

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

Кафедра астрофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-
педагогічної роботи та
інформатизації

_____ Кухарський В.М.
“_____” _____ 2016 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

СТРУКТУРА І ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ

галузі знань **0402** Фізико-математичні науки
спеціальностей
8.04020601 Астрономія,
8.04020301 Фізика,
8.04020201 Фізика конденсованого стану
фізичного факультету

Кредитно-модульна система
організації навчального процесу

Львів – 2016

Структура і еволюція Всесвіту. Робоча програма навчальної дисципліни для студентів галузі знань **0402** Фізико-математичні науки спеціальностей **8.04020601** **Астрономія**, **8.04020301** **Фізика**, **8.04020201** **Фізика конденсованого стану**. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016. — 13 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.)

Опис навчальної дисципліни
(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни
“Структура і еволюція Всесвіту”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів — 5	Галузь знань 0402 Фізико-математичні науки	Нормативна (Астрономія, Фізика), Дисципліна вільного вибору (Фізика конденсованого стану)
Модулів — 1	Спеціальність 8.04020601 Астрономія, 8.04020301 Фізика,	<i>Рік підготовки:</i> 5-й
Змістових модулів — 4		
		<i>Семестр</i>
Загальна кількість годин — 150		
		<i>Лекції</i>
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — 3 самостійної роботи студента — 6.375	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр	
		<i>Практичні, семінарські</i> -
		<i>Лабораторні</i> 16 год.
		<i>Самостійна робота</i> 102 год.
		<i>Вид контролю:</i> залік

Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс “Структура і еволюція Всесвіту” є одним із базових у підготовці студентів-магістрів з фізики. Він дає студенту змогу здобути основи знань наукової картини світу, в якому ми живемо, оволодіти сучасними уявленнями про фундаментальні властивості Всесвіту як цілого, його еволюцію, будову та формування галактик і великомасштабної структури.

Космологія, як фізична наука, що базується на загальній теорії відносності, астрофізиці, фізиці елементарних частинок, полів та фундаментальних взаємодій, покликана пояснити усю сукупність спостережуваних даних про Всесвіт, описати його еволюцію від Великого Вибуху до сучасного стану, спрогнозувати можливі сценарії його подальшого розвитку. Курс важливий тим, що демонструє можливості сучасної фізики пояснити найбільш сокровенні питання світобудови, об'єднує знання усіх розділів фізики для інтерпретації різноманіття спостережуваних властивостей Всесвіту як цілого та його окремих частин — галактик, скупчень галактик та надскупчень. З огляду на це вивчення курсу є необхідним для студентів, які здобувають ступінь магістра з фізики, незалежно від того чи він працюватиме учителем в школі, викладачем в університеті, чи дослідником у науковій установі.

Лабораторні заняття дають змогу студенту набути практичних навичок у розв'язуванні задач космології, зрозуміти прояви фізичних законів в масштабах значно більших за ті, що доступні на Землі та у Сонячній системі.

Мета: сформувати в майбутнього фізика цілісну наукову картину походження та еволюції Всесвіту як цілого, утворення галактик та великомасштабної структури, складу Всесвіту та природи прихованих компонент — темної матерії і темної енергії, синтезу ядер хімічних елементів та властивостей реліктового випромінювання; дати основи знань фізичних моделей раннього Всесвіту, моделей інфляційної стадії та ознайомити з сучасними гіпотезами початку розширення; розвинути у студентів навички теоретичного моделювання динаміки спостережуваного розширення Всесвіту, формування його структури на всіх масштабах, вміння пов'язувати спостережувані та вимірювані величини в космології із фізичними параметрами об'єктів, що знаходяться на космологічних відстанях в нестационарних моделях Всесвіту. Це передбачає виклад основ фізичної космології — спостережуваних фундаментальних властивостей Всесвіту, космологічних моделей, які описують властивості Всесвіту як цілого, теорії раннього Всесвіту, теорії реліктового випромінювання, теорії космологічного нуклеосинтезу, теорії гравітаційної нестійкості.

Завдання: дати студентам основи знань сучасної фізичної космології, навчити самостійно виводити в рамках загальної теорії відносності рівняння, які описують еволюцію однорідного ізотропного Всесвіту, та аналізувати їх розв'язки; навчити студентів отримувати рівняння для еволюції збурень густини і швидкості речовини та метрики простору-часу, застосовувати отримані розв'язки до проблеми формування великомасштабної структури Всесвіту та її елементів — галактик та скупчень галактик.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати:

1. спостережувані властивості Всесвіту як цілого та його структуру;
2. основні етапи становлення фізичної космології;
3. космологічний принцип;
4. рівняння класичної гідродинаміки для однорідного ізотропного простору;
5. обмеженість класичної механіки в описі Всесвіту як цілого;
6. рівняння загальної теорії відносності;
7. метрику Фрідмана-Робертсона-Уокера;
8. властивості 3-просторів додатньої та від'ємної кривини;
9. рівняння Фрідмана для однорідного ізотропного простору;

10. властивості реліктового випромінювання;
11. властивості прихованих компонент Всесвіту та спостережувані підстави їх існування;
12. основні етапи еволюції Всесвіту від Великого Вибуху до формування галактик;
13. необхідні умови існування короткочасної інфляційної стадії в ранню епоху;
14. космологічні моделі в контексті історії становлення сучасної космології;
15. теорію Джинса гравітаційної нестійкості однорідного стаціонарного середовища;
16. теорію Ліфшиця гравітаційної нестійкості нестаціонарного Всесвіту;
17. сценарії формування галактик та великомасштабної структури Всесвіту;
18. фізичну природу ефектів, що зумовлюють анізотропію реліктового випромінювання;
19. ключові експерименти та спостережувані дані сучасної космології;
20. етапи еволюції Всесвіту;

ВМІТИ:

1. розраховувати символи Крістофеля в 4-просторі з однорідним ізотропним 3-простором довільної кривини;
2. розраховувати компоненти тензора Річчі для 4-простору з метрикою Фрідмана-Робертсона-Уокера;
3. розраховувати компоненти тензора енергії-імпульсу ідеальної рідини з довільним рівнянням стану;
4. виводити рівняння Айнштейна-Фрідмана для однорідного ізотропного Всесвіту;
5. розв'язувати рівняння Айнштейна-Фрідмана для Всесвіту, заповненого пилоподібною речовиною;
6. розв'язувати рівняння Айнштейна-Фрідмана для Всесвіту, заповненого речовиною з ультрарелятивістським рівнянням стану;
7. розв'язувати рівняння Айнштейна-Фрідмана для Всесвіту, заповненого темною матерією та темною енергією;
8. застосовувати отримані розв'язки до аналізу еволюції Всесвіту як цілого;
9. записувати і аналізувати рівняння космологічної рекомбінації;
10. записувати і аналізувати основні реакції космологічного нуклеосинтезу;
11. виводити рівняння для збурень метрики простору-часу, густини та швидкості речовини в лінійному наближенні;
12. розв'язувати рівняння для збурень метрики простору-часу, густини та швидкості речовини різних масштабів в лінійному наближенні у випадку пилоподібного середовища;
13. розв'язувати рівняння для збурень метрики простору-часу, густини та швидкості речовини різних масштабів в лінійному наближенні у випадку середовища з ультрарелятивістським рівнянням стану;
14. застосовувати отримані розв'язки до аналізу формування великомасштабної структури Всесвіту та її елементів — галактик, скупчень галактик, порожнин у їх просторовому розподілі тощо;
15. вербально описувати еволюцію Всесвіту від планківської епохи до сучасного стану.

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

Програма навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовий модуль 1. Космологічні моделі однорідного ізотропного Всесвіту.

- Тема 1. Просторовий розподіл галактик та просторово-часові масштаби в космології.
- Тема 2. Космологічний принцип, розширення Всесвіту, закон Габбла.
- Тема 3. Етапи становлення космології як науки.
- Тема 4. Динаміка розширення однорідного ізотропного середовища: опис в рамках класичної гідродинаміки. Обмеженість класичної механіки в описі Всесвіту як цілого.
- Тема 5. Всесвіт як ціле: послідовний опис в рамках загальної теорії.
- Тема 6. Метрика та властивості 3-простору додатньої, нульової та від'ємної кривини.
- Тема 7. Рівняння Айнштейна для однорідного ізотропного Всесвіту.
- Тема 8. Космологічні моделі Фрідмана.
- Тема 9. Космологічна стала та модель де Сіттера.
- Тема 10. Еволюція Всесвіту з пилоподібною матерією, космологічною сталою та кривиною 3-простору, космологічний трикутник.
- Тема 11. Поширення сигналів, червоне зміщення, відстані та горизонт у фрідманівських моделях Всесвіту.
- Тема 12. Тести космологічних моделей.
- Теми 13. Альтернативи теорії Великого Вибуху: ретроспективний огляд.

Змістовий модуль 2. Темна матерія та темна енергія.

- Тема 14. Спостережувані підстави існування темної матерії.
- Тема 15. Загальні властивості темної матерії та кандидати в частинки темної матерії.
- Тема 16. Спостережувані підстави існування темної енергії.
- Тема 17. Загальні властивості та моделі темної енергії.
- Тема 18. Динаміка розширення Всесвіту в моделях з різним типом темної енергії.
- Тема 19. Сучасні визначення вмісту прихованих компонент Всесвіту.

Змістовий модуль 3. Реліктове випромінювання та моделі раннього Всесвіту.

- Тема 20. Передбачення і відкриття реліктового електромагнітного випромінювання.
- Тема 21. Гаряча модель раннього Всесвіту.
- Тема 22. Космологічна рекомбінація та сфера останнього розсіювання реліктового випромінювання.
- Тема 23. Енергетичний розподіл та густина реліктового випромінювання (РВ).
- Тема 24. Ізотропія РВ та проблема горизонту.
- Тема 25. Проблеми стандартного сценарію Великого Вибуху.
- Тема 26. Інфляційна стадія еволюції Всесвіту.
- Тема 27. Фізичні процеси в ранньому Всесвіті. Баріосинтез та баріонна асиметрія.
- Тема 28. Поширеність елементів та космологічний нуклеосинтез.
- Тема 29. Сучасні визначення вмісту усіх енергетичних компонент Всесвіту: баріонної речовини, темної матерії, темної енергії, електромагнітного випромінювання, реліктових нейтрино.

Змістовий модуль 4. Формування структури Всесвіту та її елементів.

- Тема 30. Теорія Джинса гравітаційної нестійкості стаціонарного однорідного середовища.
- Тема 31. Рівняння ЗТВ для малих збурень метрики простору-часу, густини та швидкості матерії в однокомпонентному Всесвіті, що розширюється.

Тема 32. Формування галактик та великомасштабної структури в однокомпонентному Всесвіті. Проблеми узгодження спостережуваної анізотропії РВ з існуючою структурою Всесвіту.

Тема 33. Формування структури в багатоконпонентному Всесвіті. Ієрархічний сценарій формування структури.

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. Космологічні моделі однорідного ізотропного Всесвіту.						
Тема 1. Просторовий розподіл галактик та просторово-часові масштаби в космології.	2.5	0.5		0		2
Тема 2. Космологічний принцип, розширення Всесвіту, закон Габбла.	2.5	0.5		0		3
Тема 3. Етапи становлення космології як науки.	3	1		0		2
Тема 4. Динаміка розширення однорідного ізотропного середовища: опис в рамках класичної гідродинаміки.	7	2		1		4
Тема 5. Всесвіт як ціле: послідовний опис в рамках загальної теорії.	3.5	0.5		0		3
Тема 6. Метрика та властивості 3-простору додатньої, нульової та від'ємної кривини.	6	1		1		4
Тема 7. Рівняння Айнштейна для однорідного ізотропного Всесвіту.	7	1		2		4
Тема 8. Космологічні моделі Фрідмана.	13	3		2		8
Тема 9. Космологічна стала та модель де Сіттера.	6	1		1		4
Тема 10. Еволюція Всесвіту з пилоподібною матерією, космологічною сталою та кривиною 3-простору, космологічний трикутник.	6	1		1		4
Тема 11. Поширення сигналів, червоне зміщення, відстані та горизонт у фрідманівських моделях Всесвіту.	7	1		1		5
Тема 12. Тести космологічних моделей.	3	1		0		2
Тема 13. Альтернативи теорії Великого Вибуху: ретроспективний огляд.	2.5	0.5		0		2
Разом – зм. модуль 1	69	14		9		47
Змістовий модуль 2. Темна матерія та темна енергія.						

Тема 14. Спостережувані підстави існування темної матерії.	3	1		0		2
Тема 15. Загальні властивості темної матерії та кандидати в частинки темної матерії.	4	1		0		3
Тема 16. Спостережувані підстави існування темної енергії.	2.5	0.5		0		2
Тема 17. Загальні властивості та моделі темної енергії.	3.5	0.5		0		3
Тема 18. Динаміка розширення Всесвіту в моделях з різним типом темної енергії.	8	1		2		4
Тема 19. Сучасні визначення вмісту прихованих компонент Всесвіту.	3	1		0		2
Разом – зм. модуль 2	24	5		2		16
Змістовий модуль 3. Реліктове випромінювання та моделі раннього Всесвіту.						
Тема 20. Передбачення і відкриття реліктового електромагнітного випромінювання.	1.5	0.5		0		2
Тема 21. Гаряча модель раннього Всесвіту.	4	1		0		3
Тема 22. Космологічна рекомбінація та сфера останнього розсіювання реліктового випромінювання.	7	1		2		4
Тема 23. Енергетичний розподіл та густина реліктового випромінювання (РВ).	3	1		0		2
Тема 24. Ізотропія РВ та проблема горизонту.	4	1		0		3
Тема 25. Проблеми стандартного сценарію Великого Вибуху.	2.5	0.5		0		2
Тема 26. Інфляційна стадія еволюції Всесвіту.	7	1		2		4
Тема 27. Фізичні процеси в ранньому Всесвіті. Баріо-синтез та баріонна асиметрія.	2.5	0.5		0		2
Тема 28. Поширеність елементів та космологічний нуклеосинтез.	3	1		0		2

Тема 29. Сучасні визначення вмісту усіх енергетичних компонент Всесвіту: баріонної речовини, темної матерії, темної енергії, електромагнітного випромінювання, реліктових нейтрино.	1.5	0.5		0		1
Разом – зм. модуль 3	36	8		4		25
Змістовий модуль 4. Формування структури Всесвіту та її елементів.						
Тема 30. Теорія Джинса гравітаційної нестійкості стаціонарного однорідного середовища.	3	1		0		2
Тема 31. Рівняння ЗТВ для малих збурень метрики простору-часу, густини та швидкості матерії в однокомпонентному Всесвіті, що розширюється.	9	2		1		6
Тема 32. Формування галактик та великомасштабної структури в однокомпонентному Всесвіті. Проблеми узгодження спостережуваної анізотропії РВ з існуючою структурою Всесвіту.	6	1		1		4
Тема 33. Формування структури в багатоконпонентному Всесвіті. Ієрархічний сценарій формування структури.	3	1		0		2
Разом – зм. модуль 4	21	5		2		14
Усього годин	150	32	0	17	0	102

7. Темы лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	К-сть годин
1	Застосування рівнянь класичної гідродинаміки до опису розширення однорідного ізотропного Всесвіту.	1
2	Метрика та властивості 3-простору додатньої, нульової та від'ємної кривини.	1
3	Рівняння Айнштейна для однорідного ізотропного Всесвіту з метрикою Фрідмана-Робертсона-Уокера.	2
4	Космологічні моделі Фрідмана.	2
5	Космологічна стала та модель де Сіттера.	1
6	Еволюція Всесвіту з пилоподібною матерією, космологічною сталою та кривиною 3-простору, космологічний трикутник.	1

№ з/п	Назва теми	К-сть годин
7	Поширення сигналів, червоне зміщення, відстані та горизонт у фрідманівських моделях Всесвіту.	1
8	Динаміка розширення Всесвіту в моделях з різним типом темної енергії. Проміжне підсумкове заняття.	2
9	Космологічна рекомбінація та сфера останнього розсіювання реліктового випромінювання.	2
10	Інфляційна стадія еволюції Всесвіту.	1
11	Рівняння ЗТВ для малих збурень метрики простору-часу, густини та швидкості матерії в однокомпонентному Всесвіті, що розширюється.	1
12	Формування галактик та великомасштабної структури в однокомпонентному Всесвіті. Проблеми узгодження спостережуваної анізотропії РВ з існуючою структурою Всесвіту. Підсумкове заняття	1
	Всього за семестр	16

8. Самостійна робота *лекцій, лабораторні*

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	Просторовий розподіл галактик та просторово-часові масштаби в космології. Космологічний принцип, розширення Всесвіту, закон Габбла. Етапи становлення космології як науки.	6
2	Динаміка розширення однорідного ізотропного середовища: опис в рамках класичної гідродинаміки.	4
3	Всесвіт як ціле: послідовний опис в рамках загальної теорії. Метрика та властивості 3-простору додатньої, нульової та від'ємної кривини. Рівняння Айнштейна для однорідного ізотропного Всесвіту.	11
4	Космологічні моделі Фрідмана. Космологічна стала та модель де Сіттера. Еволюція Всесвіту з пилоподібною матерією, космологічною сталою та кривиною 3-простору, космологічний трикутник.	16
5	Поширення сигналів, червоне зміщення, відстані та горизонт у фрідманівських моделях Всесвіту. Тести космологічних моделей.	7
6	Альтернативи теорії Великого Вибуху: ретроспективний огляд.	2
7	Спостережувані підстави існування темної матерії. Загальні властивості темної матерії та кандидати в частинки темної матерії.	5
8	Спостережувані підстави існування темної енергії. Загальні властивості та моделі темної енергії.	5
9	Динаміка розширення Всесвіту в моделях з різним типом темної енергії.	4
10	Передбачення і відкриття реліктового електромагнітного випромінювання. Гаряча модель раннього Всесвіту.	4
11	Космологічна рекомбінація та сфера останнього розсіювання реліктового випромінювання.	4
12	Енергетичний розподіл та густина реліктового випромінювання (РВ). Ізотропія РВ та проблема горизонту.	5
13	Проблеми стандартного сценарію Великого Вибуху. Інфляційна стадія еволюції Всесвіту.	6
14	Фізичні процеси в ранньому Всесвіті. Баріо-синтез та баріонна асиметрія. Поширеність елементів та космологічний нуклеосинтез.	4

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
15	Сучасні визначення вмісту усіх енергетичних компонент Всесвіту: баріонної речовини, темної матерії, темної енергії, електромагнітного випромінювання, реліктових нейтрино.	3
16	Теорія Джинса гравітаційної нестійкості стаціонарного однорідного середовища.	2
17	Рівняння ЗТВ для малих збурень метрики простору-часу, густини та швидкості матерії в однокомпонентному Всесвіті, що розширюється.	6
18	Формування галактик та великомасш-табної структури в однокомпонентному Всесвіті. Проблеми узгодження спостережуваної анізотропії РВ з існуючою структурою Всесвіту.	4
19	Формування структури в багатоком-понентному Всесвіті. Ієрархічний сценарій формування структури.	2
20	Формування зір, квазарів та галактик. Хімічна еволюція речовини у Всесвіті.	2
Всього за семестр		102

10. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає:

- 1) контрольні роботи за чотирьома змістовими модулями ($4 \times 10 = 40$ балів),
- 2) лабораторні роботи (35 балів),
- 3) підсумкове заняття - залік (25 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				ПІД-СУМ	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3	Змістовий модуль 4		
25	15	20	15	25	100

На підсумковому занятті студент отримує 5 питань по 5 балів кожне.

12. Методичне забезпечення

1. Вакарчук І.О. “Лекції з загальної теорії відносності”, Вид.-во Львівського університету, (1990), 91 с.
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, №2, т.11, стор. 226-257 (2007).
4. Новосядлий Б.С. “Реліктове електромагнітне випромінювання: від гіпотези Гамова до космічного телескопа Планк”, Світогляд, №21, стор. 10-23 (2016).

13. Рекомендована література

Базова

1. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. 1975.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1976.
3. Ф.Дж.Э.Пиблс. Структура Вселенной в больших масштабах. 1983, М., Наука.
4. В.Г. Горбацкий. Введение в физику галактик и скоплений галактик. М.: Наука, 1986.
5. І.А. Климишин. Релятивістська астрономія. Київ: Наукова думка, 1980.
6. Л.Э. Гуревич, А.Д. Чернин. Введение в космогонию. М.: Наука, 1978г.
7. Ю.В. Александров. Основи релятивістської космології. Харків: ХНУ, 2004р.
8. І. Б. Вавілова. Великомасштабна структура Всесвіту. Київ: КНУ, 1998р.
9. P.J.E. Peebles. Principles of Physical Cosmology. Princeton University Press, 1993.
10. В.І. Жданов. Вступ до релятивістської теорії тяжіння. Київ, 1996.
11. П.Д. Насельский, Д.И. Новиков, И.Д. Новиков. Реликтовое излучение Вселенной. М.: Наука, 2003.

14. Інформаційні ресурси

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