстригача Національної академії наук України.
3. Інститут теоретичної фізики імені М. М. Боголюбова Національної академії наук України.
4. Фізико-механічний інститут імені Г.В.Карпенка.

**Керівник проектної групи,
гарант освітньої програми**



проф. В. М. Ткачук

ПОГОДЖЕНО:

**Вчена рада фізичного факультету
Протокол № 3 від 11.03.2021 року**

Декан фізичного факультету



проф. П. М. Якібчук

I. Профіль освітньої програми магістра зі спеціальності 104 Фізика та астрономія

1. Загальна інформація	
Повна назва вищого навчального закладу та структурного підрозділу	Львівський національний університет імені Івана Франка Фізичний факультет Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука,
Ступінь вищої освіти та назва кваліфікації	Магістр. Магістр з фізики та астрономії за спеціалізацією квантові комп'ютери та квантове програмування. Викладач
Офіційна назва освітньої програми	Освітньо-наукова програма “Квантові комп'ютери та квантове програмування”
Тип диплома та обсяг освітньої програми	Диплом магістра, одиничний, 120 кредитів ЄКТС, термін навчання 1 рік 9 місяців
Наявність акредитації	Міністерство освіти і науки України. Сертифікат про акредитацію серія НД № 1492516 Львівський національний університет імені Івана Франка відповідно до рішення Акредитаційної комісії від 27 грудня 2013 р. протокол №108 (наказ МОН України від 08.01.2014 №1-Л) з галузі знань (спеціальності) 10 Природничі науки 104 Фізика та астрономія визнано акредитованим за рівнем магістр (на підставі наказу МОН України від 19.12.2016 №1565). Термін дії — 01.07 2024 р.
Цикл / рівень	НРК України – 7 рівень <i>FQ-EHEA — другий цикл, EQF-LLL — 7 рівень</i>
Передумова	Наявність ступеня бакалавра
Мова викладання	Українська; окремі курси — англійською
Термін дії	5 років (до наступного планового оновлення, не перевищуючи періоду акредитації)
Інтернет-адреса постійного розміщення опису освітньої програми	http://physics.lnu.edu.ua/academics/osvitni-programy
2. Мета і завдання освітньої програми	
Підготовка висококваліфікованих та конкурентоспроможних фахівців з ґрунтовними теоретичними знаннями та практичними навичками; надання ґрунтовної освіти в галузі фізики та астрономії із широким доступом до працевлаштування та продовження навчання за третім (освітньо-науковим) рівнем вищої освіти.	
3. Характеристики освітньої програми	
Предметна область (галузь знань, напрям підготовки спеціалізація (за наявності))	Галузь знань – 10 природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія Спеціалізація – Квантові комп'ютери та квантове програмування
Орієнтація освітньої програми	Освітньо-наукова програма магістра. Програма спрямована на володіння фундаментальними знаннями та навичками фізичних досліджень в області квантових комп'ютерів та квантового програмування, враховує

	<p>новітні вимоги щодо зв'язку теоретичних знань з їхнім застосуванням фізиці через проходження педагогічної асистентської і виробничої (переддипломної) практики на кафедрі теоретичної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка, формує фахівців з квантових комп'ютерів та квантового програмування. Процес навчання включає ознайомлення з найсучаснішими досягненнями у світовій науці за напрямками фізичних досліджень, що є основою для формування фахівців, здатних не лише використовувати набуті знання, але й генерувати нові на базі сучасних досягнень науки.</p> <p>Програма передбачає поглиблене вивчення фізичних, математичних та комп'ютерних предметів, а також англійської мови з виробленням практичного застосування набутих знань у наукових дослідженнях, зокрема для розв'язання проблем квантової інформації та квантового програмування.</p>
<p>Основний фокус освітньої програми</p>	<p>Об'єкти: фізичні та астрономічні об'єкти і процеси на всіх структурних рівнях організації матерії від елементарних частинок до Всесвіту, найбільш загальні закономірності, які описують властивості, різні форми руху і будову матерії та формують нові природничо-наукові знання.</p> <p>Цілі навчання: підготовка фахівців, здатних здійснювати наукові дослідження і розв'язувати складні задачі та проблеми з фізики та/або астрономії, а також їх застосувань у різних сферах науки і техніки.</p> <p>Теоретичний зміст предметної області: основні поняття, принципи, концепції та методи теоретичної та експериментальної фізики, астрономії й астрофізики, їх застосування для вирішення наукових і прикладних задач.</p> <p>Методи, методики та технології: методи експериментальних фізичних та астрономічних досліджень, математичні методи теоретичної фізики та астрономії, методи фізичного і математичного моделювання фізичних систем і процесів, методи комп'ютерного експерименту, методи статистичної обробки результатів експерименту та аналізу даних.</p> <p>Інструменти та обладнання: наукові прилади для фізичних та астрономічних досліджень і вимірювань, обчислювальна техніка, спеціалізоване програмне забезпечення.</p>
<p>Особливості програми</p>	<p>Програма спрямована на оволодіння фундаментальними знаннями та навичками досліджень з квантових комп'ютерів та квантової інформації, враховує новітні вимоги щодо зв'язку теоретичних положень та їх практичного застосування, формує фахівців із добрим логічним мисленням та уявою, здатних використовувати не лише набуті знання, але й генерувати нові ідеї на базі сучасних досягнень науки.</p> <p>Ця програма передбачає поглиблені знання з квантової інформації і практичні навички програмування на квантових комп'ютерах, створення можливостей для академічної мобільності і стажування на фізичних факультетах як провідних закладів вищої освіти України, так і за кордоном.</p>
<p>4. Придатність випускників до працевлаштування та подальшого навчання</p>	
<p>Придатність до працевлаштування</p>	<p>Набуті компетентності можуть застосовуватися у дослідницькій та інших сферах зайнятості на національному та міжнародному</p>

	<p>рівнях.</p> <p>Випускник магістратури може працювати на посадах наукових співробітників науково-дослідних секторів Вищих навчальних закладів, науково-дослідних інститутів, інженерів-дослідників, молодших наукових співробітників, науково-технічних фахівців з квантових комп'ютерів та квантового програмування, інженерів-програмістів у науково-дослідних інститутах.</p>
Академічні права випускників	Мають право продовжити навчання на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти та здобувати додаткові кваліфікації в системі освіти дорослих.
5. Викладання та оцінювання	
Викладання та навчання	<p>У даній програмі використовується студентоцентроване, проблемно-орієнтоване, самонавчання, а також електронне навчання в системах Moodle та у системі електронного тестування ЛНУ імені Івана Франка.</p> <p>Викладання організовано у формі лекцій, лабораторних робіт, практично-семінарських занять, самостійної роботи студентів, індивідуальних занять та консультацій.</p>
Оцінювання	<p>Оцінювання навчальних досягнень студентів здійснюється за системою ECTS (100-бальна шкала) та національною шкалою оцінювання.</p> <p><i>Поточний контроль</i> – усне та письмове опитування, колоквіуми, модульні контрольні роботи, захист індивідуальних завдань.</p> <p><i>Підсумковий контроль</i> – екзамени та заліки з урахуванням балів поточного контролю, захист магістерських робіт та практик.</p> <p><i>Державна атестація</i> – державний екзамен, підготовка та публічний захист (представлення) кваліфікаційної (магістерської) роботи. Атестація здійснюється у формі публічного захисту.</p>
6. Програмні компетентності	
Інтегральна компетентність	Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.
Загальні компетентності (ЗК)	<p>ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p>ЗК06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.</p> <p>ЗК07. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</p>
Спеціальні (фахові) компетентності (СК)	<p>СК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.</p> <p>СК02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>СК03. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям.</p>

	<p>СК04. Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень у галузі фізики та/або астрономії .</p> <p>СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опановувати знання та навички, необхідні для розв’язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.</p> <p>СК06. Здатність розробляти наукові та прикладні проекти, керувати ними та оцінювати їх на основі фактів.</p> <p>СК07. Здатність організовувати освітній процес та проводити практичні та лабораторні заняття з фізичних та/або астрономічних навчальних дисциплін в закладах вищої освіти.</p> <p>СК08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у галузі фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв’язання, беручи до уваги наявні ресурси.</p> <p>СК09. Здатність ефективно використовувати на практиці сучасні теорії методи управління наукою та ділового адміністрування.</p> <p>СК10. Здатність створювати квантові протоколи та реалізовувати їх на квантових комп’ютерах</p> <p>СК11. Здатність розв’язувати задачі квантової інформації аналітично та за допомогою квантових обчислень</p> <p>СК12. Здатність моделювати фізичні системи та досліджувати їх властивості на квантових комп’ютерах</p> <p>СК13. Здатність застосовувати квантове програмування для розв’язання прикладних задач</p>
<p>7. Програмні результати навчання</p>	
<p>Результати навчання (РН)</p>	<p>РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв’язання складних задач і практичних проблем.</p> <p>РН02. 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.</p> <p>РН03. Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових та прикладних досліджень у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>РН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.</p> <p>РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об’єктів і процесів.</p> <p>РН06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>РН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді.</p>

РН08. Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.

РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись з колегами.

РН10. Відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отриману інформацію та дані.

РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

РН12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень.

РН13. 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.

РН14. Розробляти та викладати фізичні та/або астрономічні навчальні дисципліни в закладах вищої, фахової передвищої, професійної (професійно-технічної), загальної середньої та позашкільної освіти, застосовувати сучасні освітні технології та методики, здійснювати необхідну консультативну методичну підтримку здобувачів освіти.

РН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки, за результатами дослідження.

РН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень у галузі фізики та астрономії.

РН17. Розробляти та використовувати квантові алгоритми для дослідження властивостей фізичних систем.

РН18. Застосовувати теоретичні знання в області квантової інформації для розв'язання задач на квантових комп'ютерах.

РН19. Проводити наукові дослідження в області квантової інформації.

РН20. Розв'язувати прикладні задачі з використанням квантових алгоритмів.

8. Ресурсне забезпечення реалізації програми

Кадрове забезпечення

Розробники програми: 2 доктори наук, 2 кандидати наук. Всі розробники є штатними співробітниками Львівського національного університету імені Івана Франка.

Гарант освітньої програми: Ткачук Володимир Михайлович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики.

Склад проектної групи освітньої програми, професорсько-викладацький склад, що задіяний до викладання навчальних дисциплін за спеціальністю, відповідають ліцензійним умовам

	<p>провадження освітньої діяльності на другому (магістерському) рівні вищої освіти.</p> <p>Навчальний процес забезпечують доценти та професори кафедр ЛНУ імені Івана Франка.</p>
Матеріально-технічне забезпечення	Навчальний процес забезпечений необхідними матеріально-технічними ресурсами для організації освітнього процесу, у тому числі самостійної роботи студентів, а саме: навчальними аудиторіями, лабораторіями із сучасним устаткуванням, комп'ютерними робочими місцями, мультимедійним обладнанням, базами виробничої практики.
Інформаційне та навчально-методичне забезпечення	Офіційний веб-сайт http://www.lnu.edu.ua містить інформацію про освітні програми, навчальну, наукову і виховну діяльність, структурні підрозділи, правила прийому, контакти; необмежений доступ до мережі Інтернет; наукова бібліотека, читальні зали; віртуальне навчальне середовище Moodle; навчальні і робочі плани; графіки навчального процесу; навчально-методичні комплекси дисциплін; дидактичні матеріали для самостійної та індивідуальної роботи студентів з дисциплін, програми практик; методичні вказівки щодо виконання курсових робіт (проектів), кваліфікаційних робіт.
9. Академічна мобільність	
Національно-кредитна мобільність	На основі двосторонніх договорів між Львівським національним університетом імені Івана Франка та університетами України.
Міжнародна кредитна мобільність	На основі двосторонніх договорів між Львівським національним університетом імені Івана Франка та вищими навчальними закладами зарубіжних країн, з якими укладені договори про співпрацю та співробітництво.
Навчання іноземних здобувачів вищої освіти	Навчання іноземних студентів проводиться на загальних підставах за умови знання української мови.

2. Перелік компонентів освітньо-наукової програми та їх логічна послідовність

2.1. Перелік компонентів ОП

Код н/д	Компоненти освітньої програми (навчальні дисципліни, курсові проекти, практики, кваліфікаційна робота)	Кількість кредитів	Форма підсумкового контролю
1	2	3	4
Обов'язкові компоненти ОП			
ОК 1	Педагогіка вищої школи	3,5	Залік
ОК 2	Методика викладання фізики у ВНЗ	5,0	Залік
ОК 3	Педагогічна асистентська практика	6,0	Диф. залік
ОК 4	Фундаментальні проблеми квантової механіки	6,5	Іспит
<i>Спеціалізація "Квантові комп'ютери та квантове програмування"</i>			
ОК 5	Класична та квантова інформація	4,0	Залік
ОК 6	Заплутані квантові стани та міра заплутаності	4,5	Іспит
ОК 7	Класичне програмування	3,0	Залік
ОК 8	Квантова статистична механіка	4,0	Іспит
ОК 9	Квантові комп'ютери та квантові логічні елементи	3,0	Іспит

ОК 10	Квантове програмування	5,0	Іспит
ОК 11	Квантові алгоритми та квантова перевага	4,5	Іспит
ОК 12	Дослідження властивостей фізичних систем на квантових комп'ютерах	5,0	Іспит
<i>Дослідницький (науковий) компонент</i>			
ОК 13	Декогеренція квантових станів	3,0	Іспит
ОК 14	Квантове машинне навчання та обробка даних	3,0	Іспит
ОК 15	Квантові графи та мережі	3,0	Залік
ОК 16	Квантові комунікації	3,0	Залік
ОК 17	Виробнича науково-дослідна практика	9,0	Диф. залік
ОК 18	Кваліфікаційна робота	15,0	Захист
Загальний обсяг обов'язкових компонентів:		90	
Дисципліни вільного вибору			
ВК 1	Дисципліни вільного вибору гуманітарної та соціально-економічної підготовки	3,0	Залік
ВК 2	Архітектура квантових комп'ютерів Фізична реалізація квантових комп'ютерів	4,5	Залік
ВК 3	Нерівності Белла (Bell inequalities) Квантова телепортація (Quantum teleportation)	3,5	Залік
ВК 4	Філософські проблеми квантової механіки Парадокси квантової механіки та їхні філософські аспекти. Філософські проблеми природознавства.	3,0	Залік
ВК 5	Теорія зоряних спектрів Квантомеханічні аспекти астрофізики	3,0	Залік
ВК 6	Актуальні проблеми квантової механіки Досягнення та перспективи квантової механіки	5,0	Залік
ВК 7	Квантова оптика Квантова теорія твердого тіла	3,0	Залік
ВК 8	Квантові алгоритми та квантова музика Відповідність квантових алгоритмів та музики	5,0	Залік
Загальний обсяг вибіркових компонентів:		30	
ЗАГАЛЬНИЙ ОБСЯГ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ:		120	

2.2 Структурно-логічна схема освітньої програми

Курс навчання, обсяг навантаження в кредитах	Послідовність вивчення компонентів освітньої програми
1 курс, 1 семестр, 30 кредитів	ОК 1, ОК 4, ОК 5, ОК 7, ОК 8, ОК 9, ВК 2, ВК 3,
1 курс, 2 семестр, 30 кредитів	ОК 2, ОК 6, ОК 10, ОК 11, ОК 15, ВК 1, ВК 3, ВК 5
2 курс, 3 семестр, 30 кредитів	ОК 12, ОК 13, ОК 14, ОК 16, ВК 4, ВК 6, ВК 7, ВК 8
2 курс, 4 семестр, 30 кредитів	ОК 3, ОК 17, ОК 18

3. Форма атестації здобувачів вищої освіти

Форми атестації здобувачів вищої освіти	Атестація здобувачів вищої освіти здійснюється у формі публічного захисту кваліфікаційної роботи.
Вимоги до кваліфікаційної роботи	Кваліфікаційна робота магістра є завершеною розробкою, що відображає інтегральну компетентність її автора. У кваліфікаційній роботі повинні бути викладені результати експери-

ментальних та/або теоретичних досліджень, спрямованих на розв'язання задач дослідницького або інноваційного характеру в галузі фізики та/або астрономії.
 Кваліфікаційна робота не повинна містити академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації.
 Кваліфікаційна робота має бути розміщена на сайті закладу вищої освіти або його підрозділу, або у репозитарії закладу вищої освіти. Оприлюднення кваліфікаційних робіт, що містять інформацію з обмеженим доступом, здійснювати у відповідності до вимог чинного законодавства.

4. Матриця відповідності програмних компетентностей компонентам освітньої програми

	OK 1	OK 2	OK 3	OK 4	OK 5	OK 6	OK 7	OK 8	OK 9	OK 10	OK 11	OK 12	OK 13	OK 14	OK 15	OK 16	OK 17	OK 18	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 5	BK 6	BK 7	BK 8
ЗК 01		+				+				+	+				+						+			+		
ЗК 02	+	+		+				+							+	+			+		+		+			
ЗК 03	+			+		+	+	+	+				+					+	+			+	+			+
ЗК 04	+						+						+	+				+	+	+			+			+
ЗК 05							+			+					+	+			+							+
ЗК 06		+		+	+		+					+	+	+							+	+		+		
ЗК 07	+											+						+					+		+	
СК 01					+			+	+				+		+	+				+		+	+		+	
СК 02		+	+			+						+						+			+					+
СК 03	+	+	+	+														+	+					+		+
СК 04		+	+	+			+											+						+		
СК 05				+	+	+		+	+			+		+				+		+	+		+		+	
СК 06		+	+	+																						
СК 07	+	+	+	+																						
СК 08						+		+				+		+									+			+
СК 09																		+	+							
СК 10									+	+					+	+						+				
СК 11					+					+	+			+		+					+					
СК 12											+	+														+
СК 13								+	+			+		+												+

1. Матриця забезпечення програмних результатів навчання відповідними компонентами освітньої програми

	OK 1	OK 2	OK 3	OK 4	OK 5	OK 6	OK 7	OK 8	OK 9	OK 10	OK 11	OK 12	OK 13	OK 14	OK 15	OK 16	OK 17	OK 18	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 5	BK 6	BK 7	BK 8	
PH 01	+	+	+		+		+	+					+				+				+		+	+			
PH 02	+				+				+			+			+				+				+	+			
PH 03																		+	+								
PH 04							+				+		+										+		+		
PH 05	+			+			+	+				+						+	+				+		+		

PH 06					+			+						+	+				+			+			
PH 07		+	+											+	+		+			+					+
PH 08		+	+				+														+				
PH 09					+			+		+				+		+	+			+		+		+	
PH 10		+	+	+				+						+	+			+	+				+		
PH 11		+	+	+					+				+					+	+			+	+		+
PH 12						+	+			+	+			+						+	+				+
PH 13						+	+				+			+	+	+								+	+
PH 14	+	+	+																+						
PH 15											+								+						
PH 16						+					+												+		+
PH 17										+		+									+				
PH 18									+			+		+					+						+
PH 19					+				+	+	+								+						
PH 20						+			+	+	+				+						+				