



НЕЛІНІЙНА ОПТИКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

- Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Обовязкова (нормативна) цикл професійної підготовки</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>ECTS – 3, Годин – 90, Лекції – 36, СРС – 54</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>МКР, Залік</i>
Розклад занять	<i>http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: Професор, Старший науковий співробітник, Стронський Олександр Володимирович https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603680521, https://orcid.org/0000-0002-5096-3740, https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=T912ZwMAAAAJ_alexander.stronski@gmail.com</i>
Розміщення курсу	

- Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Нелінійна оптика»

Дисципліна „Нелінійна оптика” відноситься до фундаментальних природничо-наукових програм. Вона вивчає нові нелінійно-оптичні явища, що виникають при взаємодії інтенсивного лазерного випромінювання з матеріальним середовищем. Дисципліна призначена для ознайомлення з теоретичними основами нелінійно-оптичних явищ та оволодіння можливістю їх практичного використання в основній фаховій роботі майбутніх спеціалістів. Причому основна увага приділяється як викладанню загальної картини явищ, так і їх теоретичному обґрунтуванню, експериментальних методів.

Силабус навчальної дисципліни «Нелінійна оптика» розроблений на основі принципу конструктивного вирівнювання (constructive alignment), що дозволяє

передбачити необхідні навчальні завдання та активності, які потрібні студентам для досягнення очікуваних результатів навчання, а потім спроектувати навчальний досвід таким чином, щоб максимально збільшити можливості студентів досягти бажаних результатів.

Силабус побудований таким чином, що для виконання кожного наступного завдання студентам необхідно застосовувати навички та знання, отримані у попередньому. Фінальним завданням є семестрове індивідуальне завдання у формі домашньої контрольної роботи з обов'язковим публічним захистом, для виконання якого студенти використовують теоретичні знання та застосовують практичні навички, отримані під час виконання всіх видів завдань (тематичних завдань) та активної участі на заняттях (виконання поточних завдань та активностей).

Особлива увага приділяється принципу заохочення студентів до активного навчання, у відповідності з яким студенти мають працювати над практичними тематичними завданнями, які дозволять в подальшому вирішувати реальні проблеми та завдання.

Під час навчання враховуються фактори, які впливають на навчання студентів, принципи ефективного навчання тощо. Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та стратегії взаємодії викладача та студента з метою засвоєння студентами матеріалу та розвитку у них практичних навичок.

Під час навчання та для взаємодії зі студентами використовуються сучасні інформаційно-комунікаційні та мережеві технології для вирішення навчальних завдань, а також обладнання (проектор та електронні презентації для лекційних та консультаційних занять); дистанційна форма навчання (лекційні заняття проводяться з використанням платформи ZOOM з відеозаписом).

- Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Місце навчальної дисципліни в програмі навчання

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Нелінійна оптика» можна використовувати в подальшому під час навчання всіх навчальних дисциплін, особливо у навчальних дисциплінах, пов'язаних з взаємодією електромагнітного випромінювання з речовиною.

Необхідні навички

1. Опанувати основні загальноосвітні природничі дисципліни з вищої математики, матаналізу, загальної фізики (оптики), квантової механіки, кристалографії, фізики твердого тіла.
2. Microsoft Word.
3. Microsoft PowerPoint.

Програмні результати навчання

В результаті вивчення навчальної дисципліни «Нелінійна оптика» та згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

Повинні знати:

- природу нелінійної поляризації матеріальних середовищ;

- тензорний характер нелінійних сприйнятливостей та обмеження, що накладаються на тензори симетрією матеріального середовища та переставною симетрією;
 - методи розрахунку нелінійних сприйнятливостей;
 - умови генерації другої гармоніки світла в квадратичному середовищі;
 - умови параметричного перетворення частоти світла в верх та вниз;
 - лінійний електрооптичний ефект (ефект Покельса), фізичні механізми, що визначають нелінійну рефракцію світла;
 - квадратичний електрооптичний ефект (ефект Керра), теорію двофотонного поглинання світла в напівпровідниках;
 - ефекти самофокусування, самодефокусування та самовикривлення світла в матеріальному середовищі;
 - ефекти самодифракції світла та відтворення хвильового фронту світлових пучків методами динамічної голографії;
 - ефект обертання хвильового фронту (ОХВ) та методи отримання ОХВ-хвиль;
 - явище оптичної бістабільності та моделі і типи оптичної бістабільності;
 - різноманітні режими роботи бістабільних пристроїв (оптичні обмежувачі, дискримінатори, логічні елементи);
- вміння:

- орієнтуватися в теоретичних основах нелінійно-оптичних явищ та їх експериментальних проявах, можливостях їх практичного використання в основній фаховій роботі, сучасних методичних підходах для їх дослідження.

досвід:

- застосовувати набуті знання у самостійній роботі, доповідати та представляти результати цієї роботи, а також відповідати на запитання

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК 1 Здатність до абстрактного та аналітичного мислення, розуміння основних концепцій, парадигми та ідей прикладної фізики.

ЗК 2 Здатність до навчання та самонавчання шляхом пошуку, аналізу та конструктивного синтезу інформації з різних джерел.

ЗК 7 Здатність ініціативно застосовувати знання в області прикладної фізики при вирішенні робочих питань, організації командної роботи, оцінці та забезпеченні якості виконуваних робіт, реалізації проектів.

ЗК 9 Здатність адаптуватися та діяти в нових ситуаціях під тиском обставин, зокрема, здатність до самостійного освоєння нових методів дослідження, зміни наукового й виробничого профілю своєї діяльності.

ЗК 12 Здатність до здійснення діяльності, безпечної для себе та суспільства та впровадження технологій сталого розвитку.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК)

ФК 1 Здатність виконувати аналіз спеціальної літератури та на цій основі формулювати наукову або науково-технічну проблему, обирати методи її розв'язання, складати плани наукових досліджень та науково-технічних розробок у галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК 2 Здатність до безперервного поглиблення фундаментальних знань та систематичного вивчення та аналізу нової науково-технічної інформації, світового досвіду в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК 3 Здатність застосовувати теоретичні знання для аналізу фізичних систем, явищ і процесів в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК 4 Здатність розробити схему фізичного експерименту та обрати необхідне лабораторне обладнання для проведення експерименту, проводити експериментальне дослідження властивостей фізичної системи, явищ і процесів.

ФК 7 Здатність швидко опанувати і експлуатувати складне наукомістке обладнання як дослідницьке, так і технологічне.

ФК 9 Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, систем, обладнання, речовин і матеріалів (наноматеріалів).

ФК 10 Здатність до аналізу фізичних принципів імплементації інформаційних процесів в фізичних системах.

ФК 11 Здатність до вибору методів дослідження структури, складу та властивостей матеріалів (наноматеріалів), що використовуються або застосовуються в фізичних системах, вибору оптимальних параметрів дослідження і розуміння границь застосування обраного методу.

ФК 12 Здатність готувати об'єкти для дослідження властивостей, явищ і процесів у фізичній, біофізичній системах, в області високих фізичних технологій, фізики живих систем та новітніх джерел енергії.

Програмні результати навчання (ПРН)

ПРН 1 Знання окремих розділів прикладної фізики на рівні, необхідному для виконання експериментальних досліджень та аналізу результатів в контексті існуючих теорій за умов невизначеності і неповноти експериментальних даних.

ПРН 3 Знання сучасних технологій та методів експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів (наноматеріалів) та їхніх застосувань.

ПРН 5 Знання основ професійно-орієнтованих дисциплін спеціальності, зокрема, високих фізичних технологій, сучасного матеріалознавства на рівні, необхідному для успішної роботи в наукових колективах, що працюють в галузі прикладної фізики.

ПРН 8 Знання закономірностей розвитку прикладної фізики, її місця в розвитку техніки.

ПРН 9 Вміння застосовувати фізичні, математичні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів, нових матеріалів і наукоємних технологій.

ПРН 10 Вміння вибирати методи та інструментальні засоби проведення досліджень в одній із галузей прикладної фізики (залежно від освітньої траєкторії), користуватись обладнанням та устаткуванням для здійснення фізичного експерименту.

ПРН 11 Вміння знаходити науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій.

ПРН 12 Вміння класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну, патентну, популярну інформацію в галузі прикладної фізики.

ПРН 13 Вміння використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземною мовами, вміння читати та розуміти фахові англомовні джерела.

- **Зміст навчальної дисципліни**

Розділ 1. Лінійна та нелінійна поляризація матеріального середовища.

Розділ 2. Нелінійні явища, пов'язані з квадратичною нелінійною сприйнятливістю.

Розділ 3. Нелінійні явища, пов'язані з кубічною нелінійною сприйнятливістю.

Розділ 4. Динамічна голографія (Обертання хвильового фронту).

Розділ 5. Оптична бістабільність.

- **Навчальні матеріали та ресурси**

Основна література

1. І.В.Фекешгазі, В.Ф.Когденко. Нелінійна оптика напівпровідників, «Знання», Київ.-1975.-63С.
2. В.І.Григорук, Коротков П.А., Хижняк А.І. Лазерна фізика К.: „МП Леся”.- 1997.-480с.
3. М.Мілер. Голографія Л.:”Машиностроение”.-1979.-207с.

Додаткова література:

1. Boyd R.W. Non-linear Optics, 4-th edition 2020 Elsevier Academic press. 634 P.
2. Justin Peatross Michael Ware Brigham Physics of Light and Optics Young University 2015 Edition October 22, 2017 337 P.
3. Fundamentals of Nonlinear Optics ECED 6400 Lecture Notes с 2016 Sergey A. Ponomarenko 138 P.
4. Беспрозванных, В.Г. Нелинейная оптика: учеб. пособие/ В.Г. Беспрозванных, В.П. Первадчук. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 200 с.
5. Boyd R.W. Non-linear Optics, third edition 2008 Elsevier Academic press. 613 P.
6. Joannopoulos J.D., et,al. Photonic Crystals (Moulding by light), second edition, 2008 by Princeton University Press, 286 P.
7. Manfred Wohlecke Klaus Betzler Mirco Imlau Nonlinear Optics Fachbereich Physik, Universitat Osnabruck 2003, 2004, 2005. -110 P.
8. В.Г.Дмитриев Нелинейная оптика и обращение волнового фронта М.Физматлит. 2003.
9. M.Born and Emil Wolf. Principles of Optics. 7-th edition.- Cambridge University Press, 2002.-952С.
10. M.Evans Modern Non-Linear Optics Pt I,II,III John-Wiley&Sons-2001.
11. Handbook of optics: v.IV-Fiber Optics and Non-Linear Ed. M.Bass.-Mc-Graw-Hill-2001.
12. Non-Linear Fiber Optics III-rd edition G.P.Agrawal-Academic Press.-2001
13. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М.: «Наука», 1989.
14. Х.Гиббс Оптическая бистабильность (управление светом с помощью света), Москва. «Мир» 1988.
15. Б.Я.Зельдович, Н.Ф.Пилипецкий, В.В.Шикунов. Обращение волнового фронта. М.: «Наука», 1985.

16. В.Л.Винецкий, Н.В.Кухтарев. Динамическая голография. Киев, «Наукова Думка», 1983.
17. В.Г.Дмитриев Л.В.Тарасов Прикладная нелинейная оптика М.:Радио и связь. 1982.
18. Т.Мосс., Г.Баррел. Б.Эллис Полупроводниковая оптоэлектроника Москва, «Мир», 1976.
19. Г.С.Лансберг. Оптика. И-во «Наука».-1976.
20. Ф.Цернике, Дж.Мидвинтер. Прикладная нелинейная оптика. М.: «Мир».-1976.-261.

- Навчальний контент

- Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

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.	Розділ 1. Лінійна та нелінійна поляризація матеріального середовища Тема 1.1 Вступ. Мета та задачі курсу нелінійної оптики, лінійна поляризація матеріального середовища. Тема 1.2 Нелінійна поляризація матеріального середовища. Нелінійні сприйнятливості та їх тензорний характер Тема 1.3 Методи розрахунку нелінійних сприйнятливостей.	№1-3	Домашні практичні завдання Проміжна (поточна) контрольна робота	3-ий тиждень
2.	Розділ 2. Нелінійні явища, пов'язані з квадратичною нелінійною сприйнятливістю $\chi^{(2)}$. Тема 2.1 Генерація другої гармоніки Тема 2.2 Трихвильова параметрична взаємодія Тема 2.3. Параметричні генератори світла	№4-6	Домашні практичні завдання Проміжна (поточна) контрольна робота	6-ий тиждень
3.	Розділ 3. Нелінійні явища, пов'язані з кубічною нелінійною сприйнятливістю $\chi^{(3)}$. Тема 3.1. Нелінійна рефракція.	№ 7-9	Домашні практичні завдання Проміжна (поточна)	7-10-ий тиждень

	<p>Класифікація механізмів нелінійної рефракції матеріального середовища</p> <p>Тема 3.2 Однопучковий самовплив світлових пучків. Критична потужність самоканалізації</p> <p>Тема 3.3 Хвильова теорія самовпливу світлових пучків в нелінійному середовищі.</p> <p>Тема 3.4. Нелінійне поглинання світла. Теорія двох фотонного поглинання.</p>		контрольна робота	
	Модульна контрольна робота 1.1 по розділам 1-2 та темі 3.1	№ 1-7	Модульна контрольна робота	8-ий тиждень
4.	<p>Розділ 4. Динамічна голографія (Обертання хвильового фронту).</p> <p>Тема 4.1. Самодифракція світла. Відтворення хвильового фронту світлових пучків.</p> <p>Тема 4.2. Типи голограм та методи їх запису.</p> <p>Тема. 4.3. Перетворення лазерних пучків методами динамічної голографії.</p> <p>Тема 4.4 Обертання хвильового фронту (ОХФ) світлових пучків .</p>	№ 9, 10	Домашні практичні завдання Проміжна (поточна) контрольна робота	11-13-ий тиждень
5.	<p>Розділ 5. Оптична бістабільність</p> <p>Тема 5.1. Теоретичний опис моделей оптичної бістабільності.</p> <p>Тема 5.2 Реалізація різноманітних режимів роботи бістабільних пристроїв.</p> <p>Тема 5.3. Цифрові та аналогові оптичні обчислення</p>	№ 11, 12	Домашні практичні завдання Проміжна (поточна) контрольна робота	14-17-ий тиждень
	Модульна контрольна робота 1.2	№ 8-11	Модульна контрольна робота	16-ий тиждень
6	Залікова контрольна робота з явищ нелінійної оптики	№1-12	Виступ за регламентом	18-ий тиждень

Семестрове індивідуальне завдання є фінальним контрольним заходом, який охоплює всі програмні результати навчання. Термін виконання: визначення тематики – 5-ий тиждень, публічний захист – 18-ий тиждень.

- Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів має на меті розвиток творчих здібностей та активізація їх розумової діяльності, формування потреби безперервного самостійного поповнення знань та розвиток морально-вольових зусиль. Завданням самостійної роботи студентів є навчити студентів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його та формування навичок до щоденної роботи з метою одержання та узагальнення знань, умінь і навичок.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- підготовка реферату за узгодженою темою;
- підготовка до складання семестрового контролю.

- Політика та контроль

- Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
присутність та активність на більшості лекцій	+8 балів	Невиконання кожної з домашніх робіт	-1 бали
Участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни)	5 балів	Порушення термінів виконання семестрових індивідуальних завдань	-1 бали

Відвідування занять

Відвідування лекцій, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання тематичних завдань. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Пропущені контрольні заходи

Результат модульної контрольної роботи для студента(-ки), який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент(-ка) має можливість написати модульну контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання

модульної контрольної роботи не допускається. Тематичне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, не оцінюється.

Календарний 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 ¹.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація	
Термін атестації ²		8-ий тиждень	14-ий тиждень	
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг ³	≥ 13 балів	≥ 30 балів	
	Поточний контрольний захід	Модульна контрольна робота	+	+
	Поточні контрольні перевірки знань	КР №1	+	+
		КР №2	-	+
		КР №3	-	+
		КР №4	-	+

- Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Система оцінювання

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кількість	Всього
1.	Відповідь на заліку	40	40	1	40
2.	Поточні поточних тематичних завдань	16	4	4	16
3.	Бліц-контроль на лекційних заняттях	14	1	14	14
4.	Модульна контрольна робота (МКР)	20	10	2	20
5.	Активність на заняттях	10	1	10	10
	Всього				100

Результати робіт та тематичних завдань оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі та супроводжуються оціночними листами, в яких студенти можуть побачити свою оцінку за

¹ Рейтингові системи оцінювання результатів навчання: Рекомендації до розроблення і застосування. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 20 с.

² Там само.

³ Там само.

певними критеріями, а також позначення основних помилок та коментарі до них.

Результати семестрового індивідуального завдання оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі та супроводжуються позитивними коментарями та зауваженнями стосовно помилок.

Результати модульної контрольної роботи вказуються на бланках для модульної контрольної роботи (завдання, які виконували студенти) з позначенням коректної або некоректної відповіді, а також з коментарями, зауваженнями тощо.

Семестрова атестація студентів

Обов'язкова умова допуску до заліку		Критерій
1	Поточний рейтинг	$RD \geq 60$
2	Поточний контрольний захід Модульна контрольна робота ((ч. 1, ч.2)	Ч. 1 та Ч. 2 написані на позитивну оцінку (6 з 10 кожна)
3	Бліц-контроль на лекційних заняттях, Активність на заняттях	Позитивна оцінка (14 з 24)
4	Виконання поточних тематичних завдань №1, №2, №3, №4	Виконані всі завдання на позитивну оцінку (кожна 2.4 з 4)

Додаткові умови допуску до заліку:

1. Активність на практичних заняттях.
2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації.

Таблиця переведення рейтингових балів до оцінок за університетською шкалою ⁴

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	-

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський

⁴ 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.

політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

Норми етичної поведінки

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.

- Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Теми на залік:

1. Перетворення лазерних пучків методами динамічної голографії.
2. Відбивальні динамічні голограми.
3. Ефект нестационарного перетворення енергії.
4. Анізотропна самодифракція. Фізичні процеси в динамічних середовищах.
5. Методи отримання ОХФ: ОХФ при вимушених розсіяннях в нелінійному матеріальному середовищі.
6. Практичне використання ОХФ. Розвиток моделі ангармонійного осцилятора.
7. Квадратичний електрооптичний ефект (ефект Керра).
8. Двофотонне поглинання. Лінійний електрооптичний ефект (ефект Покеельса).
9. Електрооптична модуляція світла (амплітудна та фазова модуляція світла, поперечна схема електрооптичної модуляції).
10. Вимушене комбінаційне розсіювання. Допплерівський опис розсіювання Мандельштама-Брилюєна.
11. Класична теорія розсіювання Мандельштама-Брилюєна.
12. Хвильове рівняння для електромагнітних хвиль. Вимушене розсіювання Мандельштама-Брилюєна (ВРМБ). Величина порогової потужності ВРМБ.
13. Типи голограм та методи їх запису. Дифракційна ефективність амплітудних і фазових голограм.
14. Трихвильова параметрична взаємодія.
15. Класифікація механізмів нелінійної рефракції матеріального середовища. Самодифракція світла.
16. Відтворення хвильового фронту світлових пучків.
17. Цифрові та аналогові оптичні обчислення.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено Професором кафедри прикладної фізики, д. ф.-м. н., ст. н. с. Стронським Олександром Володимировичем

Ухвалено кафедрою ПФ (протокол № 2 від 04.09.2020р.)

Затверджено Вченою радою ФТІ (протокол № 7/1 від 07.09.2020р.)