

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

Кафедра астрофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор
з науково-педагогічної роботи

_____ Мамчур З. І

“ _____ ” _____ 20__ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОСНОВИ КОСМОМІКРОФІЗИКИ

галузі знань **0402** Фізико-математичні науки
напряму підготовки **8.070101** Фізика
фізичного факультету

Кредитно-модульна система
організації навчального процесу

Львів – 2010

Основи космомікрофізики. Робоча програма навчальної дисципліни для студентів галузі знань **0402** Фізико-математичні науки напряму підготовки **8.070101** Фізика фізичного факультету. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2010. — 9 с.

Розробник:

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

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри астрофізики

Протокол № 4 від. “ 20 ” травня 2010 р.

Завідувач кафедри астрофізики

_____ (проф. Ваврух М.В.)

“ 20 ” травня 2010 р.

Схвалено методичною комісією за напрямом підготовки **8.070101** Фізика

Протокол № 4 від. “ 31 ” травня 2010 р

“ 31 ” травня 2010 р. Голова _____ (Миколайчук О.Г.)

1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни

“Основи космофізики”)

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	Напрямок підготовки 8.040101 Фізика	<i>Рік підготовки:</i> 6-й
Змістових модулів — 3		
Загальна кількість годин — 108		
		<i>Семестр</i> 11-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — 2 самостійної роботи студента — 4	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр	<i>Лекції</i> 36 год.
		<i>Практичні, семінарські</i> -
		<i>Лабораторні</i> -
		<i>Самостійна робота</i> 72 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. механізми генерації магнітних полів у Всесвіті;
13. релікти раннього Всесвіту (електромагнітне випромінювання, нейтрино, частинки, гравітаційні хвилі);
14. методи реєстрації космічних променів та гамма-випромінювання;
15. енергетичний спектр космічних променів та гамма-випромінювання;
16. механізми генерації космічних променів та гамма-випромінювання позагалактичного походження;
17. механізми генерації космічних променів та гамма-випромінювання галактичного походження;
18. механізми Фермі прискорення космічних променів на фронтах ударних хвиль;
19. поширення космічних променів в Галактиці та в міжгалактичному просторі;
20. властивості космічних променів від розпаду та анігіляції частинок темної матерії в гало Галактики;
21. спостережувані обмеження на маси та час життя розпадних частинок темної матерії.
22. 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 спектральну інтенсивність космічних променів в різних енергетичних діапазонах (протонно-ядерна компонента, електронна компонента, гамма-компонента);
3. записати формулу для іонізаційних втрат енергії космічними променями (формула Бете-Блоха);
4. записати формулу для радіаційних втрат енергії космічними променями;
5. записати формулу для втрат енергії космічними променями на синхротронне випромінювання;
6. записати загальне рівняння переносу космічних променів;
7. 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. Релікти раннього Всесвіту.

Тема 1. Предмет космофізики. Стандартна модель фізики елементарних частинок. Проблеми стандартної моделі.

Тема 2. Стандартна модель Великого Вибуху. Проблеми стандартної моделі.

Тема 3. Темна матерія: спостережувальні підстави, властивості, моделі.

Тема 4. Темна енергія: спостережувальні підстави, властивості, моделі.

Тема 5. Реліктове електромагнітне випромінювання.

Тема 6. Космологічний нуклеосинтез та реліктові нейтрино.

Тема 7. Інфляційна космологія та генерація структури Всесвіту.

Тема 8. Баріосинтез та проблема баріонної асиметрії.

Тема 9. Космічні промені, згенеровані в ранньому Всесвіті (розпад та анігіляція частинок, топологічні дефекти, космічні струни, суперсиметричні частинки...)

Тема 10. Формування структури Всесвіту: зорі — галактики — скупчення галактик...

Тема 11. Магнітні поля у Всесвіті (первісні та згенеровані в процесі формування зір та галактик).

Тема 12. Реліктове гравітаційне випромінювання: генерація, еволюція, можливості та методи реєстрації.

Змістовий модуль 2. Позагалактичні джерела гамма-випромінювання та космічних променів надвисоких енергій.

Тема 13. Генерація ударних хвиль в процесі формування великомасштабної структури Всесвіту та її елементів — галактик та скупчень галактик.

Тема 14. Прискорення космічних променів на фронтах космологічних ударних хвиль.

Тема 15. Спостережувані дані про позагалактичні гамма-спалахи (спектри, потоки, тривалість, розподіл по небу, відстані).

Тема 16. Теоретичні моделі генерації гамма-спалахів на космологічних відстанях (гіпернові, факелі, релятивістські ударні хвилі).

Тема 17. Активні ядра галактик як джерела космічних променів надвисоких енергій (моделі та класифікація).

Тема 18. Фізичні процеси та прискорення космічних променів в околі надмасивних чорних дір.

Тема 19. Релятивістські струмені в активних ядрах галактик та механізми прискорення частинок в них до надвисоких енергій.

Тема 20. Поширення космічних променів надвисоких енергій в міжгалактичному середовищі (енергетичні втрати, межа Грайзена-Зацепіна-Кузьміна).

Тема 21. Космічні промені надвисоких енергій та космогенні нейтрино (механізми генерації та проблеми детектування).

Тема 22. Методи реєстрації космічних променів надвисоких енергій, діючі установки та отримані результати.

Тема 23. Детектори гамма-випромінювання високоенергетичного (>100 GeV) діапазону.

Тема 24. Нейтринні телескопи: діючі установки та отримані результати.

Змістовий модуль 3. Галактична астрофізика високих енергій.

Тема 25. Енергетичний спектр галактичних космічних променів. Джерела космічних променів в Галактиці.

Тема 26. Галактичні джерела гамма-випромінювання. Зображення окремих протяжних джерел гамма-випромінювання.

Тема 27. OB-асоціації, зоряні вітри, бульбашки та механізми прискорення частинок у них.

Тема 28. Наднові та пульсари як джерела космічних променів та гамма-випромінювання.

Тема 29. Пульсарні вітри та пульсарно-вітрові туманності.

Тема 30. Залишки наднових зір як джерела галактичних космічних променів та гамма-випромінювання.

Тема 31. Прискорення заряджених частинок на фронтах сильних ударних хвиль.

Тема 32. Механізм прискорення Фермі 1-го і 2-го роду.

Тема 33. Галактичні фонтани, галактичний вітер і галактичні космічні промені.

Тема 34. Мікро-квасари та релятивістські струмені в галактичних джерелах.

Тема 35. Космічні промені від розпаду та анігіляції частинок темної матерії в гало Галактики. Спостережувані обмеження на маси та час життя розпадних частинок темної матерії.

Тема 36. Сонячні спалахи як джерела космічних променів та гамма-квантів.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	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. Релікти раннього Всесвіту.						
Тема 1. Предмет космо-мікрофізики. Стандартна модель фізики елементарних частинок. Проблеми стандартної моделі.	3	1				2
Тема 2. Стандартна модель Великого Вибуху. Проблеми стандартної моделі.	3	1				2
Тема 3. Темна матерія: спостережувальні підстави, властивості, моделі.	3	1				2
Тема 4. Темна енергія: спостережувальні підстави, властивості, моделі.	3	1				2
Тема 5. Реліктове електромагнітне випромінювання.	3	1				2
Тема 6. Космологічний нуклеосинтез та реліктові нейтрино.	3	1				2
Тема 7. Інфляційна космологія та генерація структури Всесвіту.	3	1				2
Тема 8. Баріосинтез та проблема баріонної асиметрії.	3	1				2
Тема 9. Космічні промені, згенеровані в ранньому Всесвіті (розпад та анігіляція частинок, топологічні дефекти, космічні струни, суперсиметричні частинки)	3	1				2
Тема 10. Формування структури Всесвіту: зорі — галактики — скупчення галактик. Генерація КП.	3	1				2
Тема 11. Магнітні поля у Всесвіті (первісні та згенеровані в процесі формування зір та галактик).	3	1				2
Тема 12. Реліктове гравітаційне випромінювання: генерація, еволюція, можливості та методи реєстрації.	3	1				2
Разом – зм. модуль 1	36	12	0	0	0	24

Змістовий модуль 2. Позагалактичні джерела гамма-випромінювання та космічних променів надвисоких енергій.						
Тема 13. Генерація ударних хвиль в процесі формування великомасштабної структури Всесвіту та її елементів — галактик та скупчень галактик.	3	1				2
Тема 14. Прискорення космічних променів на фронтах космологічних ударних хвиль.	3	1				2
Тема 15. Спостережувані дані про позагалактичні гамма-спалахи (спектри, потоки, тривалість, розподіл по небу, відстані).	3	1				2
Тема 16. Теоретичні моделі генерації гамма-спалахів на космологічних відстанях (гіпернові, фаєрболи, релятивістські ударні хвилі).	3	1				2
Тема 17. Активні ядра галактик як джерела космічних променів надвисоких енергій (моделі та класифікація).	3	1				2
Тема 18. Фізичні процеси та прискорення космічних променів в околі надмасивних чорних дір.	3	1				2
Тема 19. Релятивістські струмені в активних ядрах галактик та механізми прискорення частинок в них до надвисоких енергій.	3	1				2
Тема 20. Поширення космічних променів надвисоких енергій в міжгалактичному середовищі (енергетичні втрати, межа Грайзена-Зацепіна-Кузьміна).	3	1				2
Тема 21. Космічні промені надвисоких енергій та космогенні нейтрино (механізми генерації та проблеми детектування).	3	1				2
Тема 22. Методи реєстрації космічних променів надвисоких енергій, діючі	3	1				2

установки та отримані результати.						
Тема 23. Детектори гамма-випромінювання високоенергетичного (>100 GeV) діапазону.	3	1				2
Тема 24. Нейтринні телескопи: діючі установки та отримані результати.	3	1				2
Разом – зм. модуль 2	36	12	0	0	0	24
Змістовий модуль 3. Галактична астрофізика високих енергій.						
Тема 25. Енергетичний спектр галактичних космічних променів. Джерела космічних променів в Галактиці.	3	1				2
Тема 26. Галактичні джерела гамма-випромінювання. Зображення окремих протяжних джерел гамма-випромінювання.	3	1				2
Тема 27. ОВ-асоціації, зоряні вітри, бульбашки та механізми прискорення частинок у них.	3	1				2
Тема 28. Наднові та пульсари як джерела космічних променів та гамма-випромінювання.	3	1				2
Тема 29. Пульсарні вітри та пульсарно-вітрові туманності.	3	1				2
Тема 30. Залишки наднових зір як джерела галактичних космічних променів та гамма-випромінювання.	3	1				2
Тема 31. Прискорення заряджених частинок на фронтах сильних ударних хвиль.	3	1				2
Тема 32. Механізм прискорення Фермі 1-го і 2-го роду.	3	1				2
Тема 33. Галактичні фонтани, галактичний вітер і галактичні космічні промені.	3	1				2
Тема 34. Мікро-кварзари та релятивістські струмені в галактичних джерелах.	3	1				2
Тема 35. Космічні промені від розпаду та анігіляції частинок темної матерії в	3	1				2

гало Галактики. Спостережувані обмеження на маси та час життя розпадних частинок темної матерії.						
Тема 36. Сонячні спалахи як джерела космічних променів та гамма-квантів.	3	1				2
Разом – зм. модуль 3	36	12	0	0	0	24
Усього годин	108	36	0	0	0	72

8. Самостійна робота лекції

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	Предмет космо-мікрофізики. Стандартна модель фізики елементарних частинок. Проблеми стандартної моделі.	2
2	Стандартна модель Великого Вибуху. Проблеми стандартної моделі.	2
3	Темна матерія: спостережувальні підстави, властивості, моделі.	2
4	Темна енергія: спостережувальні підстави, властивості, моделі.	2
5	Реліктове електро-магнітне випромінювання.	2
6	Космологічний нуклеосинтез та реліктові нейтрино.	2
7	Інфляційна космологія та генерація структури Всесвіту.	2
8	Баріосинтез та проблема баріонної асиметрії.	2
9	Космічні промені, згенеровані в ранньому Всесвіті (розпад та анігіляція частинок, топологічні дефекти, космічні струни, суперсиметричні частинки)	2
10	Формування структури Всесвіту: зорі — галактики — скупчення галактик. Генерація КП.	2
11	Магнітні поля у Всесвіті (первісні та згенеровані в процесі формування зір та галактик).	2
12	Реліктове гравітаційне випромінювання: генерація, еволюція, можливості та методи реєстрації.	2
13	Генерація ударних хвиль в процесі формування великомасштабної структури Всесвіту та її елементів — галактик та скупчень галактик.	2
14	Прискорення космічних променів на фронтах космологічних ударних хвиль.	2
15	Спостережувані дані про позагалактичні гамма-спалахи (спектри, потоки, тривалість, розподіл по небу, відстані).	2
16	Теоретичні моделі генерації гамма-спалахів на космологічних відстанях (гіпернові, фазерболи, релятивістські ударні хвилі).	2
17	Активні ядра галактик як джерела космічних променів надвисоких енергій (моделі та класифікація).	2
18	Фізичні процеси та прискорення космічних променів в околі надмасивних чорних дір.	2
19	Релятивістські струмені в активних ядрах галактик та механізми прискорення частинок в них до надвисоких енергій.	2
20	Поширення космічних променів надвисоких енергій в міжгалактичному середовищі (енергетичні втрати, межа Грайзена-Зацепіна-Кузьміна).	2
21	Космічні промені надвисоких енергій та космогенні нейтрино (механізми генерації та проблеми детектування).	2

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
22	Методи реєстрації космічних променів надвисоких енергій, діючі установки та отримані результати.	2
23	Детектори гамма-випромінювання високоенергетичного (>100 ГеВ) діапазону.	2
24	Нейтринні телескопи: діючі установки та отримані результати.	2
25	Енергетичний спектр галактичних космічних променів. Джерела космічних променів в Галактиці.	2
26	Галактичні джерела гамма-випромінювання. Зображення окремих протяжних джерел гамма-випромінювання.	2
27	ОВ-асоціації, зоряні вітри, бульбашки та механізми прискорення частинок у них.	2
28	Наднові та пульсари як джерела космічних променів та гамма-випромінювання.	2
29	Пульсарні вітри та пульсарно-вітрові туманності.	2
30	Залишки наднових зір як джерела галактичних космічних променів та гамма-випромінювання.	2
31	Прискорення заряджених частинок на фронтах сильних ударних хвиль.	2
32	Механізм прискорення Фермі 1-го і 2-го роду.	2
33	Галактичні фонтани, галактичний вітер і галактичні космічні промені.	2
34	Мікро-квазари та релятивістські струмені в галактичних джерелах.	2
35	Космічні промені від розпаду та анігіляції частинок темної матерії в гало Галактики. Спостережувані обмеження на маси та час життя розпадних частинок темної матерії.	2
36	Сонячні спалахи як джерела космічних променів та гамма-квантів.	2
	Всього за семестр	72

10. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає:

- 1) контрольні роботи за трьома змістовими модулями ($3 \times 12 = 36$ балів),
- 2) реферативна робота (15 балів),
- 3) залік (50 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		
12	12	12	15	51

На заліку студент може отримати 25 балів за правильні відповіді на тестові запитання (письмово) та 25 балів за усні відповіді по білетах (5 питань по 5 балів кожне).

12. Методичне забезпечення

1. Гнатик Б.І., Новосядлий В.С., Петрук О.Л. “Високоенергетичні процеси та космічні промені у Всесвіті”, 2010 р. (pdf-файли).
2. 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).
3. Новосядлий Б.С. “Основи і становлення сучасної космології”, Педагогічна думка, №2, стор. 3-12 (2004).
4. Новосядлий Б.С. “Формування великомасштабної структури Всесвіту”, Журнал фізичних досліджень, т.11, №2, стор. 226-257 (2007).
5. Новосядлий Б.С. “Реліктове електромагнітне випромінювання: від гіпотези Гамова до космічного телескопа Планк”, Світогляд, №21, стор. 10-23 (2010).
6. Tkachev I.I. «Astroparticle Physics» [[arXiv:hep-ph/0405168](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0405168)]

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-Клайнгротхауса 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>