

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Львівський національний університет імені Івана Франка

ЗАТВЕРДЖЕНО ВЧЕНОЮ РАДОЮ
Львівського національного університету
імені Івана Франка

Голова вченої ради

 Володимир МЕЛЬНИК
протокол № 45/3 від « 28 » березня 2023 р.

Освітня програма в оновленій редакції вводиться
в дію з 01.09.2023 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

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

1. *Ткачук Володимир Михайлович* — доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики (гарант освітньої програми)
2. *Гнатенко Христина Павлівна* — доктор фізико-математичних наук, професор
3. *Чорнодольський Ярослав Миколайович* - кандидат фізико-математичних наук, доцент
4. *Самар Микола Іванович* — кандидат фізико-математичних наук, доцент
5. *Возняк Олекса Орестович* — кандидат фізико-математичних наук, засновник ІТ-компанії «Бізнес-технології онлайн», депутат Львівської міської ради
6. *Явір Дмитро Ярославович* — студент 2 -року навчання магістратури

Рецензії-відгуки зовнішніх стейкхолдерів:

1. Брик Тарас Михайлович, Інститут фізики конденсованих систем Національної академії наук України (м. Львів).
2. Пляцко Роман Михайлович, Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я. С. Підстригача Національної академії наук України (м. Львів).

Керівник проектної групи,
гарант освітньої програми

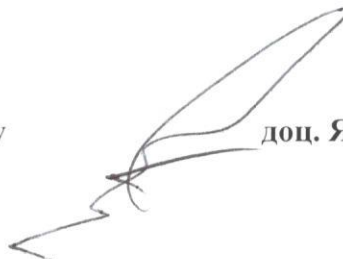


проф. Володимир ТКАЧУК

ПОГОДЖЕНО:

Вчена рада фізичного факультету
Протокол № 2 від 22.03.2023 року

В. о. декана фізичного факультету



доц. Ярослав ЧОРНОДОЛЬСЬКИЙ

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
Ступінь вищої освіти та назва кваліфікації	Магістр. Магістр з фізики та астрономії
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 ОС Бакалавра, ОС Магістра, ОКР Спеціаліста
Мова викладання	Українська; окремі курси — англійською
Термін дії	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 освітньої програми	
Підготовка висококваліфікованих та конкурентоспроможних фахівців з ґрунтовними теоретичними знаннями та практичними навичками в області квантових комп’ютерів та квантового програмування.	
3. Характеристики освітньої програми	
Предметна область (галузь знань, напрям підготовки спеціалізація (за наявності))	Галузь знань – 10 природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія 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. 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 та техніки. 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. 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

	<p>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>
Орієнтація освітньої програми	Освітньо-наукова програма підготовки магістра.
Основний фокус освітньої програми	<p>Спеціальна освіта в галузі 10 Природничі науки спеціальності 104 Фізика та астрономія</p> <p>Ключові слова: Квантова інформація, квантове програмування, квантові комп'ютери, заплутаність квантових станів, квантова механіка</p>
Особливості програми	<p>Програма створена з врахуванням найновітніших наукових та технологічних досягнень в області квантових комп'ютерів та квантового програмування. Вона передбачає поглиблене вивчення дисциплін з квантових обчислень, квантових технологій, квантової фізики та класичного програмування з виробленням практичного застосування набутих знань у наукових дослідженнях, зокрема для розв'язання проблем квантової інформації та квантового програмування.</p> <p>Програма передбачає формування практичних навичок програмування на квантових комп'ютерах, створення можливостей для академічної мобільності і стажування на фізичних факультетах закладів вищої освіти України, так і за кордоном.</p>
4. Придатність випускників до працевлаштування та подальшого навчання	
Придатність до працевлаштування	<p>Набуті компетентності можуть застосовуватися у дослідницькій та інших сферах зайнятості на національному та міжнародному 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> <p>Перелік професій згідно Національного класифікатора України (ДК 003: 2010) «Класифікатор професій»:</p> <p>2111 Професіонали в галузі фізики та астрономії</p> <p>2111.1 Наукові співробітники (фізика та астрономія)</p> <p>2111.2 Фізики та астрономи</p> <p>2149.2 Інженери-дослідники</p> <p>2310.2 Викладач закладу вищої освіти</p> <p>2310.2 Асистент</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	Студентоцентроване, проблемно-орієнтоване, самонавчання, а також електронне навчання в системах Moodle та у системі електронного навчання ЛНУ імені Івана Франка. Викладання організовано у формі лекцій, лабораторних робіт, практично-семінарських занять, самостійної роботи студентів, індивідуальних занять та консультацій. Виробнича практика на базі кафедр фізичного факультету, партнерських інституцій.

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, колоквиуми, 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>Атестація</i> – кваліфікаційна робота із захистом в ЕК.</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>

СК13. Здатність застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач

7. Програмні результати навчання

Результати навчання (РН)

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.

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.

РН03. Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових та прикладних досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

РН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.

РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

РН06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії.

РН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді.

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,

	<p>здійснювати необхідну консультативну методичну підтримку здобувачів освіти.</p> <p>РН15. Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки, за результатами дослідження.</p> <p>РН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень у галузі фізики та астрономії.</p> <p>РН17. Створювати квантові протоколи та реалізовувати їх на квантових комп'ютерах</p> <p>РН18. Розв'язувати задачі квантової інформації аналітично та за допомогою квантових обчислень</p> <p>РН19. Моделювати фізичні системи та досліджувати їх властивості на квантових комп'ютерах</p> <p>РН20. Застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач</p>
8. Ресурсне забезпечення реалізації програми	
Кадрове забезпечення	<p>Розробники програми: 2 доктори наук, 2 кандидати наук. Всі розробники є штатними співробітниками Львівського національного університету імені Івана Франка.</p> <p>Гарант освітньої програми: Ткачук Володимир Михайлович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики.</p> <p>Склад проектної групи освітньої програми, професорсько-викладацький склад, що задіяний до викладання навчальних дисциплін за спеціальністю, відповідають ліцензійним умовам 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	<p>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.</p>
Інформаційне та навчально-методичне забезпечення	<p>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.</p>
9. Академічна мобільність	
Національно-кредитна мобільність	<p>На основі двосторонніх договорів між Львівським національним університетом імені Івана Франка та університетами України.</p>
Міжнародна кредитна мобільність	<p>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.</p>

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

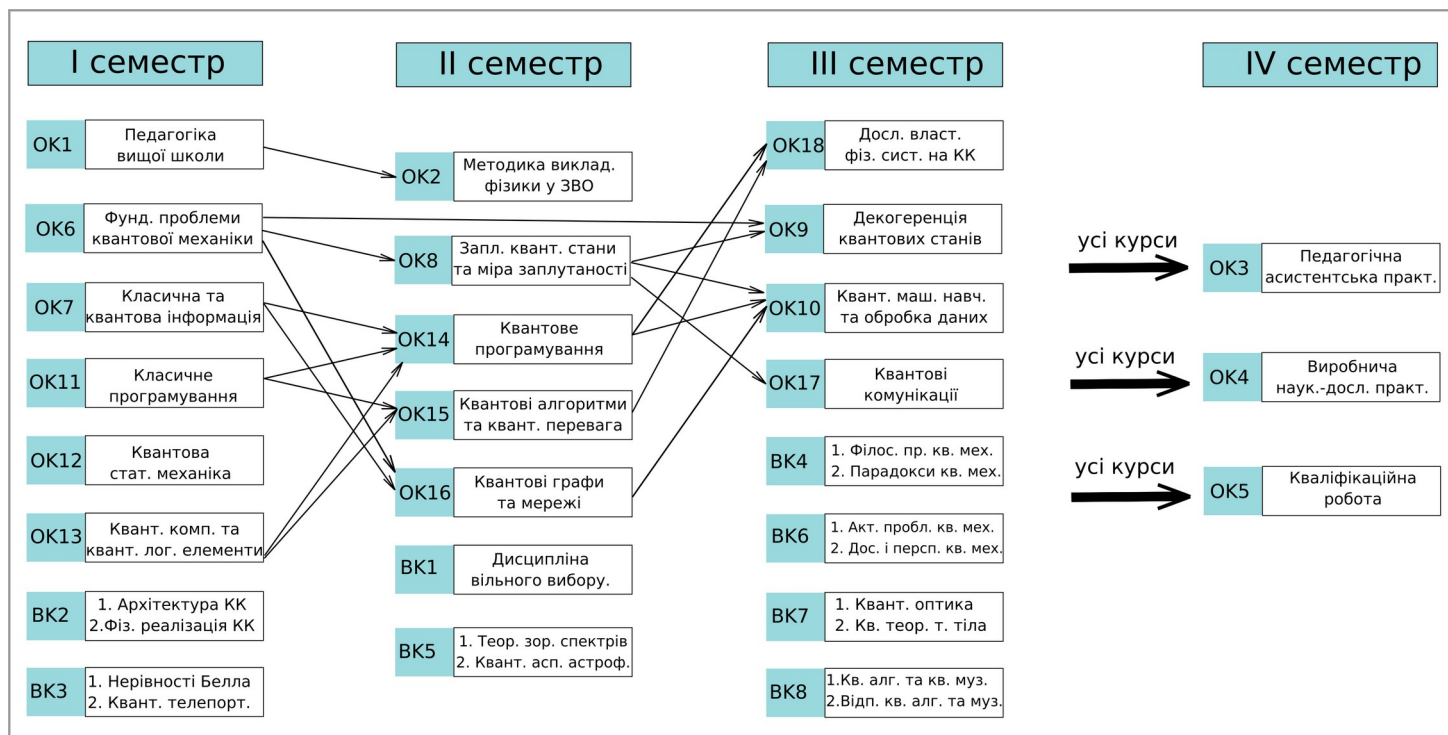
2.1. Перелік компонентів ОП

Код н/д	Шифр	Компоненти освітньої програми (навчальні дисципліни, курсові проекти, практики, кваліфікаційна робота)	Кількість кредитів	Форма підсумкового контролю
1. НОРМАТИВНІ НАВЧАЛЬНІ ДИСЦИПЛІНИ				
1.1. Цикл загальної підготовки				
ОК 1	ЗК1.1.01	Педагогіка вищої школи	3,5	Залік
1.2. Цикл професійної та практичної підготовки				
ОК 2	ПП1.2.01	Методика викладання фізики у ЗВО	5,0	Залік
ОК 3	ПП1.2.02	Педагогічна асистентська практика	6,0	Диф. залік
ОК 4	ПП1.2.03	Виробнича науково-дослідна практика*	9,0	Диф. залік
ОК 5	ПП1.2.04	Кваліфікаційна робота*	15,0	Захист
ОК 6	ПП1.2.05	Фундаментальні проблеми квантової механіки (Fundamental problems of quantum mechanics)	6,5	Іспит
Освітня програма “Квантові комп’ютери та квантове програмування”				
ОК 7	ПП1.2.1.01	Класична та квантова інформація (Classical and quantum information) *	4,0	Залік
ОК 8	ПП1.2.1.02	Заплутані квантові стани та міра заплутаності (Entangled quantum states and measure of entanglement) *	4,5	Іспит
ОК 9	ПП1.2.1.03	Декогеренція квантових станів	3,0	Іспит
ОК 10	ПП1.2.1.04	Квантове машинне навчання та обробка даних	3,0	Іспит
ОК 11	ПП1.2.1.05	Класичне програмування (Classical programming)	3,0	Залік
ОК 12	ПП1.2.1.06	Квантова статистична механіка	4,0	Іспит
ОК 13	ПП1.2.1.07	Квантові комп’ютери та квантові логічні елементи (Quantum computers and quantum gates)	3,0	Іспит
ОК 14	ПП1.2.1.08	Квантове програмування (Quantum programming)	5,0	Іспит
ОК 15	ПП1.2.1.09	Квантові алгоритми та квантова перевага (Quantum algorithms and quantum supremacy) *	4,5	Іспит
ОК 16	ПП1.2.1.10	Квантові графи та мережі (Quantum graphs and networks) *	3,0	Залік
ОК 17	ПП1.2.1.11	Квантові комунікації (Quantum communications)	3,0	Залік
ОК 18	ПП1.2.1.12	Дослідження властивостей фізичних систем на квантових комп’ютерах*	5,0	Іспит
Загальний обсяг обов’язкових компонент:			90	
2. ВИБІРКОВІ НАВЧАЛЬНІ ДИСЦИПЛІНИ				
2.1. Дисципліни вільного вибору студента				
2.1.1 Цикл загальної підготовки				
ВК 1	ЗК2.1.1.01	Дисципліни вільного вибору	3,0	Залік

2.1.2. Цикл професійної та практичної підготовки				
ВК 2	ПП2.1.2.01	Архітектура квантових комп'ютерів Фізична реалізація квантових комп'ютерів	4,5	Залік
ВК 3	ПП2.1.2.02	Нерівності Белла (Bell inequalities) Квантова телепортація (Quantum teleportation)	3,5	Залік
ВК 4	ПП2.1.2.03	Філософські проблеми квантової механіки Парадокси квантової механіки та їхні філософські аспекти.	3,0	Залік
ВК 5	ПП2.1.2.04	Теорія зоряних спектрів (Theory of stellar spectra) Квантовомеханічні аспекти астрофізики (Quantum aspects of astrophysics)	3,0	Залік
ВК 6	ПП2.1.2.05	Актуальні проблеми квантової механіки Досягнення та перспективи квантової механіки	5,0	Залік
ВК 7	ПП2.1.2.06	Квантова оптика Квантова теорія твердого тіла	3,0	Залік
ВК 8	ПП2.1.2.07	Квантові алгоритми та квантова музика (Quantum algorithms and quantum music) Відповідність квантових алгоритмів та музики (Relation of quantum algorithms with music)	5,0	Залік
Загальний обсяг вибірових компонент:			30	
ЗАГАЛЬНИЙ ОБСЯГ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ:			120	

* Дисципліни дослідницького (наукового) компонента

2.2 Структурно-логічна схема освітньої програми



3. Форма атестації здобувачів вищої освіти

Атестація здобувачів вищої освіти здійснюється у формі публічного захисту кваліфікаційної роботи та завершується видачею документа встановленого зразка про присудження ступеня магістра з присвоєнням кваліфікації «Магістр з фізики та астрономії».

Вимоги до кваліфікаційної роботи

Кваліфікаційна робота магістра є завершеною розробкою, що відображає інтегральну компетентність її автора. У кваліфікаційній роботі повинні бути викладені результати експериментальних 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 репозиторії 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

	ОК 1	ОК 2	ОК 3	ОК 4	ОК 5	ОК 6	ОК 7	ОК 8	ОК 9	ОК 10	ОК 11	ОК 12	ОК 13	ОК 14	ОК 15	ОК 16	ОК 17	ОК 18
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								+		+			+	+				+

5. 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
PH01				+	+	+	+		+		+	+					+	
PH02				+	+	+							+					+
PH03				+	+													+
PH04				+	+		+				+				+			
PH05				+	+	+	+		+		+	+					+	+
PH06				+	+	+						+		+		+	+	
PH07					+				+							+		+
PH08				+	+			+										
PH09		+	+	+	+	+				+		+		+		+	+	+
PH10				+	+				+			+				+		
PH11				+	+								+					+
PH12				+	+		+	+		+	+			+	+			
PH13				+	+	+	+	+			+					+	+	
PH14	+	+	+															
PH15				+	+				+									
PH16				+	+			+						+	+			
PH17										+	+			+			+	
PH18							+						+	+		+		+
PH19									+	+		+	+		+			
PH20								+		+			+		+			+