ЗМІСТ

Передмова 9

Вступ. Витоки космології 13

Розділ 1. Принципи загальної теорії відносності

1.1. Виділена система відліку 21

1.2. Гравітація, інерція та припливні сили 24

1.3. Простір, час і простір-час 31

1.4. Ефекти та перевірки ЗТВ 35

1.4.1. Прецесія перигелію 35

1.4.2. Відхилення світла 38

1.4.3. Гравітаційне червоне зміщення 40

1.4.4. Інші ефекти та перевірки 43

Розділ 2. Всесвіт, що розширюється

2.1. Статичний Всесвіт Ейнштейна 47

2.2. Інші галактики та їхнє розбігання 48

2.3. Розширення Всесвіту 51

2.4. Червоне зміщення 53

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

2.5. Закон Хаббла ... 55
2.6. Відстані в астрономії ... 58
2.7. Моделі Фрідмана ... 60
2.8. Стріла часу ... 64
2.9. Геометрія Всесвіту ... 68
2.10. Параметр уповільнення ... 73
2.11. Масштабний фактор ... 74
2.12. Великий вибух ... 75

Розділ 3. Вміст Всесвіту

3.1. На шляху до таблиці Мендєлєєва ... 84
3.2. Проблема антиматерії ... 87
3.3. Революція наближається ... 88
3.4. Скільки важить світло? ... 90
3.5. Матерія з ненульовим тиском у Всесвіті, що розширяється ... 94
3.6. Збереження енергії ... 96
3.7. Космологічна стала завдає удару у відповідь ... 98
3.8. Стандартна космологічна модель ... 100

Розділ 4. Ранній Всесвіт

4.1. Реліктове випромінювання: відлуння Великого вибуху ... 107
4.2. Відкриття реліктового випромінювання ... 108
4.3. Анізотропія реліктового випромінювання ... 110
4.4. Експериментальні дослідження анізотропії реліктового випромінювання ... 112
4.5. Нездорові сенсації ... 118

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

4.6. Космологічний горизонт ... 119
4.7. Інфляція Всесвіту ... 122
4.8. Мультивсесвіт і антропний принцип ... 133

Розділ 5. Темна матерія

5.1. Відкриття темної матерії. Віріальна маса ... 140
5.2. Криві обертання галактик ... 141
5.3. Відношення маса-світність ... 145
5.4. Злиття галактик ... 147
5.5. Космічні потоки ... 148
5.6. Темпи зростання флуктуацій густини ... 150
5.7. Гравітаційне лінзування ... 152
5.8. З чого складається темна матерія? ... 156
5.9. Альтернативні моделі ... 160

Розділ 6. Темна енергія

6.1. Відстані у викривленому просторі-часі ... 165
6.2. Свідчення існування темної енергії ... 172
6.3. Моделі темної енергії ... 174

Розділ 7. Чорні діри та інша екзотика

7.1. Нейтронні зорі ... 183
7.2. Чорні діри ... 186
7.3. Голі сингулярності ... 200

Підсумки ... 205

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

Додаток А. Нерелятивістська космологія без космологічної сталої

А.1 Рівняння Фрідмана без космологічної сталої 213
А.2 Аналіз моделей Фрідмана 219
А.3 Параметр уповільнення 222

Додаток Б. Нерелятивістська космологія з космологічною сталою

Б.1 Модель де Сіттера 227
Б.2 *ΛCDM*-модель 228
Б.3 Пласка *ΛCDM*-модель 232

Бібліографія 239
Рекомендована література 240

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

Передмова

У цій книзі йтиметься про історію та сучасний стан космології — науки про Всесвіт. Загалом ми прагнули пояснити основні ідеї сучасної космології: розширення Всесвіту, його створення під час Великого вибуху, його еволюцію, характеристики тощо; спробували відповісти на деякі популярні запитання про космологію; а також обговорити дві таємниці сучасної науки, безпосередньо пов'язані з космологією: темну матерію та темну енергію.

Ця книжка є доопрацьованим перевиданням книжки «How the Universe works: Introduction to modern cosmology», яка вийшла англійською мовою 2018 року. В цьому виданні ми дещо перегрупували матеріал, а також додали текст та ілюстрації, щоби зробити пояснення більш зрозумілими. Крім того, були використані деякі матеріали з нашої попередньої книги «Вступ до сучасної космології» 2013 року, що не увійшли до англомовного видання. Нашою метою було зробити цю книгу доступнішою для широкої аудиторії. Ми намагалися пояснювати всі наукові терміни, які використовували та враховувати численні відгуки читачів. Якщо ж наших пояснень виявилося недостатньо, завжди можна звернутися до Вікіпедії і знайти там інформацію, якої має вистачити, щоби рухатись далі.

Ця книжка відрізняється від більшості науково-популярних книжок. Як і у попередніх виданнях, ми уникали зрізання кутів у поясненнях і намагалися обґрунтовувати різні припущення або

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

оцінки, що робляться в космології. Тут не приховуються проблеми, з якими стикається сучасна космологія, а також питання, стосовно яких наукова спільнота не має одностайної думки. Ми не видавали гіпотези за усталені теорії (як іноді буває у наукових працях та науково-популярній літературі). У певному сенсі ця книга є проміжною ланкою між науково-популярною книгою та підручником і є своєрідним мостом через величезну прірву, що відокремлює популярну науку від справжньої науки.

Золоте правило написання науково-популярних книг говорить: «Кожна формула в тексті вдвічі зменшує кількість потенційних читачів». Втім, ми ризикнули і все ж таки додали рівняння, але тільки там, де без них неможливо було обійтися. Кількість формул звели до мінімуму і зробили їх якомога простішими, вони будуть зрозумілими всім, хто отримує чи вже отримав вищу освіту за природничим або технічним напрямом. Усі формули, крім найпростіших, зібрано у розділах, позначених зображенням замисленого восьминога (їх слід розглядати як додатковий матеріал). Якщо читати книгу, оминаючи їх, це істотно не впливатиме на розуміння всього тексту, незважаючи на те, що в інших розділах є посилання на них. Тому ми радимо принаймні спробувати їх прочитати. Кожна така частина починається зі стислого викладу. В цих розділах ми намагалися деталізувати розрахунки, не роблячи логічних стрибків, щоби читачі могли зрозуміти, звідки беруться ті чи інші космологічні формули. Ці частини написані на кшталт простого підручника з космології для тих, хто не знайомий з математичним формалізмом загальної теорії відносності. Решта книги розрахована на широку аудиторію, хоча і вимагає певних знань з математики, фізики та астрономії. Для тих, кому бракує базових знань з астрономії, ми наполегливо радимо спершу прочитати кілька популярних праць цієї тематики. Першою до прочитання рекомендуємо

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

книгу Айзека Азімова «Всесвіт. Від пласкої Землі до квазарів» [1969], незважаючи на те, що вона є дещо застарілою. Інша рекомендована література наведена у кінці книги, після підсумків.

Оскільки це видання не є науковим, ми не даємо посилання на наукові публікації, в яких вперше описані певні відкриття чи факти, а лише зазначаємо прізвища авторів і, в деяких випадках, роки. Також додаємо посилання на науково-популярні праці та оглядові статті з потенційно корисною для читачів інформацією, яку ми вирішили не включати до тексту книги. Зазвичай це стосується питань, які можуть зацікавити або лише невелику частину читачів, або є надто складними для науково-популярного видання. Такі посилання мають вигляд [Автор, рік] або просто [рік], якщо прізвище автора можна зрозуміти з контексту; їхній повний бібліографічний опис наведено у переліку посилань в кінці книги. Крім того, ми іноді посилаємось на електронні препринти у вигляді [arXiv:*щось*]; ви можете отримати їх, набравши в браузері *www.arXiv.org/abs/щось*, де *щось* – це все, що знаходиться між двокрапкою та правою квадратною дужкою; або загуглити наше посилання – це теж працює. Зверніть увагу, що більшість цих препринтів (хоча і не всі) розраховані на вчених і написані на відповідному рівні.

Насамкінець, хотілося б подякувати багатьом людям, які допомагали нам у підготовці книги, особливо, Ігорю Жуку та Гаяне Терзян, які намалювали значну частину ілюстрацій, а також вам, шановні читачі, за ваш інтерес до космології й за те, що ви обрали саме нашу книгу.

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

Вступ. Витоки космології

Цю книжку присвячено космології — науці про структуру і еволюцію Всесвіту, його минуле та майбутнє. Космологія — дуже молода наука: їй виповнилося всього сто років. Своєю появою вона завдячує публікації 1917 року роботи Альберта Ейнштейна «Космологічні прояви загальної теорії відносності» [1965]. У ній вперше закони фізики були застосовані до всього Всесвіту одразу. Конкретно мова йшла про рівняння загальної теорії відносності (ЗТВ), яку незадовго до цього придумав Ейнштейн.

Сказати по правді, ніщо не заважало цій науці з'явитися на 250 років раніше, одразу після відкриття сером Ісааком Ньютоном закону всесвітнього тяжіння. Фізики XVII–XIX століть міркували про нескінченний Всесвіт, заповнений зорями з планетними системами. Такий Всесвіт існував безперервно і все, що потрібно було для прогнозування його майбутнього стану, — це знання законів механіки і поточного стану всіх об'єктів. Однак, гравітація в ньютонівській механіці має одну особливість: це завжди сила тяжіння, яка ніколи не стає силою відштовхування. Тому, окремі зорі в нескінченному Всесвіті врешті мали б зібратися докупи через взаємне тяжіння. На реальному небі видимі неозброєним оком зорі розташовані приблизно рівномірно. Ця проблема начебто вирішувалася простим, але невірним

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

міркуванням: оскільки Всесвіт нескінченний, то кожна частинка тяжіє до нескінченного числа інших частинок. Якщо частинки заповнюють Всесвіт з постійною щільністю, то сумарна сила компенсується і при розгляді динаміки Всесвіту загалом, гравітаційним тяжінням можна знехтувати.

Ця ідея є настільки ж продуктивною, наскільки продуктивними є спроби поставити олівець на кінчик грифеля. В обох випадках причиною невдачі є нестійкість рівноваги. Навіть якщо ми якось примудримося поставити олівець вертикально на гострий кінець грифеля, то будь-яке найменше відхилення від вертикалі спричинить момент сили, який відхилить олівець у тому ж напрямку, збільшуючи відхилення і руйнуючи початкову рівновагу. У техніці цей ефект називається додатним зворотним зв'язком.

Ще ближчою є аналогія з перевернутою склянкою води. Напевно, вам відомий класичний дослід, у якому склянку з водою, накриту листівкою або щільною картонкою, перевертають догори дном, і вода залишається в склянці завдяки силі атмосферного тиску, еквівалентній вазі 10,3 метрів води. Але мало хто замислюється, навіщо для цього досліду необхідна картонка. Причина у так званій нестійкості Релея–Тейлора: коли більш щільна рідина (вода) поміщена над менш щільною рідиною (повітрям[1]), будь-яке відхилення поверхні від пласкої буде експоненційно збільшуватися з часом, швидко руйнуючи межу між ними. Цей процес широко відомий як виливання рідини. Ось для чого потрібна картонка: вона не створює жодних сил, але фіксує форму межі між водою і повітрям, перешкоджаючи розвитку нестійкості Релея–Тейлора.

---

[1] У гідродинаміці гази також часто називаються рідинами.

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>

У Всесвіті виникають два прояви подібної нестійкості, що називається гравітаційною нестійкістю. Один з них проявляється в тому, що через випадкові причини утворюються області підвищеної густини або атрактори, до яких починають рухатися сусідні зорі, і зони більш низької густини, відомі як порожнечі або войди. Другий проявляється в тому, що взаємне тяжіння зірок, що заповнюють нескінченний Всесвіт, призводить не лише до зростання збурень густини, але і до прискореного стиснення всього Всесвіту, тобто до зменшення середньої відстані між зорями. Цей результат також можна отримати, проаналізувавши потенційну енергію Всесвіту, яка є мінімальною, коли уся матерія збирається докупи.

Звичайно, вченим того часу було відомо, що відхилення від рівномірного розподілу густини матерії з часом призводять до їх збільшення, але у той час цей механізм розглядався лише у масштабах, що не перевищували розміри Сонячної системи. Відповідно до гіпотези Лапласа, планети Сонячної системи утворилися з початкової газопилової туманності саме під впливом взаємного гравітаційного тяжіння. До більших масштабів подібні міркування не застосовували. У розглянутій картині світу зростання неоднорідності густини матерії призводило до утворення планет, які не падали на Сонце тільки тому, що оберталися навколо нього. На відстанях порядку відстаней до найближчих зірок Всесвіт вже розглядався як щось однорідне, і вважалося, що сила тяжіння якогось тіла до різних зірок повністю компенсується.

Єдиною проблемою, яка порушувала цю майже ідеальну картину, був так званий парадокс Ольберса, сформульований 1823 року німецьким астрономом-любителем Хайнріхом Ольберсом, лікарем за фахом. Суть його полягала в тому, що в нескінченному незмінному Всесвіті замість нічного неба ми бачили б

Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>>