

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

Кафедра астрофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор
з науково-педагогічної роботи

_____ Кухарський В.М.

“ ___ ” _____ 2016 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОСНОВИ КОСМОМІКРОФІЗИКИ

галузі знань **0402 Фізико-математичні науки**
спеціальності **8.04020301 Фізика**
фізичного факультету

Кредитно-модульна система
організації навчального процесу

Львів – 2016

Основи космомікрофізики. Робоча програма навчальної дисципліни для студентів галузі знань **0402** Фізико-математичні науки спеціальності **8.04020301 Фізика** фізичного факультету. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016. — 9 с.

Розробник:

Новосядлий Б.С. докт. фіз.-мат. наук, професор кафедри астрофізики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри астрофізики

Протокол № 1 від. “30” серпня 2016 р.

Завідувач кафедри астрофізики _____ (Б.Я. Мелех)

“30” серпня 2016 р.

Схвалено методичною комісією за спеціальністю **8.04020301 Фізика**

Протокол №__від. “30” серпня 2016 р

“30” серпня 2016 р. Голова _____ (Миколайчук О.Г.)

1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни

“Основи космомікрофізики”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів — 3	Галузь знань 0402 Фізико-математичні науки	Нормативна
Модулів — 1	Спеціальність 8.04020301 Фізика	<i>Рік підготовки:</i> 6-й
Змістових модулів — 3		<i>Семестр</i>
Загальна кількість годин — 90		11
		<i>Лекції</i>
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — 1 самостійної роботи студента — 4.625	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр	16
		<i>Практичні, семінарські</i> -
		<i>Лабораторні</i> -
		<i>Самостійна робота</i> 74 год.
		<i>Вид контролю:</i> залік

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс “Основи космомікрофізики” належить до циклу дисциплін математичної та природничо-наукової підготовки. Він дає студенту-магістру основи знань з нової галузі фізичної науки, яка лежить на стику астрофізики, космології та фізики елементарних частинок (мікрофізики). В англомовній літературі ця галузь знань має назву *astroparticle physics* (дослівний переклад — фізика частинок астрономічного походження, або зоряно-частинкова фізика). Вона бурхливо розвивається у світі та є магістерським курсом у провідних університетах Європи та Америки.

Курс “Основ космомікрофізики”, як розділ сучасної фізики, покликаний пояснити структуру матерії від найдрібніших складових матерії — фундаментальних частинок та квантів фізичних полів до галактик та Всесвіту як цілого, встановити взаємопов'язаність її властивостей у найменших та найбільших просторово-часових масштабах. Можливості експериментальної перевірки теорій єдиних взаємодій за допомогою прискорювачів елементарних частинок обмежуються принципово верхньою межею у кілька десятків тераелектронвольт, до якої “прискорювальна” фізика стрімко наближається. Частинки, які прилітають до Землі з космосу, мають енергії значно вищі тих, що можуть бути досягнуті в прискорювачах, тому їх реєстрація разом із вивченням фізичної природи джерел таких частинок мають фундаментальне значення для всього природознавства. Важливою складовою космомікрофізики є дослідження природи прихованих компонент Всесвіту — темної матерії та темної енергії, які разом складають понад 95% середньої густини Всесвіту. Без встановлення їх природи теорія елементарних частинок і фундаментальних взаємодій не може бути завершеною. Найбільші енергії частинки мали в момент Великого Вибуху та в перші миті після нього, коли синтезувались частинки, які заповнюють Всесвіт тепер. Тому теоретичне моделювання фізичних процесів в ранньому Всесвіті та співставлення його передбачень із спостережуваними даними може бути ключем до побудови теорії єдиних взаємодій. Таким чином, курс дасть змогу студентам зрозуміти світ, в якому ми живемо, у його повноті та єдності. З огляду на це вивчення курсу є необхідним для студентів, які здобувають ступінь магістра з фізики та матимуть змогу продовжувати підвищувати свою кваліфікацію, здобуваючи наукову ступінь доктора філософії в університетах світу.

Мета: сформувати в майбутнього фізика цілісну наукову картину структури матерії від властивостей фундаментальних частинок та квантів фізичних полів до природи небесних об'єктів, які є джерелами космічних променів високих енергій, та Всесвіту як цілого; розвинути у студентів навички фізичної інтерпретації явищ, що мають місце у ближньому та далекому космосі. Це передбачає виклад основ таких розділів сучасної астрофізики, як космологія раннього Всесвіту та астрофізика високих енергій. Курс передбачає ознайомлення із сучасним станом теоретичних та експериментальних досліджень у галузі космомікрофізики, останніми відкриттями та проблемами, до розв'язку яких долучатимуться випускники-магістри університетів світу.

Завдання: дати студентам основи знань із сучасної космомікрофізики: синтез частинок і полів в ранньому Всесвіті, властивості темної матерії та темної енергії, фізичні характеристики космічних променів, їх спектр, космічні джерела і механізми генерації; навчити студентів застосовувати знання фізики та математичних методів моделювання складних природних процесів до інтерпретації природи небесних об'єктів і процесів, що протікають у них.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати:

1. основи стандартної фізики елементарних частинок;
2. проблеми стандартної фізики елементарних частинок;
3. основи стандартної моделі гарячого Всесвіту;
4. проблеми стандартної моделі гарячого Всесвіту;
5. спостережувальні підстави існування та властивості темної матерії;
6. кандидати в частинки темної матерії;
7. спостережувальні підстави існування та властивості темної енергії;
8. фізичні моделі темної енергії;
9. інфляційну модель Всесвіту;
10. сценарії формування структури Всесвіту;
11. механізми генерації космічних променів у ранньому Всесвіті;
12. релікти раннього Всесвіту (електромагнітне випромінювання, нейтрино, частинки, гравітаційні хвилі);
13. методи реєстрації космічних променів та гамма-випромінювання;
14. енергетичний спектр космічних променів та гамма-випромінювання;
15. механізми генерації космічних променів та гамма-випромінювання позагалактичного походження;
16. механізми генерації космічних променів та гамма-випромінювання галактичного походження;
17. механізми Фермі прискорення космічних променів на фронтах ударних хвиль;
18. поширення космічних променів в Галактиці та в міжгалактичному просторі;
19. властивості космічних променів від розпаду та анігіляції частинок темної матерії в гало Галактики;
20. спостережувані обмеження на маси та час життя розпадних частинок темної матерії.
21. сонячні спалахи як джерела космічних променів та гамма-квантів.

вміти:

1. записати і аналізувати рівняння Айнштейна-Фрідмана, які пов'язують густини основних енергетичних компонент Всесвіту (баріонна речовина, випромінювання, темна матерія, темна енергія) на різних етапах його еволюції;
2. записати основні реакції космологічного нуклеосинтезу;
3. зображати діаграми Фейнмана для основних типів взаємодій елементарних частинок;
4. зображати класифікацію елементарних частинок та обґрунтувати їх кількість;
5. наводити докази існування темної матерії;
6. наводити докази існування темної матерії;
7. спектральну інтенсивність космічних променів в різних енергетичних діапазонах (протонно-ядерна компонента, електронна компонента, гамма-компонента);
8. записати формулу для іонізаційних втрат енергії космічними променями (формула Бете-Блоха);
9. записати формулу для радіаційних втрат енергії космічними променями;
10. записати формулу для втрат енергії космічними променями на синхротронне випромінювання;
11. записати зобразити графічно енергетичний спектр космічних променів;
12. оцінювати довжину вільного пробігу космічних променів різних енергій.

У програмі курсу використовуються досягнення сучасної спостережувальної та теоретичної астрофізики високих енергій, результати досліджень природи темної матерії та темної енергії, в тому числі і отримані при виконанні держбюджетних тем Астрономічної обсерваторії ЛНУ ім. І. Франка. Лекційний курс передбачає демонстрацію слайдів та відеофільмів за допомогою мультимедійної техніки.

3. Програма навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовий модуль 1. Стандартна модель фізики елементарних частинок або видимі релікти раннього Всесвіту.

Тема 1. Предмет космофізики. Світ елементарних частинок і Всесвіт. Склад Всесвіту, просторово-часові масштаби.

Тема 2. Стандартна модель фізики елементарних частинок. Класифікація та кількість фундаментальних частинок. Фізичні взаємодії, константи зв'язку, об'єднання взаємодій.

Тема 3. Стандартна модель фізики елементарних частинок. Представлення та опис взаємодій в Стандартній моделі. Діаграми Фейнмана. Теорії СМ і поза нею. Вступ до КТП, поля в КТП. Лоренц-інваріантність, внутрішні симетрії і теорія груп. Проблеми і неповнота Стандартної моделі.

Тема 4. Стандартна модель фізики елементарних частинок та ранній Всесвіт.

Параметри стану матерії у різні епохи. Фазові переходи у ранньому Всесвіті. Стандартний сценарій: стандартна модель фізики елементарних частинок + стандартна модель Великого вибуху. Проблеми стандартного сценарію.

Тема 5. Інфляція у ранньому Всесвіті. Планківські величини та фазові переходи. Скалярне поле інфляції (інфлатон) та механізм Гітса. Кінець інфляції, повторний розігрів.

Тема 6. Генерація структури, реліктових гравітаційних хвиль та баріогенезис. Квантові флуктуації метрики простору-часу і інфляційну епоху. Скалярна і тензорна мода збурень та їх спостережувані прояви. Проблема баріонної асиметрії. Моделі баріогенезису.

Тема 7. Космологічний нуклеосинтез та реліктові нейтрино. Космологічна рекомбінація. Реліктове випромінювання.

Тема 8. Космологічна рекомбінація та реліктове випромінювання. Зоряний нуклеосинтез. Космологічне та космічне походження елементів таблиці Менделєєва.

Змістовий модуль 2. Темна матерія і темна енергія, або приховані релікти раннього Всесвіту

Тема 9. Темна матерія: означення та спостережувані докази існування.

Тема 10. Кандидати в темну матерію. Темна матерія з погляду фізики частинок.

Тема 11. Стратегії пошуку частинок темної матерії, сучасні експерименти та їх результати.

Тема 12. Темна енергія: означення та спостережувані докази існування. Відкриття темної енергії.

Тема 13. Кандидати в темну енергію: космологічна стала, $f(R)$ гравітація, скалярні поля.

Тема 14. Динаміка розширення Всесвіту та формування великомасштабної структури в моделях з динамічною темною енергією.

Тема 15. Стан і перспективи встановлення природи темної енергії.

Змістовий модуль 3. Космічні промені, або високоенергетичні частинки в нашому Всесвіті

Тема 16. Космічні промені: означення, фізична природа, історія відкриття.

Тема 17. Фізичні параметри та властивості космічних променів. Космічні промені в околиці Землі і в Галактиці.

Тема 18. Космічні промені і джерела гама-випромінювання.

Тема 19. Енергетичний спектр космічних променів та широкі атмосферні зливи.

Тема 20. Походження космічних променів та механізми Фермі їх генерації.

Тема 21. Космічні променя надвисоких енергій та їх детектування. Межа Грайзена-Кузьміна-Зацепіна.

Тема 22. Нейтринна фізика високих і надвисоких енергій. Джерела природніх нейтрино. Сонячні і зоряні нейтрино. Нейтрино високих і надвисоких енергій. Нейтринні детектори: діючі установки і результати досліджень.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
Л		п	лаб	інд	Ср	
1	2	3	4	5	6	7
МОДУЛЬ 1						
Змістовий модуль 1. Стандартна модель фізики елементарних частинок або видимі релікти раннього Всесвіту						
Тема 1. Предмет космофізики.	4.5	0.5				4
Тема 2. Стандартна модель фізики елементарних частинок.	5	1				4
Тема 3. Стандартна модель фізики елементарних частинок.	5	1				4
Тема 4. Стандартна модель фізики елементарних частинок та ранній Всесвіт.	4.5	0.5				4
Тема 5. Інфляція у ранньому Всесвіті.	4.5	0.5				4
Тема 6. Генерація структури, реліктових гравітаційних хвиль та баріогенезис.	5	1				4
Тема 7. Космологічний нуклеосинтез та реліктові нейтрино.	5	1				4
Тема 8. Космологічна рекомбінація та реліктове випромінювання.	4.5	0.5				4
Разом – зміст модуль 1	38	6	0	0	0	32
Змістовий модуль 2. Темна матерія і темна енергія, або приховані релікти раннього Всесвіту						
Тема 9. Темна матерія: означення та спостережувані докази існування.	4	1				3
Тема 10. Кандидати в темну матерію.	4	1				3
Тема 11. Стратегії пошуку частинок темної матерії, сучасні експерименти та їх результати.	3.5	0.5				3
Тема 12. Темна енергія: означення та спостережувані докази існування.	3.5	0.5				3
Тема 13. Кандидати в темну енергію: космологічна стала, $f(R)$ гравітація, скалярні поля.	4	1				3
Тема 14. Динаміка розширення Всесвіту та формування великомасштабної структури в моделях з динамічною темною енергією.	3.5	0.5				3
Тема 15. Стан і перспективи встановлення природи темної енергії.	3.5	0.5				3
Разом – зміст модуль 2	26	5	0	0	0	21
Змістовий модуль 3. Космічні промені, або високоенергетичні частинки в нашому Всесвіті						
Тема 16. Космічні промені:	3.5	0.5				3

означення, фізична природа, історія відкриття.						
Тема 17. Фізичні параметри та властивості космічних променів.	3.5	0.5				3
Тема 18. Космічні промені і джерела гама-випромінювання.	4	1				3
Тема 19. Енергетичний спектр космічних променів та широкі атмосферні зливи.	3.5	0.5				3
Тема 20. Походження космічних променів та механізми Фермі їх генерації.	4	1				3
Тема 21. Космічні промені надвисоких енергій та їх детектування.	3.5	0.5				3
Тема 22. Нейтринна фізика високих і надвисоких енергій.	4	1				3
Разом – зм. модуль 3	26	5	0	0	0	21
Усього годин	90	16	0	0	0	74

8. Самостійна робота лекції

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	Предмет космофізики. Світ елементарних частинок і Всесвіт. Склад Всесвіту, просторово-часові масштаби.	4
2	Стандартна модель фізики елементарних частинок. Класифікація та кількість фундаментальних частинок. Фізичні взаємодії, константи зв'язку, об'єднання взаємодій.	4
3	Стандартна модель фізики елементарних частинок. Представлення та опис взаємодій в Стандартній моделі. Діаграми Фейнмана. Теорії СМ і поза нею. Вступ до КТП, поля в КТП. Лоренц-інваріантність, внутрішні симетрії і теорія груп. Проблеми і неповнота Стандартної моделі.	4
4	Стандартна модель фізики елементарних частинок та ранній Всесвіт. Параметри стану матерії у різні епохи. Фазові переходи у ранньому Всесвіті. Стандартний сценарій: стандартна модель фізики елементарних частинок + стандартна модель Великого вибуху. Проблеми стандартного сценарію.	4
5	Інфляція у ранньому Всесвіті. Планківські величини та фазові переходи. Скалярне поле інфляції (інфлатон) та механізм Гітса. Кінець інфляції, повторний розігрів.	4
6	Генерація структури, реліктових гравітаційних хвиль та баріогенезис. Квантові флюктуації метрики простору-часу і інфляційну епоху. Скалярна і тензорна мода збурень та їх спостережувані прояви. Проблема баріонної асиметрії. Моделі баріогенезису.	4
7	Космологічний нуклеосинтез та реліктові нейтрино. Космологічна рекомбінація. Реліктове випромінювання.	4
8	Космологічна рекомбінація та реліктове випромінювання. Зоряний нуклеосинтез. Космологічне та космічне походження елементів таблиці Менделєєва.	4
9	Темна матерія: означення та спостережувані докази існування.	3
10	Кандидати в темну матерію. Темна матерія з погляду фізики частинок.	3
11	Стратегії пошуку частинок темної матерії, сучасні експерименти та	3

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
	їх результати.	
12	Темна енергія: означення та спостережувані докази існування. Відкриття темної енергії.	3
13	Кандидати в темну енергію: космологічна стала, f(R) гравітація, скалярні поля.	3
14	Динаміка розширення Всесвіту та формування великомасштабної структури в моделях з динамічною темною енергією.	3
15	Стан і перспективи встановлення природи темної енергії.	3
16	Космічні промені: означення, фізична природа, історія відкриття.	3
17	Фізичні параметри та властивості космічних променів. Космічні промені в околиці Землі і в Галактиці.	3
18	Космічні промені і джерела гама-випромінювання.	3
19	Енергетичний спектр космічних променів та широкі атмосферні зливи.	3
20	Походження космічних променів та механізми Фермі їх генерації.	3
21	Космічні променя надвисоких енергій та їх детектування. Межа Грайзена-Кузьміна-Зацепіна.	3
22	Нейтринна фізика високих і надвисоких енергій.	3
	Всього за семестр	74

10. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає:

- 1) контрольні роботи за трьома змістовими модулями (3×20 = 60 балів),
- 2) реферативна робота (40 балів).

Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

11. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Розподіл балів, які отримують студенти (для заліку)

ПОТОЧНЕ ТЕСТУВАННЯ ТА САМОСТІЙНА РОБОТА			РЕФЕРАТ	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3		
20	20	20	40	100

Шкала оцінювання: Університету, національна та ECTS

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Визначення	За національною шкалою
			<i>Екзаменаційна оцінка</i>
90–100	A	<i>Відмінно</i>	<i>Зараховано</i>
81-89	B	<i>Дуже добре</i>	<i>Зараховано</i>
71-80	C	<i>Добре</i>	<i>Зараховано</i>

61-70	D	<i>Задовільно</i>	<i>Зараховано</i>
51-60	E	<i>Задовільно</i>	<i>Зараховано</i>

12. Методичне забезпечення

1. Апунович С.Є., Кулініч Ю.А., Новосядлий Б.С., Пелих В.О. “Темна матерія та темна енергія у Всесвіті: астрофізичні підстави та теоретичні моделі”, Кінематика і фізика небесних тіл, т. 25, №2, стор. 55-72 (2009).
2. Новосядлий Б.С. “Основи і становлення сучасної космології”, Педагогічна думка, №2, стор. 3-12 (2004).
3. Новосядлий Б.С. “Формування великомасштабної структури Всесвіту”, Журнал фізичних досліджень, т.11, №2, стор. 226-257 (2007).
4. Новосядлий Б.С. “Реліктове електромагнітне випромінювання: від гіпотези Гамова до космічного телескопа Планк”, Світогляд, №21, стор. 10-23 (2010).
5. Tkachev I.I. «Astroparticle Physics» [[arXiv:hep-ph/0405168](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0405168)]
6. Новосядлий Б.С. Лекції з курсу “Структура і еволюція Всесвіту”. Навчальний посібник. (Прийнятий до друку Вченою радою ЛНУ ім. І. Франка) (електронна версія на сайті astro.franko.lviv.ua)

13. Рекомендована література

Базова

1. “Астрофизика космических лучей”. Под ред. В.Л. Гинзбурга. М.: Наука, 1990.
2. Линде А. «Физика элементарных частиц и инфляционная космология». М.: Наука, 1990.
3. Хлопов М.Ю. “Космомикрофизика”. М.: Едиториал УРСС, 2004.
4. Клапдор-Клайгротхаус Г.В., Штаудт А. “Неускорительная физика элементарных частиц”. М.: Физматлит, 1997.
5. Г.В.Клапдор-Клайгротхауса и К.Цюбера “Астрофизика элементарных частиц”. М.: “Редакция журнала УФН”, 2000.
6. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. “Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва”. М.: Едиториал УРСС, 2008.
7. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. “Введение в теорию ранней Вселенной: : Космологические возмущения, инфляционная теория» М.: ИЯИ РАН, 2009.
8. Зельдович Я.Б.,Новиков И.Д. «Строение и эволюция Вселенной». М.: Наука, 1975.
9. Дорман Л.И. «Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей». М.: Наука, 1975.
10. Гинзбург В.Л. «Теоретическая физика и астрофизика». М.: Наука, 1983.
11. Ленг К. «Астрофизические формулы», т.2. М.: Мир, 1978.
12. Физика микромира. Маленькая энциклопедия. Под ред. Д.В. Ширкова. М.: Советская энциклопедия, 1980.
13. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. Под ред. Р.А. Сюняева. М.: Советская энциклопедия, 1986.

14. Інформаційні ресурси

- 1) Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>