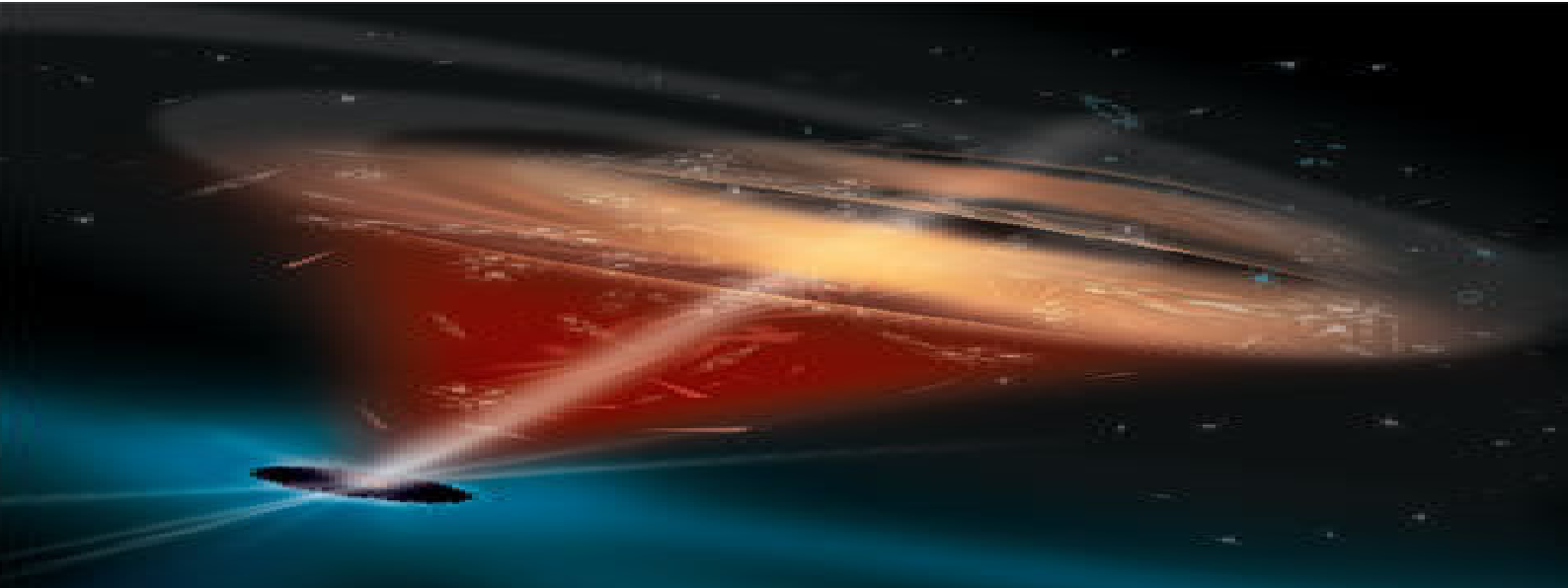




Семків Юрій Мирославович



Еволюція моделей
структури Всесвіту.



Семків Юрій Мирославович

Еволюція моделей структури Всесвіту

Тернопіль 2007.

УДК 523.11
ББК 22.6
С-30

Історія розвитку астрономії – це розробка моделей світоустрою. Автор старався на представленому матеріалі викласти проблеми сучасної космології - без математичних формул, доступно для читача. Матеріал методичного посібника призначений для використання вчителями фізики та астрономії, учнями старших класів, студентами.

Семків Ю.М.
С-30 Еволюція моделей структури Всесвіту -
Тернопіль.: Видавництво “Інфотехцентр”, 2007-57с.

Жодна частина даної книжки не може бути відтворена в будь-якій формі будь-якими засобами без письмового дозволу власника авторських прав.

З М І С Т.

РОЗДІЛ І. УТВОРЕННЯ ТА СТРУКТУРА ВСЕСВІТУ. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КРУПНОМАСШТАБНОЇ СТРУКТУРИ ВСЕСВІТУ.	5
1.1 ВСЕСВІТ І ЛЮДИНА (ФІЛОСОВСЬКО - ІСТОРИЧНИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМИ).	5
1.2 Від Всесвіту Аристотеля – до Всесвіту Ньютона.	5
1.3 Релятивістський Всесвіт.	8
1.4 Гарячий Всесвіт.	11
1.5. КОСМОЛОГІЯ РАНЬОГО ВСЕСВІТУ І СТВОРЕННЯ ЄДИНОЇ ТЕОРІЇ ПОЛЯ.	13
1.7 СВІТ ГАЛАКТИК: СВЕРХСКУПЧЕННЯ І ПОРОЖНЕЧІ У ВЕЛИКОМАСШТАБНІЙ СТРУКТУРІ ВСЕСВІТУ.	18
1.8 ФІЗИКИ Й АСТРОНОМИ: ПОГЛЯД З РІЗНИХ СТОРІН.	25
1.9 Питання Сендиджа	25
1.10 Зоряна еволюція і наша Галактика.	26
1.11 СЦЕНАРІЙ ФОРМУВАННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОЇ СТРУКТУРИ ВСЕСВІТУ. ТРИВИМІРНЕ КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОЇ СТРУКТУРИ ВСЕСВІТУ.	
1.12 ПРОЕКТ ВИВЧЕННЯ РЕЛІКТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ WMAP	46
ДОДАТОК	71
ДЖЕРЕЛА ПОСИЛАНЬ	103

РОЗДІЛ I. Утворення та структура Всесвіту. Комп'ютерне моделювання крупномаштабної структури Всесвіту.

1.1 Всесвіт і людина (Філософсько - історичний аспект проблеми).

Серед складних і різноманітних процесів становлення людської свідомості був і такий важливий процес. Первісне плем'я, добувши весь видобуток на визначеній ділянці чи лісу савани, змушено було мігрувати далі й освоювати всі нові і нові їхні райони. Зіткнення в ході цих міграцій з новими явищами й умовами спонукувало знати, а що "там, за обрієм". У результаті стало виникати і затверджуватися представлення про те, що світ не обмежується тим, що безпосередньо сприймається людиною в даний момент часу (а саме так сприймають світ тварини). В довгому процесі еволюції первісної людини в нього сформувалася настійна потреба мати представлення про навколишній його світі в цілому, про його устрій, про сили, що визначають існування і розвиток цього світу. Дати відповідь на всі ці питання, перш за все про просторово-тимчасову структуру світу – стало однією з найважливіших соціальних функцій науки, а конкретно – астрономії, її такого розділу як космологія. У первісну епоху й в епоху перших землеробських цивілізацій ця функція виконувалася донауковою астрономією в рамках єдиної всеохоплюючої міфологічної форми суспільної свідомості. Свідченням цього служать численні, існуючі у всіх народів світу, міфи, легенди, сказання про створення й облаштованість світу різними богами, титанами, героями.

1.2 Від Всесвіту Аристотеля – до Всесвіту Ньютона.

Історична заслуга виділення власне наукового знання належить культурі древньої Греції. Космологічні представлення були важливою складовою частиною цього ще не розчленованого натурфілософського знання. Головним в ідейному розвитку першої (іонійської) наукової школи була думка про єдність світу, що приймала тоді форму пошуку матеріальної першооснови всієї розмаїтості явищ, що оточують людини. У ході цього пошуку визрівало і найважливіше поняття – поняття **Космосу**. У це поняття вкладався не тільки зміст, близький нашому терміну "Всесвіт". Це поняття означало не просто "усе те, що існує", а і те, що все воно об'єднано визначеною структурою, порядком, гармонією, – на противагу неупорядкованому **Хаосу**, з якого **Космос** колись виник. Причому це поняття несло не тільки логічне, але і естетичне навантаження. Надалі поняття Космосу, звільняючись від своєї міфологічної шкарлупи, збагачуючи ідеєю розвитку, одержало дуже завершену форму у відомому фрагменті з Геракліта Ефесського (VI-V ст. до н.е.): "Цей світовий порядок, той самий для всіх, не створив ніхто ні з богів, ні з людей, але він завжди був, є і вічно буде живим вогнем, мірою що займається, мірою гаснучим".

Згодом на основі осмислення Платоном представлень про людину у світі і шляхах його пізнання, виникла перша **космологічна модель цього світу – картина світу Евдокса-Аристотеля** (IV-III вв. до н.е.). Світ, просторово-ограничений сферою нерухомих зірок, уключав прозорі (кришталеві) сфери – 27

сфер в Евдокса і 56 в Аристотеля). Обертання цих сфер навколо різних осей покликано було пояснити рухи Сонця, Місяця і п'яти видимих оком планет. Астрономічна картина світу Евдокса-Аристотеля, незважаючи на усю свою наївність із сучасної точки зору, була принципово важливим явищем у розвитку науки. Вона стала першою в історії людства картиною Всесвіту, не створеною "ніким ні з богів, ні з людей". Картиною світу вже науковою, тому що її елементи були зв'язані причинно-наслідковими зв'язками, тому що вона відображала, принаймні якісно, дуже велику кількість явищ, що спостерігаються, тому що була створена шляхом логічної обробки значного масиву даних на основі деяких загальних принципів. Ця перша астрономічна картина світу органічно ввійшла в енциклопедичну науково-філософську спадщину Аристотеля, що створило і першу **загальнонаукову картину світу**.

Найважливішою рисою першої в історії **космологічної моделі**, що потім була присуща і всім наступним картинам світу, стала її обумовленість основними фізичними представленнями своєї епохи. В основі фізики Аристотеля лежав принцип абсолютності руху, абсолютності швидкостей, а не прискорень. Це було узагальненням виробничої і побутової практики того часу, що показувала, - для рівномірного і прямолінійного руху потрібно додавати постійну силу (у дійсності – для подолання сили тертя).

Ці ж фізичні представлення лежали й в основі наступної **космологічної моделі**, що створила антична наука, – **картини світу Гіппарха-Птолемея**. Якісно новим у ній було відмовлення від умоглядних конструкцій типу кришталевих сфер і розробка на визначених фізичних підставах методу кількісного опису руху небесних тіл, що давав можливість прогнозувати ці рухи. Цей спосіб був розвинутий у геометричній формі, узагалі властивій давньогрецькій математиці. Це був відомий спосіб епіциклів і дифферентів – системи кіл, у якій центр чергового кола рухається по попередньому колу, по останньому ж колу найменшого радіуса рухається саме небесне тіло. Інтересно, що Птолемей у своєму "Альмагесті" обговорював обидві можливі системи світу – геоцентричну і геліоцентричну. Але, привівши ряд розумінь (справедливих, звичайно, тільки з погляду фізики Аристотеля), він відкинув геліоцентричну систему.

І все ж система Гіппарха-Птолемея – це величезне досягнення не тільки астрономії, але всієї людської культури. Вперше в історії була створена кількісна теорія, що не тільки узагальнювала велике число фактів з визначеної сфери дійсності, але і дозволяла користатися нею в подальшій науковій і виробничій практиці. При її створенні був реалізований один із принципів наукової методології – пояснення й опис складних процесів шляхом їхнього розкладання в сукупність більш простих елементарних процесів. І це було зроблено не тільки якісно, але і кількісно на основі ідеї послідовних наближень. Із сучасної математичної точки зору це була теорія, де вперше був застосований спектральний аналіз складних періодичних процесів. Причому в його найважливішому і найбільш розповсюдженному виді – у виді Фур'є-аналізу. Тому що, якщо перевести геометричну побудову з епіциклів і дифферентів на сучасну аналітичну мову, то одержимо кінцеві тригонометричні ряди для координат небесних тіл (амплітуди і частоти яких визначалися емпіричним шляхом). Інша справа, що, говорячи

сучасною мовою, система відліку в картині світу Гіппарха-Птолемея не є оптимальною, тому що геоцентрична система істотно неінерціальна, у той час як геліоцентрична система дуже близька до інерціальної. Тому траєкторії руху тіл у геоцентричній системі набагато складніші, ніж у геліоцентричній. Відповідно і сходяться ряди Фур'є в цій (Гіппарха-Птолемея) системі дуже повільно, але істотно заважати її практичному застосуванню це стало набагато пізніше.

Панування аристотелевої фізики не дозволило античній науці сприйняти і першу послідовно геліоцентричну космологічну модель, розвинуту Аристархом Самоським. Він зумів знайти спосіб виміряти розміри Сонця і Місяця в частках радіуса Землі, переконався, що Сонце набагато більше Землі, і воно тому повинно бути центом світобудови. Наукові ідеї Аристарха виявилися передчасними. Але їх не можна недооцінювати. З іскри, висіченої Аристархом із Самоса, розгорілося полум'я, яким Коперник освітив шлях, яким майже через два тисячоріччя пішли Галілей та Ньютон.

Для того щоб склалися умови для нового якісного стрибка в космологічних представленнях людства, знадобилися корінні зміни в соціально-економічному житті суспільства, повинні були стати цілком явними недостатність фізики Аристотеля і космології Гіппарха-Птолемея. Такі умови визріли тільки в XVI столітті. Але і сили, що стояли на шляху до такого стрибка, були великі. Це і вся система релігійних представлень, що пронизувала всі сфери життя суспільства. Це й авторитет Аристотеля, підкріплюваний не тільки освяченням його католицькою церквою, але і всім “здоровим глуздом” повсякденного буття, узагальненням якого і було навчання Аристотеля з усіма його сильними і слабкими сторонами. Н. Коперник, виходячи з принципу відносності руху (хоча явно їм ще не сформульованого) зумів відкинути **основну догму античної космології – навчання про нерухомість Землі**. І. Кеплер, спираючись на самі точні і великі в дотелескопічній астрономії позиційні спостереження планет Т. Браге, переборює догму, що йде ще від Платона, про небесні рівномірні кругові рухи небесних тіл. Він відкрив названі його ім'ям закони планетних рухів. “Ця астрономія відкрила нам існування законів” – так оцінив результати Кеплера А. Пуанкаре у своїй книзі “Цінність науки”.

Галілей, розвиваючи ідеї геліоцентризму і затверджуючи експериментальний підхід до вивчення природи, прийшов до основних тверджень нової фізики – **принципу відносності і закону інерції**. Своїми телескопічними відкриттями він не тільки закріпив представлення про ближній космос як про Сонячну систему, але і проклав шлях до відкриття нескінченного зоряного Всесвіту. Після Галілея нову методологію науки, новий погляд на світ розвивали Р. Декарт і Х. Гюйгенс.

Згадані вище великі розуми і були тими гігантами, коштуючи на плечах яких І. Ньютон, (по його власному визнанню), зміг завершити переворот у представленнях людства про світ, у якому воно виникло й існує. Якщо залишити осторонь безумовно значні роботи Ньютона по оптиці, то в центрі його наукових звершень знаходиться рішення їм задачі двох тіл. Але для цього Ньютонові довелося завершити створення адекватного задачі математичного апарату – основ диференціального й інтегрального числення, сформулювати основні поняття і закони класичної механіки і, нарешті, відкрити закон всесвітнього тяжіння. У

підсумку триста років тому з виходом у світ в 1686 році ньютонівих “Математичних початків натуральної філософії” були закладені основи нового світопредставлення – про нескінченну в просторі і в часі Всесвіту, заповненими системами небесних тіл, що рухаються по внутрішньо властивій природі і пізнаній людині законам. За богом залишалася, у крайньому випадку, лише формулювання початкових умов.

А ще через сторіччя И. Кант у своїй “Загальній природній історії і теорії неба”, багатой новими еволюційними ідеями, поставив задачу повного виключення бога з картини світобудови, а П. Лаплас зміг відповісти Наполеонові, що в гіпотезі про бога, як джерелі розвитку Всесвіт, немає потреби. Одночасно відбувалося наповнення нескінченного ньютонівського Всесвіту конкретним астрономічним змістом. В. Гершель заклав основи сучасних представлень про нашу зоряну систему Галактику і про існування інших подібних їй систем.

Але уже в XVIII-XIX століттях стали виявлятися і протиріччя в картині нескінченної в просторі і в часі зоряного Всесвіту – парадокси ньютонівської космології. **Фотометричний парадокс** полягає в тому, що в такому Всесвіті в будь-якому напрямку промінь зору чи рано пізно зустріне зірку, і тому яскравість неба повинна бути приблизно так же, як і яскравість диска Сонця. На це звернув увагу ще сучасник Ньютона Е. Галлей. Наприкінці XIX століття астроном Х. Зеелігер знайшов, що спроба обчислити силу тяжіння, створювану в якій-небудь точці всіма масами нескінченного Всесвіту, не приводить до визначеного результату. Нарешті, відкриття другого початку термодинамики порушило питання про те, чому Всесвіт, бесконечно довго існував у минулому, не прийшла до “теплової смерті”, тобто в термодинамічно - рівноважний безструктурний стан (термодинамічний парадокс). Узагальнюючи, можна сказати, що виявилось протиріччя між вихідними положеннями ньютонівської картини світу – **її нескінченністю в часі і просторі, і нинішньому стані світу – структурою цього світу у виді сукупності зоряних систем.**

Строго кажучи, існування цих **космологічних парадоксів** можливо й у ньютонівському світі, але ціною накладення досить твердих додаткових обмежень – Всесвіт повинний складатися з нескінченної ієрархічної сукупності систем з досить швидким убуванням середньої щільності в міру зростання рангу системи. Значення цих парадоксів у розвитку науки полягає в тому, що значно полегшило сприйняття людською свідомістю нової незвичайної і грандіозної ідеї – **ідеї нестационарного Всесвіту.**

1.3 Релятивістський Всесвіт.

Цей новий Всесвіт, картина якого була створена наукою XX століття, можна назвати Всесвітом Фридмана-Гамова на відміну від Всесвіту Ньютона-Гершеля. Теоретичною основою цих нових представлень стала теорія відносності. Нагадаємо, що в основі **спеціальної теорії відносності** (СТВ) лежить принцип відносності руху і принцип кінцевої швидкості поширення будь-якої фізичної

взаємодії. У *загальній теорії відносності* ці принципи доповнюються принципом еквівалентності процесів у поле тяжіння й у неінерційній (прискорено рухається) системі відліку. З'являється представлення про тяжіння, як про загальну властивість матеріальних об'єктів впливати на метричні властивості простору і часу – змінювати ступінь їх викривленості і тим самим визначати поведження тіл, що рухаються в цьому просторі-часі. Мова йде про метричні властивості простору і часу тому, що математична суть *теорії відносності* полягає в тому, що розподіл і рух матерії визначає вираження для інтервалу – «відстані» між двома елементарними подіями в просторі і часі. Величина інтервалу не залежить від вибору системи відліку (як це впливає вже зі СТВ), у той час як у фізиці Ньютона не залежними від вибору системи відліку є відстань у просторі і проміжок часу по окремоті.

Ідея нестационарного, що еволюціонує Всесвіту, стала найбільш значним по своїх масштабах і світоглядних наслідках проявом еволюційного характеру астрономії ХХ століття. У своєму сучасному виді ця ідея є результатом застосування до однорідного й ізотропного Всесвіту основних рівнянь *теорії відносності*, що вперше було зроблено в 1922 році А. А. Фридманом. Рішення рівнянь *загальній теорії відносності*, знайдене Фридманом, виявилось математично -подібним до рішення класичної задачі двох тіл у випадку прямолінійного руху. Це породжувало ілюзії, що парадокси ньютонівської космології можуть бути переборені в рамках класичної фізики. Але це не так, у виді зовсім різної фізичної інтерпретації цих двох математично подібних рішень. У класичному випадку мова йде про рух матеріальної точки (чи сферично симетричної сукупності таких точок) у просторі і часі, а в релятивістському – про зміну метричних властивостей самого простору-часу.

Утвердження ідеї нестационарного Всесвіту, що розширюється, стало одним з найглибших переворотів у представленнях людства про навколишній його світі і було зв'язано з подоланням значних гносеологічних і психологічних труднощів. Але порівняно швидкому подоланню цих труднощів сприяло те, що поява перших нестационарних космологічних моделей збіглася за часом з виникненням і розвитком у першій чверті ХХ століття позагалактичної астрономії. Була доведена позагалактична зоряна природа ряду туманностей, отримані більш-менш достовірні оцінки відстаней до них, визначені їхні швидкості відносно нашої Галактики. Це дозволило Е. Хаббл у 1929 році зробити одне із самих значних відкриттів в історії астрономії – **установити пропорційність між швидкостями віддалення галактик і відстанями до них (закон Хаббла)**. Коефіцієнт пропорційності – постійна Хаббла (постійна в просторі, але не в часі), стала ще однією фундаментальною величиною, що описує наш світ. Значення постійної Хаббла **H** важливе тому, що зворотна до неї величина визначає вік Всесвіту, точніше кажучи, час, що пройшов від початку її розширення. Сам Хаббл оцінив постійну H в **500 км/с • Мпк**, де Мпк (мегапарсек) Після ряду уточнень у багатоступінчастій процедурі визначення межгалактичних відстаней з'ясувалося, її сучасне значення – **50 < H < 100 км/с • Мпк**, що дає для віку нашої Всесвіту **6-12 млрд. років**. Темп зміни в часі постійної Хаббла, а також радіуса кривизни простору-часу і середньої щільності матерії і є

основними кількісними характеристиками метричної еволюції Всесвіту у різних космологічних моделях.

Про різні космологічні моделі приходиться говорити в силу двох обставин. Для одержання однозначного рішення рівнянь Ейнштейна їх потрібно доповнити рівнянням стану матерії, що задається звичайно у виді зв'язку між тиском p і щільністю енергії ϵ . Найпростіше і добре відоме рівняння стану – це рівняння стану ідеального газу, у якому тиск p є результат зіткнення молекул і пропорціонально щільності і температурі газу. Після переходу до середньої енергії газу в одиниця об'єму воно здобуває вид $P = (2/3)\epsilon$. Фридман одержав свою першу в історії нестационарну космологічну модель, використовувачи рівняння стану пилоподібної матерії. Пил, на відміну від молекул, рухаються повільно і практично не зіштовхуються, тому в такому середовищі $P=0$. В Всесвіті роль “пилу” грають зірки, у яких зосереджена основна частина речовини і які також практично не зіштовхуються між собою. Однак у минулому так було не завжди. В міру розширення Всесвіту густина речовини зменшується назад пропорційно збільшенню її обсягу, тобто кубу її розміру. Також пропорційно кубу розміру змінюється в одиниці об'єму і число квантів електромагнітного поля – фотонів. Але одночасно збільшується і відповідна довжина хвилі λ , а виходить, і енергія кожного фотона зменшується відповідно до відомого співвідношення, що визначає енергію фотона, $E=hc/\lambda$, де h – постійна Планка, а c – швидкість світла. У підсумку щільність енергії електромагнітного випромінювання змінюється назад пропорційно четвертого ступеня розміру, тобто швидше, ніж щільність енергії речовини. Тому, якщо йти в минуле, повинний наступити час, коли основна частка енергії буде зосереджена не в речовині, а у випромінюванні. Нинішньому періоду еволюції Всесвіту, коли ця еволюція визначається рівнянням стану пилоподібної речовини - (стадія речовини), повинна була передувати стадія випромінювання, коли характер еволюції визначався рівнянням стану випромінювання. Однак у стадії випромінювання характер еволюції Всесвіту міняється лише кількісно, тому обидві ці стадії її еволюції одержали назву фридмановських.

Друга обставина зв'язана з тим, що аналогічно трьом можливим типам руху в полі тяжіння в ньютонівському випадку – еліптичне, параболічне і гіперболічний, розширення Всесвіту на стадії речовини також може відбуватися, хоча і з уповільненням, але по-різному. В одному випадку швидкість розширення звернеться в нуль через кінцевий час після початку розширення, потім розширення переміниться стиском. Це **замкнута модель Всесвіту** з позитивною кривизною (двовимірний аналог – сфера). В другому випадку кривизна дорівнює нулю (простір плоский), але розширення буде продовжуватися необмежено довго з прагнучою до нуля швидкістю. І, нарешті, у третьому випадку кривизна простору негативна (двовимірний аналог – поверхня, називаний псевдосферою, на ній виконується геометрія Лобачевського). Розширення Всесвіту також буде продовжуватися необмежено довго. Те, який з цих випадків реалізується, визначається порівнянням фактичної щільності матерії у Всесвіті ρ з її деяким

критичним значенням ρ_s . Якщо $\rho > \rho_s$, то Всесвіт замкнутий, якщо ж $\rho \leq \rho_s$, то має місце одна з відкритих моделей. На жаль, ми дотепер не можемо сказати з упевненістю, яка ж з моделей відповідає нашому реальному Всесвіту. Цьому заважають дві обставини – наявність “темної речовини”, тобто об'єктів, що випромінюють так мало, що ми не можемо їх спостерігати, і можливість існування матерії в якихось екзотичних формах, наприклад, у виді нейтрино, якщо їх маса спокою усе-таки відмінна від нуля.

З утвердженням у 30–40 роках основних представлень релятивістської космології, з одного боку, і представлень квантової фізики, з іншої, астрономічна і фізична картина світу виявилася розділеною на “сфери впливу” між основними фізичними теоріями. У мегасвіті (Всесвіт у цілому і, як з'ясувалося пізніше, у компактних і сверхмасивних об'єктах) панує гравітаційна взаємодія. У мікросвіті потрібна квантова теорія, тут виявляють себе електромагнітна, слабка і сильна взаємодії. При цьому у світі атомів і молекул (при відносно невеликих енергіях) діють закони нерелятивістської квантової механіки. У ще менших масштабах атомних ядер і елементарних часток (при енергіях порядку і більше енергій спокою цих часток) потрібна релятивістська квантова теорія поля. У проміжних масштабах макросвіту (від порошин до зоряних систем) достатні закони ньютонівської механіки і класичної електродинаміки. Цей “розділ світу” став тією ціною, що науці довелося заплатити за вихід із кризи, зв'язаної з нездатністю класичної фізики описувати весь Всесвіт у її проявах різних масштабів. ***Створилася ситуація, що суперечить незмінному прагненню наукової і філософської думки до виявлення найбільш загальних рис і властивостей навколишнього нас світу.*** Ця ситуація відносилася лише до фізичних форм руху матерії і зрештою не суперечила таким аспектам єдності світу, як його матеріальність і об'єктивне існування, але цим істотно утрудняла розуміння цієї єдності. Найбільше чітко виразив незадоволеність таким розвитком подій А. Ейнштейн, висунувши програму об'єднання усіх фундаментальних чи взаємодій, інакше кажучи, побудови єдиної ***теорії поля***.

1.4 Гарячий Всесвіт.

Першим кроком з боку астрономії до відновлення єдиної фізичної картини світу стала принципово нова ідея, висунута в 1946 році Г. А. Гамовим. Він доповнив зазначені вище метричні характеристики еволюції Всесвіту - енергетичної. При цьому Гамов перейшов від щільності енергії до середньої енергії однієї частки, тобто до середньої температури Всесвіту, що у ході розширення Всесвіту зменшується. Головна фізична суть ідеї Гамова складається в наступному. Деякий фізичний процес (наприклад, іонізація атомів) вимагає витрати визначеної енергії. Однак при температурі, значно більшій, ніж відповідна цієї енергії, цей процес і процес, йому зворотний, будуть протікати в середньому з однаковими швидкостями і, тим самим, не будуть змінювати стан Всесвіту. Але, як тільки температура в ході розширення Всесвіту стане менше енергії даного процесу, то з двох протилежних процесів буде йти тільки той, котрий веде до більш стійкого стану з меншою потенційною енергією. А це змінить фізичний стан Всесвіту, додаючи їй якісно нові

властивості. Таким чином, послідовність значень енергій таких процесів визначає етапи фізичної еволюції Всесвіту. Такі характерні енергії це, насамперед, енергії спокою нуклонів і електронів, енергія зв'язку часток в атомних ядрах, енергія іонізації і рекомбінації атомів. Ці розуміння означали наповнення фрідмановської космологічної моделі реальним фізичним змістом, означали поява моделі «гарячого» Всесвіту. Енергія спокою нуклона (протона , нейтрона) 1.3 ГэВ, енергія спокою електрона 0.5 МэВ, енергія зв'язку часток, названих векторними бозонами і здійснюючих слабку взаємодію, близько 100 ГэВ. Енергія електронів на зовнішніх орбітах в атомах близько 10 еВ. Тому такі ж енергія іонізації атомів, енергія хімічних процесів і енергія фотонів оптичного діапазону.

Пока середня температура у Всесвіті більше енергії спокою нуклонів, усі частки й античастинки знаходяться в стані термодинамічної рівноваги. При температурі, рівної ≈ 1 ГэВ, відбувається аннігіляція нуклонів і антинуклонів. Виникає питання, чому ж у нашому світі залишилася деяка кількість нуклонів, що утворили пізніше існуючу зараз речовину (так названа проблема баріонної асиметрії Всесвіту). Справа в трохи різній швидкості процесів аннігіляції й утворення нуклонів і антинуклонів. При температурах Всесвіту, менших 1 ГэВ, але більших 0.5 МэВ, у рівновазі з випромінюванням знаходяться електрони і позитрони (лептонна ера). Після аннігіляції електронів і позитронів (при енергії 0.5 МэВ), залишається рівноважна суміш нуклонів, електронів і фотонів (фотонна ера). Поки енергія часток більше енергії іонізації атомів, утворення нейтральних атомів ще неможливо.

Пізніше, коли температура стала менше енергії зв'язку часток в атомному ядрі, відбулася ще одна дуже важлива подія – утворення з приблизно третини протонів і нейтронів відповідного кількості ядер гелію (α -часток). Разом з розумінням того, що ядра більш важких елементів до урану включно, утворюються в ході термоядерного синтезу в надрах зірок і при вибухах сверхнових зірок, це дозволило пояснити хімічну сполуку речовини, що спостерігається, у Всесвіті. Це мало величезне загальнонаукове значення. Ще під один широкий і важливий клас явищ природи був підведений еволюційний фундамент, ще одна область природознавства – хімія стала наукою еволюційної у своїй основі. Були встановлені генетичні зв'язки між самою загальною формою руху фізичної і наступний за нею в еволюційній структурі Всесвіту, хімічною формою руху матерії. А можливість існування молекул тільки при температурі Всесвіту, меншої, ніж енергія їх дисоціації, остаточно закріплює еволюційний статус не тільки хімії, але і біології. Про ідеї віталізму, про вічне існування незалежних від фізико-хімічних процесів “життєвої сили”, і т.п. у границях наукового світогляду уже не може бути і мови. І тільки тоді, коли температура Всесвіту знизилася до середньої енергії однієї частки приблизно в 1 еВ, стала можливою рекомбінація протонів і α -часток з електронами й утворення атомів **водню і гелію**, відбувся відрив нейтральної речовини від випромінювання. Тільки після цього з'явилася можливість росту **флуктуацій густини** речовини – можливість утворення протогалактик і

протоскупчень галактик, можливість формування великомасштабної структури нашого Всесвіту. нинішньої

Розвиток і деталізація моделі “гарячого” Всесвіту продовжується і зараз. Найважливішим доказом її справедливості стало відкриття в 1965 році А. Пензиасом і Р. Уилсоном **реліктового радіовипромінювання** – первинних фотонів, що збереглися від попередніх етапів еволюції Всесвіту. Їхня енергія визначається середньою температурою Всесвіту, зараз це приблизно 2,7 К. Але виявилися і деякі протиріччя (парадокси) релятивістської космології в рамках її фридмановських моделей. Це насамперед парадокс **обрію**. Він полягає в тому, що між подіями в двох точках може існувати причинно-наслідковий зв'язок тільки в тому випадку, якщо відстань між цими точками менше, ніж та відстань, що може пройти світло за час розширення Всесвіту (останнє визначає відстань до обрію чи подій космологічного обрію). Очевидно, що у відкритих моделях є області, точки, яких не задовольняють цій умові. Можна довести, що така сама справа й у замкнутій моделі. Більш того, відстань до космологічного обрію зростає швидше, ніж відбувається розширення Всесвіту. А раз наш світ складається з окремих причинно незв'язаних областей, то стає незрозумілим, чому він є однорідним і ізотропним. Були спроби відмовитися від припущень про однорідність і ізотропності нашої Всесвіту (космологічного принципу), але вони утратили свій зміст після того, як у 70-80 роках позагалактична астрономія з'ясувала згадану вище **великомасштабну структуру Всесвіту**. Ця структура полягає в тому, що галактики і їхні скупчення утворюють тривимірну сітку з розмірами в кілька сотень мегапарсек. А у великих масштабах наш світ є однорідним і, відповідно, ізотропним.

1.5. Космологія раннього Всесвіту і створення єдиної теорії поля.

Перед тим як перейти до останніх подій у розвитку космології, варто зупинитися на структурі сучасного фізичного знання. Ми знаємо зараз три незалежних світових постійних – гравітаційну **постійну G** , швидкість світла у вакуумі **C** і постійну Планка **h** . Тому можливі вісім принципово різних фізичних теорій. Одна, не утримуюча ні однієї з цих постійних. Три теорії містять по однієї постійній. Три включають по двох постійних. І, нарешті, можлива одна теорія, що містить усі три фундаментальні постійні. Логічний зв'язок між цими теоріями показаний. Шість з цих теорій – **ньютонівська механіка, ньютонівська теорія тяжіння (G), спеціальна (c) і загальна (z, G) теорії відносності, квантова механіка (h) і релятивістська квантова теорія поля (z, h)** з тим чи іншим ступенем завершеності уже побудовані. Цікава доля теорії (G, h), що повинна бути квантовою нерелятивістською теорією гравітації. Для неї просто немає предметної області в нашому світі внаслідок малості постійної тяжіння (потрібні досить великі маси) і надзвичайної малості постійної Планка (необхідні дуже малі маси і відносно малі швидкості).

Остання теорія (G, z, h) повинна діяти при настільки великих енергіях елементарних часток, що поряд з електромагнітною, слабкою і сильною взаємодіями необхідно враховувати і гравітаційне. Іншими словами, це повинна

бути квантова релятивістська теорія гравітації. Вона повинна мати справу одночасна з усіма чотирма фундаментальними взаємодіями. Побудова такої теорії – це одна із самих “гарячих точок” у сучасному природознавстві. І знаходиться ця “гаряча точка” саме на стику фізики елементарних часток і космології раннього Всесвіту. Її побудова буде означати досягнення визначеної завершеності в розвитку фізики.

В основі побудови теорії (G, z, h) лежить ідея залежності безрозмірних констант фундаментальних взаємодій від енергії взаємодіючих часток (точніше кажучи, від переданого при взаємодії імпульсу). Зазначена залежність має такий характер, що з ростом енергій ці константи, двох взаємодій порівнюються і зникає розходження між цими взаємодіями – відбувається їхнє об'єднання. Перспективність цієї ідеї доведена створенням теорії електрослабого взаємодії. Але при цьому фізикам повезло в тім змісті, що енергія, при якій відбувається об'єднання електромагнітної і слабкої взаємодій, має значення близько 100 Гев. А така енергія досягається в сучасних прискорювачах на зустрічних пучках, і, тим самим, цю теорію вдалося перевірити експериментально. Однак самі попередні оцінки того, коли відбувається так назване велике об'єднання (електрослабого і сильного взаємодій – GU), дають величину приблизно в 10¹⁵ Гев. А супероб'єднання (об'єднання електрослабого+сильної взаємодії з гравітаційним SU) можна чекати при енергіях часток порядку планковської маси – 10¹⁹ Гев. Ці енергії лежать далеко за межами технічних можливостей людства не тільки сьогодні, але й у віддаленому майбутньому. Ця обставина і приводить до тісної єдності проблем фізики надвисоких енергій і космології раннього Всесвіту. У цій єдності є об'єктивний онтологічний аспект – те, що енергії, необхідні для великого і супероб'єднання, реалізуються тільки на початкових стадіях еволюції нашої Всесвіту – у відповідні моменти часу $t(GU)=10^{-35}$ с і $t(SU)=10^{-43}$ с. Суб'єктивний гносеологічний аспект полягає в тому, що єдиним, хоча і дуже опосередкованим, засобом перевірки теорій великого і супероб'єднань є аналіз процесів на цих ранніх етапах еволюції Всесвіту і спостереження їх наслідків у нинішньому Всесвіті. Як говорив академік Я. Б. Зельдович, **“ранній Всесвіт – це природний прискорювач для бідного людства”**.

З давніх часів важливою формою пошуку закономірностей і гармонії в навколишньому нас світі було виявлення в ньому тих чи інших симетрій. Найбільш відомі геометричні симетрії (наприклад, між правим і лівою, верхи і низом). На цьому шляху пошуку симетрій вдалося підійти до розуміння істотних властивостей фізичних явищ у світі елементарних часток. Якщо йти від найбільших значень енергії до менших, тобто саме в напрямку, у якому еволюціонує наш Всесвіт, то вимальовується наступна картина. При енергіях, не менших енергії супероб'єднання, реалізується найвищий ступінь симетрії. Вона виявляється в тім, що всі частки підкоряються одній універсальній взаємодії і знаходяться в стані безупинного перетворення одна в одну. Вони існують тільки віртуально, тобто тільки той час, що визначається співвідношенням невизначеностей Гейзенберга. А тому, що енергії часток дуже великі, той цей час надзвичайно малий. Суміш таких віртуальних часток утворить середовище, що одержало назву **фізичного вакууму**. При зменшенні середньої енергії часток цей високий ступінь симетрії порушується

– єдине до цього взаємодія розщеплюється на два різних. А елементарні частки підрозділяються на класи по їхньому відношенню до цих взаємодій. Відбувається поділ на частки, що приймають чи не приймають участь у даній взаємодії (ферміони), чи являються його носіями (тобто квантами відповідного фізичного поля – бозонами). Так у ході послідовних порушень симетрії виникли кварки і глюони, адрони і лептони, електрзаряджені і електронейтральні частки, фотони. Таким чином вдалося наблизитися до відновлення єдиної фізичної картини світу.

Виявилось, що фізичний вакуум описується дуже дивним на перший погляд рівнянням стану $-p = -\epsilon$. Негативний тиск у ньому і стало тією причиною, що викликала розширення Всесвіту, причому по експонентному законі. Ця *інфляційна стадія розвитку Всесвіту* закінчилася тоді, коли фазовий перехід у фізичному вакуумі привів до порушення симетрії великого об'єднання й утворенню адронів із кварків. Останнім часом вдалося підійти до рішення і такого складного питання, як поведіння Всесвіту при планковських масштабах) її віку і розмірів, коли Всесвіт у цілому був об'єктом гравітуючим і одночасно квантовим. Тут саме і потрібна квантова теорія гравітації (**G, c, h**). Вдалося підійти до подолання основних труднощів у створенні такої теорії, зв'язаних з різними підставами квантової фізики. Ці підходи вдається об'єднати в рамках наступної схеми. Розглядається багатомірний планковський Всесвіт, у якій відбуваються квантові флуктуації її не тільки метричних, але і топологічних властивостей, зокрема, числа розмірностей простору. У ході еволюції Всесвіту ці флуктуації відокремлюються і починають розширюватися, і той стан, у якому вони перебували в цей час, фіксується. При цьому частина розмірностей виявляє себе як розмірності простору-часу, розширення якого і складає метричну еволюцію міні-всесвіту, у яку перетворюється дана флуктуація. А інша частина розмірностей простору залишається в згорнутому стані і виявляє себе як фізичні взаємодії, породжуючи відповідні фізичні поля.

1.6 Антропний принцип.

Усі вище розглянуті ідеї ще розвиваються. Є різні сценарії еволюції квантового Всесвіту. Але з того, що вже досягнуте, і з тих перспектив, що проглядаються, можна зробити, принаймні, два висновки величезного світоглядного значення. Перший з них полягає в тому, що найбільш загальні і глибинні властивості нашого світу – його фундаментальні фізичні властивості перестають бути просто сукупністю емпіричних фактів. Ми можемо ставити питання, а головне, шукати на них відповіді, чому ці властивості саме такі, якими вони є, і як вони виникли. Це відноситься до таких основ буття нашого світу, як розмірність простору, кількість фундаментальних впливів і значення констант, як спектр мас елементарних часток, що у свою чергу визначає то, які більш складні структури ці частки можуть утворювати. *А саме відповіді на питання “чому” (після того, як більш-менш з'ясовано “що” і “як”) і відрізняє наукове пізнання світу. У цьому основну відмінність науки від релігії, яка висуває питання “навіщо, з якою метою”.*

Другий висновок зв'язаний із твердженням, що одержало назву антропного принципу. Зараз можна привести цілий ряд фактів, що свідчать про те, що перераховані вище фундаментальні фізичні характеристики визначають не тільки все різноманіття фізичної й астрономічної картини світу, але і его властивості в інших аспектах, на всіх інших, більш високих ступінях буття. Так, наприклад, якби маса електрона була лише в три рази більше фактичної, то неможливо було би існування атомів і молекул. Тому що тоді розходження в масах нейтрона і протона було б менше маси електрона, і енергетично було вигідніше перетворення всіх протонно-електронних пар у нейтрони, а не розпад вільного нейтрона. Існування атомів і молекул, отже, і розвиток хімічної, а виходить, біологічної і соціальної форм руху матерії, неможливі й у світі з іншим, ніж три, розмірністю простору. Тому що тільки в тривимірному світі рішення задачі двох тіл (і класичної, і квантової) допускає як періодичний рух у поле центра, що притягає, и і відхід на нескінченність при кінцевому збільшенні енергії. У двомірному світі таке збільшення повинне бути нескінченно великим (друга космічна швидкість нескінченно велика), а в багатомірних світах - стійкий періодичний рух неможливий. Це означає, що тільки в тривимірному світі можливий рух по супутникових орбітах (електрона в атомі, планети навколо зірки) і одночасно іонізація атомів і подолання сили притягання якого-небудь небесного тіла. У світах з іншою, ніж *три*, розмірністю простору неможливі гравітаційно – зв'язані системи. Саме такими системами є зірки, а їх розпад (вибухи сверхнові) – це єдино вірний спосіб збагачення Всесвіту елементами важчими за гелій.

Хоча ми ще не можемо виразно сказати, чи більше менше фактична середня густина речовини в нашому Всесвіті у порівнянні з критичної, але з більшим ступенем упевненості можна затверджувати, що $0,1\rho_c < \rho < 10\rho_c$, хоча априорі вона могла б бути і набагато менше і набагато більш критичної. У першому випадку ($\rho \ll \rho_c$) утворення зоряних систем – галактик з первинних флуктуацій було б неможливо, а в іншому ($\rho \gg \rho_c$) тривалість повного циклу еволюції Всесвіту (розширення і наступний стиск) була б занадто мала, щоб устигли виникнути і розвинути складні структури типу біологічних і соціальних.

Відомо також, що гравітаційна взаємодія хоча і дальнодійна, але дуже слабка. Гравітаційне притягання електрона і протона приблизно в 1039 разів слабкіше, ніж їхня електромагнітна взаємодія. Однак саме гравітація визначає умови в надрах землі і, тим самим, темп реакцій термоядерного синтезу в них. Тому час життя зірок тим менше, чим більше відношення гравітаційної взаємодії до електромагнітного. Якщо це відношення було б усього на декілька порядків більше, то за час життя зірок і планет біля них таки не встигали б виникнути високоорганізовані форми буття. А якби це відношення було, навпаки, на декілька порядків менше, то зірок просто не було – сила тяжіння була б недостатньою для того, щоб відбувався гравітаційний стиск газопопилових комплексів, у результаті якого утворюються зірки.

Узагальнюючи все сказане (а список таких фактів можна було б продовжити), приходиться прийти до висновку, що для якісної еволюції світу, для виникнення в ньому складних форм руху матерії необхідно, щоб фундаментальні характеристики

цього світу були не будь якими і навіть не просто лежали у визначених межах, *а були необхідним чином збалансовані між собою.*

Цей висновок величезного загальнонаукового і філософського значення й одержав назву антропного принципу. Він означає, що сам факт появи й існування людини визначений сукупністю основних фізичних властивостей нашого світу, включаючи і таку глибинну його властивість, як розмірність простору в ньому. Відомий космолог Л. А. Зельманов виразився в зв'язку з цим у такий спосіб: “Ми є свідками саме такого світу і таких процесів у ньому, що ми спостерігаємо, тому що в інших мирах усі процеси відбуваються без свідків”.

Твердження, що складає зміст антропного принципу, дуже, якщо так можна виразитися, відповідальне. Тому що неминуче виникає питання: а чому наш світ саме такий – з дуже малоюмовірним сполученням його властивостей, що дозволяло, принаймні, на одній планеті в однієї з зірок виникнути розумне життя? І важко заперечувати проти того, що цілком природним буде така відповідь: наш світ створений саме з цією спеціальною метою – появи в ньому людини. Тобто антропний принцип як би підштовхує нас до **теологічного погляду на світ**. Але тоді відразу ж виникає питання: **ким створений?** І в такий спосіб ця теологічна точка зору на світ приводить до ідеї творця, деміурга цього світу, тобто ідеї бога. Чи можна в цих умовах зберегти і розвинути матеріалістичний погляд на світ, як на такий (знову згадаємо слова Геракліта), що “його не створив ніхто ні з богів, ні з людей”? Позитивна відповідь на це питання зв'язана із ще одним висновком, що впливає з розгляду процесів на планковской стадії історії світу.

Це висновок про можливу множинність всесвітів з різними фундаментальними властивостями – із просторами різної розмірності, з різними наборами елементарних часток і взаємодій між ними. Ці всесвіти виникають з одного всеохоплюючого квантового Всесвіту. Цей висновок і сам по собі після його достатнього обґрунтування й уточнення буде означати чергова корінна зміна в людських представленнях про світ. Зміна, подібне до переходу від представлень про плоску Землю до кулястого, від обмеженого Всесвіту античності до нескінченного зоряного Всесвіту нового часу, від стаціонарного Всесвіту до що еволюціонує. І хоча поява Всесвіту з всіма умовами, необхідними для розвитку більш високих, ніж фізична, форм руху матерії, виявляється подією випадковою, але при великому числі різних Всесвітів імовірність такої події теж буде досить великою. Таким чином, існування світу, у якому виникло розумне життя, – явище цілком природне і закономірне, але закономірність ця має стохастичну природу.

Думка про те, що людина і його життя тісно зв'язані з природою, причому не тільки з тією, котра безпосередньо його оточує, а і з усією природою, з космосом, із усього Всесвіт, без перебільшення стара так само, як і саме людське мислення. Вона пронизує давньоіндійську філософію. Вона ж, нехай у перекрученому, ілюзорному виді лежить в основі будь-якої релігії, в основі астрологічних вірувань. І от вперше в історії ця ідея виступає в науково обґрунтованому виді. У цьому фундаментальне філософське значення антропного принципу. Цей принцип означає новий, більш глибокий рівень пізнання

еволюційних зв'язків між різними ступіннями організації і руху матерії. У цьому складається його інтегруюче загальнонаукове значення. Зараз гостро встає питання про відповідальність людства і кожної окремої людини за долю навколишньої природного середовища, за долю планети Земля. Згодом ареал буття і перетворюючої діяльності людини буде усе більше розширюватися в космос. Разом з цим повинне зростати і почуття відповідальності людини за світ, у якому він живе і діє. Антропний принцип піднімає рівень цієї відповідальності до космічних, воістину всесвітніх масштабів. У цьому його важливе соціальне і моральне значення.

Можна, нарешті, висловити і таку думку. Коли цікаві і важливі пізнавальні процеси на стику космології раннього Всесвіту і фізики надвисоких енергій дійдуть до свого визначеного завершення, те разом з рухами біології в розумінні законів життя й узагальненням гуманітарними науками соціально-економічного досвіду ХХ століття вони стануть базою для нового якісного стрибка в духовному розвитку людства, у його безустанних пошуках свого місця у світі і своєму призначенні в ньому.

Відкидаючи чорно-біле протиставлення матеріалістичної й ідеалістичної ліній у розвитку світової філософії, потрібно констатувати, що формування чергової загальнонаукової картини світу приводить до появи її філософського узагальнення в новій формі саме матеріалізму. Але в чомусь істотному обмеженої, тому що обмеженої, неповний є і відповідна картина світу. Критикуючи ці обмеженості, ідеалістичні філософські течії вносять свій позитивний внесок у рішення корінної філософської проблеми – “людина і світ”. але проходить час, наука створює нову, більш широку і глибоку, більш адекватну дійсності картину світу – виникає нове, більш зроблене її філософське узагальнення, що стає методологічною основою подальшого пізнавального процесу. Матеріалізм перших натурфілософів – ідеалізм Піфагора і Платона – матеріалістичне у своїй основі навчання Аристотеля – ідеалістична схоластика середньовіччя – метафізичний матеріалізм XVII-XVIII століть – ідеалістична філософія Гегеля – діалектичний матеріалізм – його сучасна критика. Ця схема при всій її спрощеності, не відбиваючи всіх деталей і складностей розвитку світової філософської думки, проте визначає діалектику і головний напрямок цього розвитку. І еволюція космологічних представлень людства завжди була необхідною і важливою ланкою цього процесу пізнання людиною світу і самого себе.

1.7 Світ галактик: Сверхскупчення і порожнечі у великомасштабній структурі Всесвіту.

Однієї із самих загадкових на сьогоднішній день наук є астрономія. У ній, як ні в якій іншій стільки питань, на які ми не можемо, але намагаємося знайти відповіді. Одним з таких глобальних питань є питання про виникнення і розподіл різних форм матерії у Всесвіті. Коли з моменту Великого Вибуху праматерія почала формуватись в зірки і галактики, що ми можемо спостерігати сьогодні? Якщо припустити, що перед стиском матерії, що почався, вона була в більшому чи

меншому ступені розсіяний, чи міг тоді Всесвіт на початковій стадії своєї еволюції заповнитися різними типами речовини? Останні дослідження в цій області допомагають відповісти на ці й інші питання, зв'язані з еволюцією речовини нашої Метагалактики. Недавні спостереження підтверджують наявність сверхскупчень галактик-організованих структур, що складаються з безлічі скупчень галактик. Кожне таке скупчення, у свою чергу, може складатися з чи сотень навіть тисяч індивідуальних галактик. Наявність таких сверхскупчень довгий час було лише припущенням, через те, що з їхнім підтвердженням був зв'язаний один великий парадокс, що ставили вчених у тупик: у деяких, настільки ж великих ділянках космічного простору галактик не було зовсім.

Такі сверхскупчення галактик настільки великі, що окремі їхні члени рухаючи з довільними швидкостями, не можуть подолати більше половини діаметра усього сверхскупчення протягом мільярдів років з моменту їхнього виникнення. Очевидно, що історично сформовані сверхскупчення по своєму не мають аналогів з подібними їм меншими системами. У масштабах менших, чим такі сверхскупчення, первісні розподіл матерії, було, скажемо так, змінено еволюційним «миксингом». Астрономи сподіваються, що розуміння і пояснення таких величезних конструкцій у нашому Всесвіті прояснить процеси, що дали поштовх до розвитку структури усіх вимірів: від галактик до зірок і планет.

На сьогоднішній день неможливо визначити, хто першим висунув ідею про те, що *скупчення галактик* можуть бути членами багато великих структур, названих *сверхскупченнями галактик*. Позагалактична астрономія, спостереження в рентгенівських, ультрафіолетових і інфрачервоних ділянках спектра відкрили, та продовжують відкривати все нові і нові таємниці нашого Всесвіту і справедливо буде сказати, що найбільш важлива космологічна інформація була зібрана наземними телескопами у видимих і невидимих променях.

Навіть за довго до винаходу телескопа, спостерігачі могли споглядати в нічному небі не тільки зірки і планети, але також і маленькі мрячні хмарини світла. Після створення великих телескопів у 19 столітті, деякі з таких туманностей були розділені на окремі зірки. Спочатку їх вважали самотійними зоряними системами, що знаходяться удалечині від нашої власної галактики. Уперше, такі туманності були описані в каталозі Джона Гершеля в 1864 році. Називався він **GC (General Catalogue)**, а пізніше в 1888 році в каталозі Дрейера (**New General Catalogue**.)

Як наслідок, астрономи, які вірили, що деякі туманності склали самотні системи, почали говорити про те, що такі об'єкти мають тенденцію формуватися в скупчення. У 1908 році шведський астроном С.Чарлиер висунув ідею про «ієрархічну» структуру скупчень. Він виділив декілька таких скупчень, з яких найбільшими були скупчення в сузір'ях *Діви і Волосс Вероніки*. У 1922 році англійський учений Дж. Рейнольдс з'ясував, що група «туманностей» простиралася від *Великої Ведмедиці* через *Волосс Вероніки в Діву*, покриваючи відстань близько 40 процентів північного неба. Рейнольдс думав також, що ці «туманності» були частиною нашої власної зоряної системи. Може бути, він був першим, хто взагалі ототожнив ці об'єкти, зараз називані Місцевою групою галактик, частиною якої є і наша галактика.

До середини 1920-х років Едвін Пауел Хаббл з обсерваторії Маунт Вілсон довів, що багато хто з цих «туманностей» складала одиночні системи. До 1929 року він опублікував разом з М.Хьюмансоном своє дослідження, присвячене тому, що «чим далі галактика, тим більше її світло зміщується в червону сторону спектра». Такий червоний зсув, як відомо, є своєрідним показником того, наскільки швидко галактика віддаляється від нас у рамках загального розширення космічного простору. Сьогодні, червоний зсув названий законом Хаббла, що, крім усього іншого, є основою сучасної спостережливої космології.

Найбільше значення червоного зсуву знайденої Хьюмансоном (наприкінці 40-х) склало 2, і було дорівнює 60000 км/с. чи 20% швидкості світла. Така галактика знаходилася від нас на відстані близько 2,6 млрд. світлового років. Але самими віддаленим від нас об'єктами є, звичайно ж, квазари, чий червоний зсув $>3,5$. Вони віддаляються від нас зі швидкістю близько 90% швидкості світла і знаходяться в 15 млрд. св. років.

У 1930-х Хаббл і Харлоу Шеплі (Гарвардська обсерваторія) звернули увагу на те, що на північному небі число яскравих галактик більше, ніж на південному. Хаббл, також, сфотографував величезну кількість слабких галактик і був упевнений, що знайшов можливий кінець феномену скупчень, хоча це був тільки початок великих відкриттів, що чекали нас.

Ще один, дуже важливий і значний внесок у науку Хаббл зробив, коли класифікував різні форми галактик, відомих у той час. Коротенько, про цю класифікацію можна сказати, що всі галактики Хаббл розділив на два головних класи: еліптичні і спіральні, що поділяються, у свою чергу, ще на декілька класів...

До 1950 року, вчені могли погодитися з загальною характеристикою скупчень галактик. З відомих тоді декількох таких скупчень, найбільш великим було скупчення у **Волос Вероніки**, що нараховувало більш 1000 індивідуальних галактик. Такі скупчення здебільшого склалися з еліптичних і SO галактик. Не більш половини всіх галактик розташовувалися усередині таких скупчень; інші, що називалися, «польовими» об'єктами, вважалися ізольованими зоряними системами (здебільшого спіральними), що лежать поза скупченнями.

Друге велике відкриття 50-80-х рр. - це зростаюча впевненість у тім, що Місцеве свержскупчення не унікальне явище у Всесвіті. Між 1950 і 1954 р. усе північне небо було оглянуто із ширококутним - 1,2м. телескопом ім. Шмідта на горі Паломар (широко відомий Паломарський огляд неба.) Незабаром після цього, Дж. Абелл із Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі склав каталог 2712 великих скупчень галактик. Абелл помітив, що багато хто з таких скупчень, здавалося, були членами свержскупчень, що складаються, у середньому, з 5-6 скупчень кожне. Його пропозиція, однак, ґрунтувалося на даних іншого каталогу скупчень, складеного на базі схожого дослідження, проведеного Ф.Цвіккі і його колегами з Каліфорнійського університету. Каталог Цвіккі говорив про те, що скупчення не можуть складатися зі структур вищого порядку. Розбіжність може бути пояснена з врахуванням того, що скупчення, описані Цвіккі небагато більші ніж аналогічні об'єкти з каталогу Абелл і містять у собі кілька центрів концентрації галактик.

Приблизно в той же час, але уже на основі іншого огляду неба (доповненого Лікською обсерваторією), Дж. Нейман, Е.Скотт і С.Шейн із Каліфорнійського

університету в Берклі повідомили про відкриття величезних “**хмар галактик**”, також припустили, що кожна галактика у Всесвіті належить скупченню, у ній не може бути ізольованих зоряних систем. У 70-х найбільш повний із усіх каталогів, складений П.Піблсом і його колегами з університету в Принстоні, що враховує ще і спектри галактичних скупчень говорить нам, те, що скупчення мають тенденцію розташовуватися близько одне від одного.

Третє велике відкриття у вивченні феномена скупчень з початку 50-х, було у використанні червоного зсуву. Першим кроком у дослідженнях такого роду, став вимір червоних зсувів усіх галактик, яскравіше визначеної зоряної величини. Застосовуючи закон Хаббла до значень червоних зсувів, відстань кожної галактики може бути обчислене з достатньою точністю. Такий підхід має набагато більше переваг у порівнянні з аналізом даних з каталогів, що дають тільки дві координати галактики в просторі (пряме сходження і відмінювання.) За даними таких каталогів третя величина-відстань, може бути приблизно визначено тільки по блиску галактик. На основі ж червоного зсуву, відстань визначається досить точно за законом Хаббла. Недолік цього методу в тім, що тоді як, положення тисяч галактик може бути отримане з однієї фотографії, спектральні червоні зсуви визначаються тільки один раз. Іншими словами вимір червоних зсувів набагато більш тривалий і трудомісткий процес. Ці два методи несумісні. Каталоги дають аналіз великого числа галактик у значних областях Всесвіту; червоного ж зсуву забезпечують три просторових виміри, але в багато менших областях.

Треба сказати, що взагалі, дослідження червоних зсувів стали можливі тільки завдяки прогресу телескопобудування. Зокрема, Хаббл і Хьюмансон мали доступ до найбільшим інструментом своєї епохи (100 футовий рефлексор у Маунт Вілсон, а пізніше і 200 футовий на Паломарі), але тодішні фотоемульсії мало порівнянні із сьогоденними. Сучасні спектрографи звичайно включають електронні пристрої, що підсилюють зображення, щонайменше, у 20 разів, перш ніж воно з'явиться на детекторі. Активно використовуються і цифрові приймачі, тому що вони здатні уловлювати навіть окремі фотони. Як результат, нинішні астрономи можуть приймати за півгодини стільки інформації, скільки Хаббл і його сучасники приймали цілу ніч.

Якщо заглянути в минуле, то перше дослідження червоних зсувів було представлено на конференції 1960 року по застосуванню оптичних систем в астрономії. Працюючи з таким з таких нових пристроїв (з 120 футовим рефлексором Лікської обсерваторії) Н.Майял одержав спектри 40 з 82 яскравих галактик. У 1972 Р.Руд і Т.Падж із Весленського університету доповнили і розширили первісне дослідження Н.Майла. Доповнені червоні зсуви були зареєстровані Е.Кинтнером з того ж університету, що потім проаналізував наявні зразки в співробітництві з Руд, Падж і І.Кингом з університету в Берклі. Їхній результати представляють перше сучасне, детальне вивчення червоних зсувів, виконане для одиночного скупчення галактик. Вони повідомляли, що скупчення складається, здебільшого, з еліптичних систем і галактик типу SO, що рухаються зі швидкостями, більш ніж 1000 км.на секунду.

Третім за часом вивчення свержскупчень була ділянка зоряного неба із сузір'ями **Персея і Риб**. Сильно витягнутий у довжину, він займає більш 40прс, від добре

відомого скупчення в *Персеї* до маленької групи галактик біля еліптичної системи **NGC 383**. Нові спостереження авторів показують, що глибина видимого скупчення не більше ніж його ширина. Зокрема, ми можемо думати не тільки те, що

скупчення за формою нагадує нитку, нитковидне волокно, але і також те, що окремі галактики-члени скупчення мають досить низькі швидкості власних рухів. Є припущення, що багато галактик у скупченні Персе-Риби мають у своєму розпорядженні площини чи обертання рівнобіжними до осі чи скупчення ж перпендикулярними їй. Дані спостереження можуть багато чого розповісти нам про те, як формуються галактики і сверхскупчення.

Третій огляд червоних зсувів покриває тільки 2% видимого неба. Відразу кілька обсерваторій намагаються одержати більше зведень про феномен сверхскупчень. Наприклад, Д.Эйнасто, М. Йовир, Э.Саар і С.Таго з Естонії, що незалежно відкрив скупчення в Персеї, а також порожнечі в ньому і проаналізував самий повний каталог галактичних червоних скупчень. Однак, каталог цей не досить докладний і має потребу в доповненні новими результатами досліджень.

Подібним чином, Чинкарини і Руд проаналізували розподілі вилучених галактик, що першими зробили С.Рубін, В.Форд і їхні колеги з відділу земного магнетизму Інституту Карнегі у Вашингтоні. Дослідження Рубін-Форда покриває все небо, але має невеликі подробиці в кожній його області. Це, у свою чергу, дає можливість Чинкарини і Руд підтвердити наявність трьох сверхскупчень, що ми описав вище і додасть ще одну, раніше не ототожену структуру в південній півкулі: скупчення в Гідрі-Центаврї. Праці Чинкарини, Руд, Эйнасто, Йовир, Саар і Таго дають підставу думати, що сверхскупчення розташовані далеко за межами тих областей, що ми згадували в нашому дослідженні червоних зсувів. Відповідно до їхніх розрахунків, скупчення у *Вероніка-А1367 і Персеї* можуть займати площу в 10 разів більшу, ніж ту, котру припускали.

Ці гіпотези одержали додаткову підтримку з боку дослідження, проведеного Р.Киршнер з університету в Мічигану, А.Омлер, П.Шечтер з Китт-Пик і С.Шетчман з обсерваторій Маунт-Вилсон і Лас Кампанас. Їхнє дослідження покриває три маленьких ділянки північної галактичної півкулі. У кожній такій області вони знайшли галактики з червоними зсувами, близькими до тих, що були в галактик скупчення *Вероніка-А1367*. Вони також були впевнені, що знайшли величезну порожнечу, чії розміри могли складати 30 на 1024 кубічних св. років. З декількох невеликих областей на небі, сконцентрованих біля північного галактичного полюса, три здавалося, були абсолютно вільними від галактик з червоними зсувами близько 12000-18000 км/с. чотирьох інших областях, де вони очікували знайти близько 25 галактик з червоними зсувами в тім же діапазоні, вони, усупереч чеканнями, знайшли тільки одну таку галактику. Таким чином, обчислена на основі всього дослідження порожнеча розташована на відстані 570-780 млн. св. років.

Розглянули три найбільше добре визначених сверхскупчень: *Вероніка-А1367*, скупчення в *Геркулесі і Персеї*. У такім представленні, наша галактика знаходиться в центрі. Тенденція галактик групуватися в скупчення виглядає досить своєрідно. Розподіл порожнеч тепер не викликає ніяких сумнівів. Всесвіт міг так самоорганізуватися, що простір між скупченнями міг бути заповнене більш

дрібними групами галактик, крім того, що порожнечі є частиною процесу формування скупчень.

Вивчення свержскупчень відноситься не тільки до оптичної астрономії; радіо і рентгенівська астрономія також вносять істотний вклад. Радіоастрономи в стані зафіксувати наявність міжгалактичного газу, насамперед тим, що деякі радіоджерела в скупченнях видали себе імовірністю того, що газ був з низькою щільністю, а не високої температури. Якби цей газ наповняв усі свержскупчення в такий же спосіб, яким вони наповняють тільки деякі з них, його внесок у загальну масу був би величезний. Рентгенівська астрономія зафіксувала винятково гарячий газ у вилучених свержскупчень. Інші астрономи застосували свої методи для власного дослідження червоних зсувів. Вони були визначені на основі спостережень зсуву 21-см. радіоemisійній лінії неіонізованого водню в міжзоряному просторі. Одне таке дослідження було виконано Р.Фішером і Р.Туллі з Гавайського університету в Маноа, що нанесли на карту галактики місцевого свержскупчення. Найбільш чуттєвий для такого роду спостережень радіо-телескоп –303 метрова антена в Аресибо (Пуерто-Рико); на якій, власне, і були проведені спостереження всіх трьох, що вже згадувалися раніше скупчень. Учені, що працювали над цим проектом, уключали С.Чинкарини, Т.Банія, Р.Джиованелли, М.Хайнеса й одного з авторів (Томпсона). Спостереження ці досить не однозначні, тому що проведені не тільки для однієї галактики, але також і для різних утворень усередині декількох свержскупчень.

З досліджень червоних зсувів стало ясно, що розподіл галактик не однорідний на відстанях у сотні мільйонів світлового років. Досить ймовірним здається той факт, що ця неоднорідність “тягнеться” на мільярди світлового років і характерна для усього Всесвіту. Однак варто додати, що Всесвіт може містити в собі набагато більше матерії, ніж здається. Можливе існування такої матерії (названою *схованою масою*) зараз предмет великих дискусій.

Якщо сьогодні Всесвіт неоднорідний, то, очевидно, що на ранніх етапах свого розвитку він все-таки був однорідний. Очевидність ця виходить з того факту, що м'яке, фонове випромінювання Землі, що “обплутує” нашу планету в мікрохвильовому радіодіапазоні стабільно. Переважна точка зору полягає в тім, що фонове випромінювання являє собою розшириний та охолоджений залишок раннього, гарячого Всесвіту. Однак у 80 –х рр. були виявлені деякі неоднорідності невеликого розміру, що простираються на величезні відстані в просторі.

Чи можна уявити собі такі неоднорідності? Ми сподіваємося на те, що окремі галактики і наявність величезних порожнеч вносять визначену ясність у питання про формування галактик, скупчень галактик і свержскупчень. На цей рахунок існують дві ведучі гіпотези. Більш умовна модель говорить про те, що окремі галактики з'явилися поза близькою, однорідною матерією. Головні труднощі даної гіпотези складаються в поясненні того, як Всесвіт розвився зі стохастичного стану в стан, коли вже почали формуватися галактики. Відповідно до цієї гіпотези, з тих пір як сформувалися галактики, невеликі неоднорідності в їхньому розподілі повільно розширилися під тривалим впливом гравітаційних сил. Кінцевим результатом такого розширення з'явилися свержскупчення, що ми і можемо і спостерігати сьогодні.

Відповідно до запропонованої ними моделі Всесвіт не відразу перетворився в зірки і галактики. Замість цього, масштабні неоднорідності в загальному розподілі газу збільшувалися у відповідь на гравітаційне притягання і стали здебільшого неправильними. Зрештою, газ став досить щільним для того, щоб скондесуватися у великі простори матерії (названі “млинцями”), що потім сформувалися в галактики. Таким чином, згідно з даними припущеннями, скупчення спершу були просто згустками газу і тільки потім у них з'явилися галактики.

Але чи одержала яка-небудь з цих моделей підтримку спостереженнями? Наприклад, модель Зельдовича – Сюняєва вимагала, щоб усі галактики входили в скупчення чи свержскупчення, “польові” галактики, просто окремі зоряні острови повинні були бути самостійними, ізольованими системами. Якщо така модель правильна і галактики можуть утворюватися де завгодно, тільки пізніше формуючи в чи групи скупчення, окремі галактики повинні бути досить розповсюдженими. Узагалі, тільки групи ізольованих галактик, що ми відкрили по наших червоних зсувах, були групами, розкиданими по границях свержскоплений. Порожнечі ж виявилися дійсно вільними від галактик.

Окремі галактики, розкидані усередині свержскупчень, були колись членами невеликих груп, згодом зруйнованими зіткненнями усередині щільних свержскоплений. Здається ймовірним припустити, що в один час усі галактики були членами чи груп скупчень. У цілому, досліджений розподіл галактик усередині свержскоплений і наявність величезних порожнеч між ними цілком погодяться з моделлю Зельдовича – Сюняєва. Прихильники ж альтернативної гіпотези сподіваються знайти підтримку в поясненні того, як невеликі неоднорідності могли перетворитися у великі за допомогою випадкових процесів.

В описі нитковидного скупчення Персея -Риби припустили імовірність того, що осі обертання деяких галактик знаходилися у відповідності не тільки з осями обертання інших галактик, але і можливо з масивною структурою самого скупчення. Ця ідея одержала підтримку з боку досліджень, проведених Марком Адамсом, Стефаном Стромом і Кареном Стромом з Китт – Пік, що знайшли схожі відповідності обертань у відразу декількох скупченнях. Якщо такі відповідності підтвердяться, прихильники умовної моделі галактичної формації зштовхнуться з нездоланими перешкодами в поясненні їхніх власних гіпотез. Випадкові статичні процеси в умовній моделі не ведуть до розуміння обертальних рухів у великих діапазонах.

Які перспективи подібних досліджень у найближчому майбутньому? Одним із самих напрямків таких досліджень, що обіцяють, є продовження виміру мікрохвильового, фонового випромінювання. Навіть невеликі неоднорідності, замічені в даному випромінюванні, свідчать про наявність речовини молодого Всесвіту. Їхні параметри близькі до тих, що необхідні для перевірки двох моделей галактичної формації.

Чи є свержскупчення найбільш високоорганізованими структурами в нашого Всесвіту? Чи є ще що – небудь крім них? Сверхскупчення є структурами, створеними гравітацією і крім них великих утворень немає, свержскупчення являють собою можливо нинішній стан галактик, що ізольовані від інших зоряних систем усередині самих скупчень.

Для астрономів і космологів, структури Всесвіту подібних розмірів залишають величезну кількість питань і загадок для майбутніх спостережень і досліджень.

1.8 Фізика й астрономи: погляд з різних сторін.

Іншою дуже цікавою спробою виділити ключові питання розвитку науки (у даному випадку фізики й астрофізики) став список “особливо важливих і цікавих” проблем, складений і, що доповнюється на протязі уже більш 30 років список містить і ряд астрофізичних задач, однак їх небагато (10) і вони сформульовані в дуже загальній формі. Проблеми, такі:

1. *Загальна теорія відносності - її експериментальна перевірка.*
2. *Гравітаційні хвилі.*
3. *Космологічна проблема. Інфляція. L-член і “квінтесенція” (темна енергія). Зв'язок між космологією і фізикою високих енергій.*
4. *Нейтронні зірки і пульсари. Сверхнові зірки.*
5. *Чорні діри. Космічні струни (?).*
6. *Квазари і ядра галактик. Утворення галактик.*
7. *Темна матерія (схована маса).*
8. *Космічні промені з надвисокою енергією, їхнє походження.*
9. *Гамма-сплески. Гіпернові.*
10. *Нейтрино у фізиці й астрономії. Нейтринні осциляції.*

Приведені напрямки досліджень, безсумнівно, фундаментальні і дуже актуальні. Однак вони відбивають точку зору фізика на астрономію. А які задачі вважають найбільш актуальні самі астрономи?

Хто такі астрономи і чим вони відрізняються від фізиків, визначити дуже складно, безсумнівно тільки, що ця відмінність існує. Можливо, воно складається у відносно більшій увазі астрономів до самих об'єктів дослідження (зіркам, галактикам, газовим туманностям і т.п.), а не тільки до фізичних процесів у них. Крім того, астрономи набагато краще фізиків представляють реальну точність тих чисел і оцінок, що витягаються зі спостережень.

1.9 Питання Сендиджа .

У 1997 р. на Канарських о-вах відбулася незвичайна наукова конференція. На ній було тільки 11 доповідачів, але яких! Усі вони були (і є) по визначенню організаторів конференції “найбільшими маестро” у різних областях астрономії. Тематика 11 доповідей охопила майже всі розділи сучасної астрономії, і тому опубліковані праці цієї конференції були названі: “Всесвіт в цілому”. Організатори конференції, очевидно, сподівалися, що доповідачі хоча б частково зможуть зробити для розвитку астрономії те, що зробив Гільберт для математики майже 100 років тому.

Конференція була відкрита доповіддю Сендиджа “Астрономічні задачі на наступні 30 років”. Ім'я Сендиджа міцно зв'язане з поруч найбільших досягнень

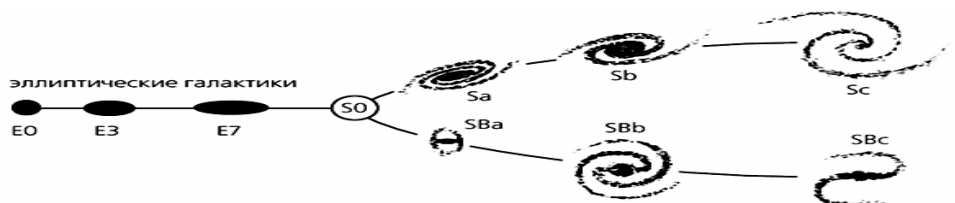
спостережливої космології, з виникненням сучасних представлень про формування й еволюцію зірок і галактик, із сучасною шкалою відстаней у Всесвіті. Про що ж йшла мова в його доповіді?

Сендидж сформулював 23 проблеми, рішення яких, можливо, буде знайдено протягом наступних 30 років. Тим самим Сендидж відійшов від спроби пророчити нові проблеми і явища, а підійшов більш обережно і виділив те, що, на його думку, незабаром буде прояснено. Ці проблеми були згруповані їм у три розділи, що стосуються загальних властивостей галактик, нашої Галактики - Молочного Шляху, спостережливої космології. Розглянемо ці проблеми докладніше. Слід зазначити, що за минулі послуги доповіді Сендиджа кілька років виникли нові задачі, зв'язані, зокрема, із приголомшуючими успіхами космології, що, природно, не могли бути включені в його перелік.

Перша група задач присвячена знаменитій морфологічній класифікації галактик, запропонованій Хабблом у 20-х роках минулого століття (мал. 1). Ця класифікація (її прообраз, до речі, можна знайти ще в Гершеля, за 150 років до Хаббла), поділяє галактики на еліптичні, спіральні і неправильні. Еліптичні галактики у свою чергу розбиваються на підтипи в залежності від величини стиску, що спостерігається, (сплюснутості), а спіральні - по особливостях спіральних галузей (структурності, ступеня закрученності) і по співвідношенню світимостей зоряного диска і центрального зоряного згущення (балджа).

1.10 Зоряна еволюція і наша Галактика.

Класифікація Хаббла виникла як чисто морфологічна (зв'язана з формою) і була заснована на тім, як виглядають галактики в оптичному діапазоні. Пізніше, однак, з'ясувалося, що "зовнішній вигляд" галактик зв'язаний з їхніми фізичними характеристиками - масою, світністю, кількістю атомарного і молекулярного газу, типом зоряного населення, кількістю пилу, темпом народження зірок і т.д. Цей зв'язок, звичайно, носить статистичний характер, але просліджується цілком чітко.



Мал. 1. Хаббловська послідовність галактик.

Сендидж сформулював наступні питання:

1. *Що приводить до виникнення хаббловської послідовності: еволюція чи галактик початкові умови при їхньому формуванні?*
2. *Які параметри міняються, а які залишаються незмінними уздовж цієї послідовності?*

3. *У чому причина розкиду характеристик галактик, що мають один хаббловський тип?*
4. *Від чого залежить спіральна структура (роль обертання галактик)?*
5. *Чи є початковий темп звездоутворення основним механізмом, що визначає тип галактики?*
6. *Яка космогонія співвідношення морфологія - щільність?*
7. *У чому роль (якщо вона є) злиттів галактик?*
8. *Яке походження і вік пилу?*

Якщо їх коротко підсумовувати, то вони зводяться до наступного фундаментального питання: як сформувалися основні великомасштабні характеристики навколишніх нас галактик? Як не дивно, цей основний для позагалактичної астрономії питання ще не цілком ясне. Раніш вважалося, що галактики формуються на ранніх стадіях еволюції Всесвіту і їх основні, що спостерігаються в дійсний час властивості, однозначно визначаються характеристиками протооб'єкту (наприклад, повною масою і кутовим моментом, що описує обертання).

Пізніше ця картина початку заплутувалася і склався альтернативний сценарій: властивості галактик формуються в процесі їхньої еволюції, у ході якої вони активно взаємодіють зі своїм оточенням (межгалактичної середовищем, іншими галактиками). В останні роки з'явилися факти, що дуже вагомо свідчать на користь такого підходу. Наприклад, виявилось, що частка взаємодіючих галактик дуже швидко росте зі збільшенням червоного зсуву, тобто при розгляді усе більш ранніх епох в еволюції Всесвіту. Так, коли Всесвіт був удвічі молодший, від третини до половини всіх галактик, очевидно, знаходилися в стані сильного зовнішнього гравітаційного чи збурювання в процесі злиття із собі подібними. Тому безсумнівно, що взаємодії і злиття (сьома проблема Сендиджа) відігравали важливу роль при формуванні галактик.

Існує навіть точка зору, що хаббловська послідовність - це послідовність зменшення числа актів злиттів і "струсів" в історії галактик. Приміром, еліптичні галактики можуть формуватися в процесі повного злиття спіральних галактик з порівнянними масами. Добре помітні балджи - центральні, майже сферичні зоряні згущення - спіральних галактик ранніх типів могли виникнути при аккреції на чисто дискову галактику маломасивних супутників за рахунок внутрішніх процесів, ініційованих зовнішнім збурюванням. Спіралі пізніх типів (S_c , S_{Bc} на мал. 1), можливо, мають найбільш спокійну історію.



Фото 1. Фрагмент зображення глибокого поля Космічного телескопа ім.Хаббла.

Один з найважливіших результатів останнього років - це висновок, що хаббловська послідовність галактик сформувалася відносно недавно. Виявилось, що 5 - 7 млрд років тому в спіральних галактик дуже рідко зустрічалися такі важливі для морфологічної класифікації Хаббла структурні елементи, як бари (див. нижню галузь галактик на мал. 1): **бар - це витягнуте утворення в центральній області галактики , від кінців якого звичайно відходять спіральні галузі і добре виражені великомасштабні спіральні галузі.** Хаббловська послідовність не старше Сонячної системи?!

Остаточо питання про походження структури навколишніх нас галактик поки не вирішене. Як видно, і початкові умови, і наступна еволюція впливають на характеристики галактик, однак співвідношення між цими факторами залишається неясним. Імовірно, воно по-різному для галактик різних морфологічних типів, мас і просторового оточення.

Задачі, присвячені структурі і походженню Молочного Шляху, підсумовані в другій групі проблем, дослідження з яких повинні постачити нас наступною інформацією:

9. Розподілу віку, кінематики і хімічного складу для різних підсистем Галактики.

10. Космогонія цих розподілів.

11. Послідовність подій при формуванні Молочного Шляху (як виглядала Галактика на ранніх стадіях формування).

12. Співвідношення вік - металічність (відносний зміст важких елементів) для різних областей Галактики.

13. Розподіл об'єктів від зірок до каменів по їхніх масах.

14. Зоряні підрахунки для картографування гало і товстого диска.

Дані проблеми ледве більш конкретні ніж задачі попередньої і наступних груп. Це і зрозуміло - ми знаходимося усередині нашої зоряної системи, і вона доступна нашому вивченню в набагато великих деталях, принаймні найближчі околиці Сонця. З іншого боку, структура Галактики в цілому, характеристики її диска, балджа, спіральних галузей відома гірше (навіть кількість галузей дотепер викликає суперечки), ніж у багатьох інших галактик. Досліджуючи один листочок і невелику частину гілки, ми намагаємося скласти уявлення про все дерево!

В останні кілька років у дослідженні Молочного Шляху досягнутий дуже великий прогрес. Це зв'язано в першу чергу з роботою космічних апаратів.

Наприклад, обсерваторія “HIPPARCOS” дозволила оцінити відстані до сотень тисяч зірок у межах декількох сотень парсек від Сонця. Структура найближчих околиць Галактики стала набагато ясніше. Спостереження в інфрачервоному діапазоні на супутнику “COBE” уперше дали представлення про том, як виглядає Молочний Шлях у цілому. Зокрема, виявилось, що центральна область Галактики являє собою витягнуту структуру (можливо, бар), велика вісь якого витягнута майже в напрямку нашого Сонця.



Фото 2. Зображення центральної області Галактики за даними із супутника “COBE”.

Однак один з найгучніших успіхів був досягнутий у ході наземних спостережень. При дослідженні зірок зовнішніх областей балджа група англійських астрономів у 1994 р. відкрила карликову галактику, що знаходиться практично в межах Молочного Шляху, на відстані 16 кпк від його центра.

Ця галактика сильно деформована приливним збурюванням Молочного Шляху і витягнута в колосальну дугу, майже перпендикулярну його площини. Згадаємо про існування двох інших давно відомих супутників,- Великого і Малого Магелланових Хмар, про гігантський газовий хвіст, що з'єднує їх з нашою зоряною системою (Магелланів Потік), і ми одержимо чітку картину триваючого в даний час “будівництва” Молочного Шляху.

15.Реальність розширення Всесвіту.

Чи дійсно Всесвіт розширюється? Питання звучить зненацька. Вже не одне покоління дослідників виросло з представленням про те, що ми живемо у Всесвіті, що розширюється. Розширення Всесвіту служить найбільш простим поясненням так названого червоного зсуву спектрів позагалактичних об'єктів. Нестационарність Всесвіту природним чином виникає й у теоретичних моделях.

Однак, донедавна були відсутні прямі, однозначно інтерпретувемі докази реальності космологічного розширення. Сендидж запропонував розглянути три таких спостережливих теста.

Перший тест (тест Толмана) складається у вимірі поверхневих яркостей далеких об'єктів. Як було показано ще в 30-х роках минулого століття, у просторі, що розширюється, поверхнева яскравість об'єкта зменшується з ростом червоного зсуву z . (Дуже важливо, що в альтернативних моделях, що пояснюють червоний зсув, що спостерігається, приміром, “утомою” фотонів і т.п., передвіщається інша залежність яскравості від z .) Цю перевірку здійснив сам Сендидж. У недавньому циклі робіт він розглянув еліптичні галактики в скупченнях і знайшов, що їх

поверхнева яскравість, що спостерігається, зменшується z в відповідності з тим, як це і повинно бути для реально розширюється Всесвіту.

Другий тест складається у вимірі ефекту уповільнення часу в далеких об'єктах. Суть дуже проста: чим далі від нас знаходиться об'єкт у просторі, що розширюється, тим з більшою швидкістю він від нас віддаляється. Отже, тривалість подібних процесів поблизу нас і в далеких областях Всесвіту повинна бути різної. Нам повинно здаватися, що при червоному зсуві z усе триває в $1+z$ раз довше. Що ж взяти в якості такого "стандартного" процесу, тривалість якого можна вивчати на різних відстанях від нас? Як виявилось, для цієї мети найкраще підходять криві блиску сверхнових першого типу (SN Ia), що відрізняються чудовою подібністю як за формою, так і по тривалості. В останні роки (уже після обговорюваного доповіді Сендиджа), були накопичені дані для декількох десятків далеких сверхнових зірок. Дослідження їхніх кривих блиску з гарною точністю підтвердило існування очікуваного внаслідок розширення Всесвіту ефекту уповільнення часу.

Третій тест припускає вимір температури реліктового випромінювання в різні епохи еволюції Всесвіт, тобто при різних z . Стандартна модель Всесвіту, що розширюється, проорокує, що температура фонового випромінювання повинна рости зі зміною z пропорційно $1+z$. Наприклад, при $z=3$ його температура повинна була бути не 2.7 К, як зараз, а близько 11 К. Але як оцінити температуру реліктового випромінювання в минулі епохи? На допомогу приходить дуже детальне дослідження спектрів далеких галактик. Якщо фонове випромінювання з більш високою, чим зараз, температурою дійсно існує, у спектрах вилучених об'єктів можуть з'явитися лінії, порушення яких було б неможливо при відсутності додаткового джерела енергії. Такий підхід дозволив в останні роки на основі аналізу абсорбційних спектрів квазарів одержати перші реальні оцінки температури реліктового випромінювання. Усі ці оцінки знаходяться в згоді з моделлю гарячого Всесвіту, що розширюється.

Таким чином, усі три запропонованих Сэндиджем теста уже реалізовані. У межах помилок вимірів усі вони дають незалежні й однозначні вказівки на реальність космологічного розширення Всесвіту.

16. Еволюція згодом (первинні галактики).

Які об'єкти тільки не ототожнювали з протогалактиками! Квазари, радіогалактики, ультраяскраві в інфрачервоному діапазоні об'єкти, галактики з низькою поверхневою яскравістю... І лише в останні кілька років подібні об'єкти були, нарешті, виявлені. Допоміг загальний розвиток спостережливої техніки, поява класу 8 - 10-метрових наземних телескопів, а також використання при пошуку природних гравітаційних лінз - далеких скупчень галактик.

Гравітаційне поле скупчення може підсилити випромінювання розташованої за ним галактики і побудувати її перевернуте зображення. Утворені даним способом зображення частіше виділяються у виді слабких дуг, що оточують центр скупчення. Спектральне дослідження однієї з таких дуг і дозволило знайти саму далеку відому в даний час галактику з червоним зсувом $z=6.56$.



Фото 3. Репродукція знімка скупчення галактик Abell 2218, отриманого на Космічному телескопі ім. Хаббла. Слабкі дугоподібні деталі - зображення галактик, розташованих за цим скупченням.

Об'єктів з червоними зсувами, що перевищують 5, відомо вже більше десятка. Їхній вік, відлічуваний від початку космологічного розширення, складає менш 10% від поточного віку Всесвіту, і їх повною мірою можна вважати молодими галактиками. Як виявилися, настільки молоді галактики є дуже компактними (характерний розмір ~ 1 кпк), яскравими (як видно, за рахунок дуже інтенсивного темпу народження нових зірок) і асиметричними утвореннями. Вивчення цих об'єктів тільки починається, і те, в що вони перетворяться в ході подальшої еволюції, ще не цілком ясно. Вони можуть являти собою центральні області (балджи) галактик, навколо яких пізніше виникне більш протяжна дискова складова. Можливо також, що при $z > 5$ ми знайшли не безпосередніх “предків” сучасних галактик, а протогалактичні будівельні блоки, з яких у процесі ієрархічних злиттів надалі будуть побудовані звичні галактики.

17 Шкала відстаней.

Шкала відстаней у Всесвіті була одним із ключових напрямків досліджень астрономії ХХ ст. і почасти залишається таким і зараз. Найважливішою задачею шкали відстаней є визначення значення постійної Хаббла (H_0). Значення H_0 характеризує поточний темп розширення Всесвіт і дозволяє знаходити відстані до галактик по швидкості, що спостерігається, удалення видалення від нас. Протягом декількох десятиліть точність оцінки H_0 була не краще 50%. Це створювало великі невизначеності як при рішенні космологічних задач, так і при дослідженні фізичних властивостей позагалактичних об'єктів.

В останні роки завдяки роботі позаатмосферних обсерваторій величину H_0 вдалося, нарешті, конкретизувати. Космічні спостереження дозволили виділити в багатьох щодо близьких галактиках особливий клас яскравих зірок - цефеїди. Цефеїди (“маяки” Всесвіту) демонструють чудову залежність між періодом коливань блиску і світністю. Досліджуючи криві блиску цефеїд, можна з великою точністю (10%) знайти відстані до них і, отже до галактик у яких вони знаходяться. По шкалі відстаней, що задається ними, можна прокалібрувати інші індикатори відстаней (зараз використовується більш десятка вторинних індикаторів) і поширити цю шкалу на великі відстані. У результаті багаторічної роботи багатьох

груп дослідників отримано, що значення H_0 близько до $70 \text{ км} \cdot \text{с} / \text{Мпк}$ з помилкою близько $10 \text{ км} \cdot \text{с} / \text{Мпк}$.

18 Параметр уповільнення.

Доповідь про проблеми астрономії Сендидж зробив у 1997 р., тобто за рік до відкриття прискорення космологічного розширення Всесвіту. До цього спостережлива космологія була, як іноді писали, “наукою про два числа”. Одним з цих чисел була уже згадувана **постійна Хаббла**, другим - **параметр уповільнення**, що характеризує густину речовини у Всесвіті. Ці два числа, як вважалося, цілком визначають геометрію й еволюцію Всесвіт.

У 1998 і 1999 р. дві групи дослідників оголосили, що дані про світимостях далеких свержнових перше типу (SN Ia) свідчать про існування космологічного прискорення. Пізніше цей висновок був підтверджений незалежним чином за даними про анізотропію реліктового випромінювання і про великомасштабний розподіл галактик. Як виявилось, ми живемо в плоскому евклідовому Всесвіті, основний внесок у щільність якої ($\sim 2/3$) вносить космічний вакуум. Внесок щільності звичайної матерії в сполученні з “традиційною” схованою масою складає лише близько $1/3$. Мало таємничої схованої маси, так відкрито ще щось більш дивне - вакуум, темна енергія, глобальна “антигравітація”!

Тим самим вісімнадцята задача Сендиджа в її найпростішому формулюванні, очевидно, вже вирішена, і це рішення привело до зміни представлень про те, як влаштований Всесвіт. Як і у випадку задачі 15, успіх був досягнутий традиційними астрономічними методами (фотометрією і спектроскопією SN Ia).

19. Надлишок галактик.

Ця проблема відома з кінця 80 - початку 90-х років. Тоді порахували слабкі галактики, виділювані в глибоких площадках (тобто на зображеннях обраних областей неба, отриманих з дуже великими експозиціями, коли видні дуже слабкі і, природно, далекі об'єкти). При видимій зоряній величині в колірній смузі B, більшої $20m$, що спостерігається число об'єктів перевищило очікуване для моделей еволюції галактик, при яких їхнє число не міняється згодом. Примітно, що надлишок виявляється тільки при підрахунку в блакитних оптичних фільтрах, а в близькому інфрачервоному діапазоні він майже не просліджується. Тому проблему часто називають проблемою надлишку слабких блакитних галактик.

Існування надлишку слабких блакитних галактик було, принаймні частково, прояснено спостереженнями на Космічному телескопі ім. Хаббла. Високий кутовий дозвіл, забезпечуваний при космічних спостереженнях, дозволило досліджувати морфологію далеких галактик. Виявилось, що надлишок галактик, що спостерігається, зв'язаний з морфологічно пекулярними, неправильними, що зливаються об'єктами. З іншого боку, давно відомо, що взаємодії і злиття галактик часто приводять до посилення темпу зіркоутворення в них, і колір їх стає більш блакитним. Отже, проблема надлишку блакитних галактик виявилася зв'язана зі швидким ростом до $z \sim 1$ темпу взаємодій і злиттів між галактиками (див. вище обговорення першої групи задач).

20. Природа схованої маси.

Природа схованої (темної) маси, вказівки на існування якої були отримані ще в першій половині минулого століття, усе ще залишається нез'ясованою. На цю тему написана величезна кількість науково-популярних статей і книг, висловлена безліч припущень і гіпотез.

Склалася дуже рідка в історії науки ситуація. Практично всі згодні, що схована маса є. Вона виявляє себе на різних масштабах за допомогою гравітаційного впливу на об'єкти, доступні спостереженням, - зірки, газ, галактики. Без усюдисущої схованої маси не пояснити ні плоскі протяжні криві обертання галактик, ні динаміку карликових супутників в околицях масивних галактик, ні руху галактик у групах і скупченнях, ні гравітаційне лінзування далекими скупченнями, ні формування великомасштабної структури Всесвіту, ні рентгенівські корони скупчень галактик, а також безліч інших явищ. Але от вже кілька десятиліть її ніяк не вдається ідентифікувати.

Невідома навіть форма, у якій знаходиться ця схована (від сучасних спостережень) маса. Вона може бути у виді звичайної, баріонної матерії (зірок низької світності, залишків зоряної еволюції, холодного молекулярного газу...) чи в небаріонній формі (наприклад, нейтрино, аксионов чи гіпотетичних слабозаимодействующих масивних часток - WIMP). Можливо, на різних масштабах схована маса має різну природу. Наприклад, є непрямі вказівки на те, що в межах галактик розподіл схованої маси може бути зв'язане з розподілом звичайної речовини (зірок і газу) і, отже, він швидше за все має баріонну природу. Зовнішні протяжні корони галактик можуть складатися з небаріонної речовини. Однак усе це поки тільки припущення...

Хочеться сподіватися, що ця проблема і справді незабаром буде вирішена!

21. Відхилення від космологічного розширення.

Всесвіт розширюється. Чим далі від нас знаходиться галактика, тим з більшою швидкістю вона віддаляється. Наскільки істотними можуть бути відхилення швидкостей галактик від регулярного космологічного розширення, від «хаббловського потоку»? Це важливо з різних точок зору. Наприклад, це обмежує точність оцінки відстані за законом Хаббла. З іншого боку, відхилення від розширення можуть визиватись великомасштабними флуктуаціями розподілу щільності, і, отже, дослідження пекулярних швидкостей галактик виявляється важливим космологічним тестом.

В останні декілька років, після того як були накопичені дані про відстані і швидкості для декількох десятків найближчих до нас галактик, виявлено, що регулярне хаббловське розширення просліджується не тільки по далеких галактиках, але і по об'єктах Місцевої групи, тобто аж до 1.5 - 2 Мпк. Але на цих масштабах розподіл галактик дуже неоднорідний, і, якщо розподіл маси, що спостерігається, у Місцевому обсязі впливає на кінематику галактик, близькі об'єкти не повинні показувати настільки регулярне розширення! Отже, рух галактик біля нас слабо зв'язано з їхнім просторовим розподілом, і кінематикою галактик керує не їх маса, а щось інше. Що ж це? Як видно, космологічний вакуум,

чия щільність домінує в навколишньому нас світі. Сучасна космологія починається не із сотень мегапарсек, а відразу за границями нашої Галактики.

22. Походження міжгалактичного середовища.

23. Час утворення великомасштабної структури Всесвіту.

Останні дві задачі цілком ясні. Перша присвячена тому, що знаходиться поза галактиками, друга - часу утворення галактичних структур. Недавнє виявлення можливого протоскоплення галактик з $z=4.1$ відсуває цей час на відносно ранні етапи еволюції Всесвіту.

Вище був приведений список 23 проблем Сендиджа і коротко розглянуті деякі з них. Багато з цих задач уже вирішені, робота над іншими йде на повний хід. (Нагадаємо, що Сендидж підсумовував не просто цікаві невирішені проблеми, а ті, рішення яких, на його думку, можливо буде знайдено протягом 30 років.)

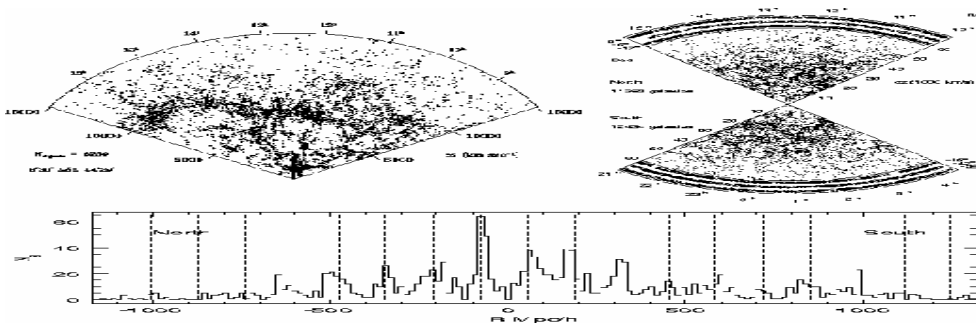
Говорячи в цілому, астрономія зараз переживає період, подібний, бути може, лише з 20-ми роками минулого століття (відкриття галактик, розширення Всесвіту) чи з 60-ми (виявлення квазарів, пульсарів, реліктового випромінювання)..

1.11 Сценарій формування великомасштабної структури Всесвіту Тривимірне комп'ютерне моделювання великомасштабної структури Всесвіту.

В даний час добре вивчений процес утворення зірок. Але проміжні стадії утворення структури дотепер залишаються незрозумілими. Це вважається головною проблемою сучасної космології. Проте, за останні десятиліття був зроблений великий крок вперед у розумінні цього процесу, що дозволяє сподіватися на те, що сучасна наука знаходиться на правильному шляху. Одним з видатних його досягнень є пророкування існування *коміркової структури Всесвіту* за кілька років до її відкриття в астрономічних спостереженнях. Спробуємо і ми зрозуміти, відкіля могла взятися така дивна структура. Для цього використовуємо "іграшкову" модель, у якій простір має всего два виміри. Відповідно до теорії згущення (неоднорідності з підвищеною щільністю матерії) з масою більше джинсовської повинні розширюватися повільніше, ніж Всесвіт у цілому, тобто якби ми знаходилися поблизу центра згущення, її край віддалявся б від нас повільніше, ніж це впливає з закону Хаббла. Очевидно, області, де щільність матерії була ледве менше середньої, навпаки, розширювалися ледве швидше, ніж Всесвіт у цілому. Нагадаємо, що різниця між реальною швидкістю віддалення об'єкта й очікуваної на підставі закону Хаббла є пекулярная швидкість. Таким чином, пекулярная швидкість речовини на границі областей з підвищеною щільністю була спрямована усередину неоднорідностей, тоді як на границі областей зі зниженою щільністю — назовні. Відповідно до космологічного принципу, області з підвищеної і зниженими густинами були розподілені в ранньої Всесвіту хаотично, тому так само були розподілені і пекулярні швидкості. **Отже, наш "іграшковий" Всесвіт має комірчасту структуру.**

У реального, тривимірного Всесвіту, зрозуміло, повинні бути об'ємними, причому усередині границь цих осередків (плоских утворень "млинцями") також повинні з часом визрівати двовимірні осередки, відділені друг від друга нитками

Великомасштабна структура Всесвіту (галактики, скупчення галактик, войди (порожнечі з розмірами 100 Мпк)) виникає з малих збурювань щільності. Коли контраст щільності стає порядку бурювання перестає брати участь у космологічному розширенні і може утворити гравітаційно-зв'язану систему. Істотно, що нелінійна стадія росту збурювань приводить до переважного стиску уздовж одного з напрямків з оразованием сплюснених структур (т.зв. "млинці" Зельдовича). Перетинаючи, "млинці" створюють комірчасту структуру. У місцях найбільшої щільності утворюються скупчення галактик. Очевидно, що спостерігається крупномасштабна структура не могла сформуватися без схованої маси - невидимої матерії, що виявляється тільки по своїй гравітаційній взаємодії. Дійсно, ми знаємо, що флуктуації щільності на момент рекомбінації були. Після рекомбінації ці флуктуації ростуть як масштабний фактор і таким чином до моменту можуть вирости до рівня. Цього зовсім недостатньо (на два порядки!) для початку розвитку гравітаційної нестійкості й утворення структур! Цей факт є вагомим аргументом на користь існування невидимої матерії, взаємодіючої із звичайною речовиною тільки за допомогою гравітації. Саме флуктуації щільності схованої маси (які були на два порядки більші в момент рекомбінації) створили потенційні ями, у які "натекла" звичайна речовина, з якого стали утворюватися галактики і скупчення галактик. Результати чисельного моделювання великомасштабної структури в моделі з холодною схованою масою представлені на малюнках.



Мал 2. Великомасштабна структура Всесвіту, що спостерігається, у термінах "зрізу" розподілу галактик по червоному зсуві (в одиницях швидкості втікання). На нижній шкалі представлений одномірний "прокол" структури по червоному зсуві (відстані до галактик). Чітко видні скупчення галактик, ниткоподібні структури (філаменти) і порожнечі (войди) з розмірами в Мпк.

Відповідно до сучасних представлень, для формування структури найбільш краща модель т.зв. холодної схованої маси (CDM) (аксиони, нейтраліно). Можливо також, істотну роль грає нерівна нулю космологічна постійна.

З однієї сторони росте точність розрахунків формування галактик (і великомасштабної структури): почавши з масштабів у сотні Мпк, автори програм добралися уже до масштабу нашої галактики. Відповідно, в останні роки кілька груп астрофізиків займаються розрахунками утворення Молочного Шляху і його супутників. Тут виникла цікава проблема. Розрахунки пророкували занадто багато супутників (більше, ніж спостерігається).

З іншого боку, спостереження теж не стоять на місці. Постійно відкриваються нові карликові галактики в безпосередній близькості від нас. Крім того, недавно була відкрита "темна галактика" - з газу, щільність якого виявилася недостатня для масового утворення зірок.

Ми ж поговоримо про наступний цікавий аспект проблеми супутників Молочного Шляху. Виявляється, що вони розподілені не симетрично, а утворюють таку плоску структуру (див. малюнки внизу).

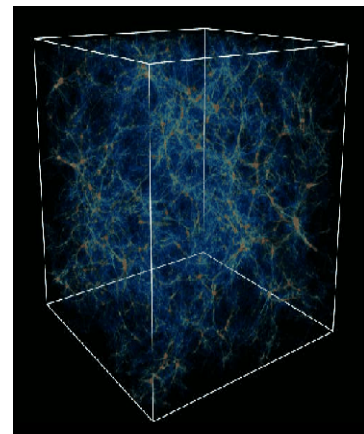
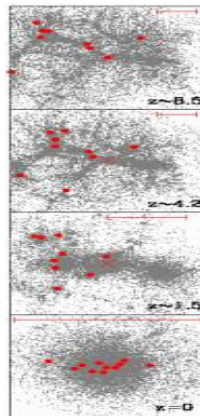
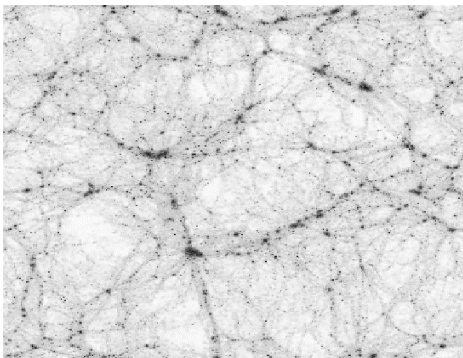


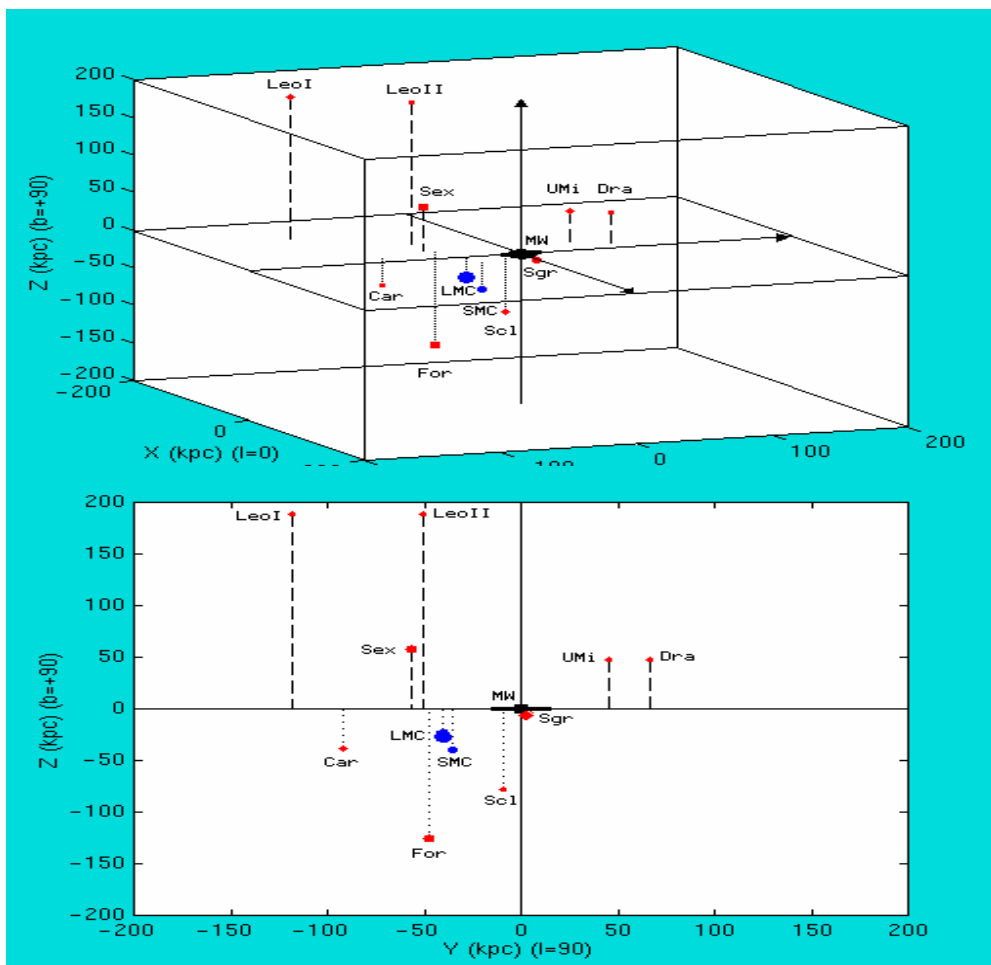
Фото 4. Результати моделювання крупномасштабної структури Всесвіту.

Пояснення: Куб, який Ви бачите, являє собою великий шматок нашого Всесвіту, структура якого була розрахована комп'ютерами Космологічного консорціуму. Реальний розмір цього куба дуже великий і складає 500 мільйонів світлового років. Розріджений газ позначений блакитним кольором, а більш щільний - червоним. На початку утворення Всесвіту, матерія і газ були розподілені дуже рівномірно. Еволюція цього обчисленого Всесвіту привела до утворення більш щільних областей. Дана модель побудована в припущенні, що Всесвіт складається на 1/3 з "холодної темної речовини" і на 2/3 зі швидко рухається з "гарячої темної речовини". Структура, що вийшла в ході комп'ютерного моделювання, з розріджених і щільних областей пояснює реальний Всесвіт.

Либескінд і його співавтори з Великобританії, Канади й Австралії провели чисельне моделювання методом багатьох тіл (N-body) з метою вивчення

просторового розподілу супутників галактики, подібної наш. Результати показані на малюнках.

Очевидно, що супутники і справді утворюють досить плоску структуру. Супутники відслідковують не просто розподіл темної матерії (усі розрахунки проводилися в рамках CDM моделі). Супутники відзначають самі масивні гало. Більш дрібні залишаються беззоряними. Маса набирається анізотропно. Також як і в реальній ситуації в розрахунках положення площини, у якій лежать супутники, виявилось практично перпендикулярні площини галактики.



Мал 3. Положення супутників Молочного Шляху.

При вивченні космології звичайно виникають питання, на які не завжди дають відповіді підручники. Спробуємо відповісти на найбільш розповсюджені з них.

Питання 1. Чи не впливає з закону Хаббла, що у Всесвіті діє сила, яка розганяє галактики, через що швидкість збільшується з відстанню?

Відповідь. Ні, не впливає. Правильне трактування закону Хаббла зовсім інше. Ознайомимося з нею на наступному прикладі. Уявимо собі автобус, що підійшов до зупинки, з якого (одночасно) вийшла група людей. Ті люди, що мали в цей момент

велику швидкість, через якийсь час відійдуть на більшу відстань від зупинки, чим їхній менш "шустрі" колеги. Таким чином, буде спостерігатися залежність між швидкістю і відстанню, цілком аналогічна закону Хаббла. Точно така ж ситуація і з розбіганням галактик, з тією тільки різницею, що кожна галактика в силу космологічного принципу може вважати себе центром розширення. Наявність космічної сили відштовхування не виключене, але це ніяк не зв'язано з законом Хаббла.

Питання 2. Куди розширюється Всесвіт, якщо він і так уже нескінченний?

Відповідь. Люди, що задають це питання, неявно виходять із представлення про нескінченність як про найбільшу безліч, більше якого вже нічого не може бути. Джордано Бруно говорив: "Отже, Всесвіт єдиний, нескінченний, нерухомий... Він не може ні зменшуватися чи збільшуватися, тому що він нескінченна"... Однак, як з'ясували в ХІХ ст. видатні математики Л. Больцано і Г. Кантор, таке визначення є неправильне. Корінна відмінність нескінченної безлічі від будь-якого кінцевих полягає саме в тім, що при збільшенні кінцевої безлічі ми одержали б іншу кінцеву безліч, тоді як у скількох би разів ми не збільшували нескінченну безліч, вона залишиться нескінченним. Таким чином, з погляду теорії множин для теорії розширення нескінченного Всесвіту немає ніяких перешкод. Сказане можна пояснити наступним прикладом. Уявимо собі площину з намальованими на ній геометричними фігурами. Ніщо не заважає нам уявити собі іншу площину з геометричними фігурами такими ж точно за формою, але тільки в N раз більшого розміру і в скількох же разів більшої відстані друг від друга. Інакше кажучи, довжини між усіма точками на другій площині в N раз більше всіх довжин на першій площині. Далі, неважко уявити собі, що ми одержали другу площину за допомогою рівномірної трансформації (розтягання) першої. При цьому кожна точка першої площини перейде в деяку точку другої площини. Це розтягання нескінченних площин є прямий аналог розширенню нескінченного Всесвіту. У ході такого розтягання будь-яка точка на першій площині з рівним правом може вважати себе центром розтягання. Щоб на другій площині не утворилося ніяких зморщок, розривів, необхідно, щоб точка, що відстоїть від умовно обраного центра розширення далі в N раз, повинна рухатися швидше в стільки ж раз. Але це і є закон Хаббла! Помітимо, до речі, що нескінченність Всесвіту в дійсності не впливає з космологічного принципу - з нього впливає безмежність Всесвіту, а це зовсім не те саме!

Питання 3. Всесвіт - це усе, що є на світі. Раз він розширюється, то повинні збільшуватися не тільки відстані між скупченнями галактик, а розміри усього у світі: і атомів, і планет, і людей... Чи це так?

Відповідь. Імовірно, в епоху інфляції (перші 10 -35 секунд існування Всесвіту) будь-який елемент матерії був підданий розширенню. Однак поступове розширення деяких елементів було подавлено силами, що існують у природі. Так, розширення атомних ядер подавлено внутрішньоядерними силами, розширення атомів - електромагнітними силами, розширення зірок, галактик і їхніх скупчень - силами всесвітнього тяжіння між окремими частинами цих матеріальних систем.

Тому в даний час збільшуються тільки міжгалактичні відстані (точніше, відстані між групами і скупченнями галактик і галактиками), а розміри дрібномасштабних систем (планет, крокодилів, зірок, атомів, галактик...) не міняються (а якщо міняються, то Всесвіт тут ні при чому - на це є якісь внутрішні причини, і це розширення не підкоряється закону Хаббла). Якщо бути зовсім точним, то космологічне розширення усе-таки впливає на динаміку дрібномасштабних систем, але цей вплив дуже слабкий. Його вивченню було присвячено багато досліджень.

У згоді з загальною теорією відносності, під впливом маси й енергії тіл простір-час викривляється, що, у свою чергу, приводить до викривлення траєкторій тіл. Оскільки космологічне розширення приводить до зміни кривизни простору-часу скрізь, у тому числі і районі перебування дрібномасштабного об'єкта, це повинно відбиватися на траєкторії тіл, що складають цей об'єкт. Однак густина речовини всередині цього об'єкта набагато більше середньої щільності Всесвіту, тому внесок матерії всередині об'єкта в зміні кривизни простору-часу значно перевершує внесок космологічного тіла.

В іншій недавній статті відомий космолог Вільям Боннор вивчив вплив розширення Всесвіту на розмір атома водню. По його оцінці, швидкість розширення атома, зв'язана з космологічним розширенням, відноситься до хаббловської швидкості як 1 до 10^{67} . Отже, розширення Всесвіту робить малий вплив на динаміку дрібномасштабних об'єктів. Можна не турбуватися: ми з вами не розширюємося!

Питання 4. Де, у які точці простору був Великий Вибух?

Відповідь. Космологічний принцип відповідає однозначно: Великий Вибух був скрізь. Для того, щоб уявити собі цю, на перший погляд, дивну ситуацію, звернемося до того уявлюваного фільму про разбіг галактик. Прокрутивши цю плівку назад, ми побачимо, що чим ближче до початку фільму, тим менші відстані між будь-якою, довільно обраною парою галактик. У межі, тобто в момент Великого Вибуху, ця відстань звернеться в нуль, як би далеко не були ці галактики спочатку. При цьому простір і в момент Великого Вибуху виявиться заповненою речовиною рівномірно. Ці міркування ще раз показують, що розширення Всесвіту необхідно мислити не як рух галактик у просторі, а як розширення самого простору з "прикріпленими" до нього галактиками.

Питання 5. Якщо взяти гумову плівку, то для того, щоб неї викривити, її потрібно прогнути в напрямку, перпендикулярному цій плівці. Невже викривлення простору говорить про те, що у Всесвіті є якийсь додатковий вимір, у напрямку якого простір викривлений?

Відповідь. Справа в тім, що в повсякденній мові слово "кривизна" позначає не зовсім те ж, що в мові математиків. При вживанні цього слова в побуті ми маємо на увазі наступне: спочатку щось (яка-небудь плівка, дріт і т.п.) було прямим, потім його взяли і спотворили, тобто зробили кривим. Але в математиці слово "кривизна" означає щось інше: простір називається викривленим якщо в ньому не виконуються аксіоми евклідової геометрії, як уже було відзначено вище. Місце цих аксіом займають аксіоми геометрії Лобачевського чи Римана. Для того, щоб вивчати простір у цих геометриях, немає ніякої необхідності в якихось додаткових вимірах.

Зрештою, геометрія Евкліда нічим не краще геометрії Лобачевського чи Римана, вони цілком рівноправні. У принципі, додаткові просторові виміри можуть існувати і, більш того, їхнє існування передбачається деякими теоріями сучасної фізики. Але їх існування ніяк не зв'язане з кривизною простору; вони самі повинні бути викривлені.

Питання 6. Якщо Всесвіт - це тривимірна сфера, то де знаходиться центр цієї сфери? Можливо, у четвертому вимірі?

Відповідь. По суті справи, це питання - інший варіант питання 5. В принципі, можна, вважати, що в замкнутому Всесвіті є центр, що знаходиться в четвертому просторовому вимірі, але ніякого фізичного змісту цей четвертий вимір не має.

Питання 7. Який зміст має нескінченність Всесвіту, якщо її видима частина обмежена космічним обрієм?

Відповідь. Проведемо такий уявний експеримент. Уявимо собі галактику А, розташовану зовсім недалеко від космічного обрію (на відстані, скажемо, 15 млрд. св. років від нас). Ми її бачимо такий, який вона була 15 млрд. років тому, тобто тільки утворилася. Уявимо собі, що ми миттєво перенеслися в цю галактику. Спостерігаючи вже з її, ми зовсім недалеко від краю видимого Всесвіту, на відстані 15 млрд. св. років побачили б нашу зоряну систему (такий, який вона була 15 млрд. років тому). У протилежній частині неба ми б побачили галактику В, розташовану на такій же відстані від А, що і наша, і має той же вік. Миттєво перенесемося тепер у галактику В. Спостерігаючи з цієї зоряної системи, ми вже не побачимо нашу Галактику, оскільки вона знаходиться за обрієм галактики В, тобто в той момент, коли виробляється спостереження, вона ще не встигла утворитися. У протилежній частині неба від галактики А ми побачимо галактику З; перестрибнемо і на цю галактику. Якщо Всесвіт нескінченний, то такі миттєві стрибки можуть продовжуватися до нескінченності; ми відвідаємо нескінченне число галактик, і ніколи в нашому полі зору не з'явиться наш зоряний будинок - Молочний Шлях. Якщо ж Всесвіт замкнутий, то, роблячи такі стрибки, з однієї з галактик ми знову побачимо нашу зоряну систему, причому в протилежному напрямку, ніж з галактики А. Зробивши ще один стрибок, ми повернемося додому.

Питання 8. Как можна уявити собі, що обрій - це точки, видимі з будь-якого напрямку?

Відповідь. Уявимо собі, що ми знаходимося на північному полюсі земної кулі, а інформація про яких-небудь події йде до нас по найкоротших лініях земної поверхні - меридіанам. Тоді, якщо джерело інформації розташоване на південному полюсі, то будь-який сигнал, з якої би сторони ми його не прийняли, випущений однієї і тією же точкою - південним полюсом. У застосуванні до частини Всесвіту, що спостерігається, ця аналогія означає - нашому розташуванню у Всесвіті відповідає північний полюс, шляхам світла - меридіани, обрію - південний полюс.

Питання 9. Чи не суперечить існування космічного обрїю безмежності Всесвіту?

Відповідь. Ні, не суперечить. З космологічного принципу випливає, що простір безмежний в кожний конкретний момент космічного часу. Якби ми могли спостерігати обрїю, ми б спостерігали не границю простору, а "границю часу", тобто сингулярність. Ця "границя часу" у принципі доступна спостереженням тому, що промені світла і будь-яка інформація надходить до нас з кінцевою швидкістю.

Питання 10. Чи означає існування космічної системи відліку і можливість виміру нашої швидкості щодо її порушення принципу відносності, відповідно до якого всі системи відліку еквівалентні, і рух і спокій - два рівноправних стани?

Відповідь. Точне формулювання принципу відносності говорить: за допомогою вимірів, виконаних усередині замкнутої лабораторії, неможливо з'ясувати, чи знаходиться лабораторія в стані чи спокою вона робить інерційний рух. Рух Землі щодо космічної системи відліку суперечило б принципу відносності тільки в тому випадку, якби цей рух впливав на фізичні явища усередині земних лабораторій, причому цей вплив не можна було б ніякими способами усунути. Виконано величезну кількість дослідів, які показали, що наш рух щодо фону реліктового випромінювання ніяк не впливає на експерименти, проведені "тут і зараз". Тому ніякого протиріччя з принципом відносності тут немає.

Питання 11. З принципу "чим далі в просторі - тим глибше в часі" випливає, що об'єкти на відстанях мільярди світлового років повинні систематично відрізнятися від близьких. Чи не суперечить цей висновок космологічному принципу, відповідно до якого властивості Всесвіт у всіх точках однакові?

Відповідь. Протиріччя тут немає. Точне формулювання космологічного принципу для Всесвіту, що розширюється, говорить: Всесвіт однорідний і ізотропний в кожен момент часу, що пройшов після Великого Вибуху. Але об'єкти, що спостерігаються нами на великих відстанях, ми бачимо такими, якими вони були мільярди років тому. Помітимо також, що обмеженість видимої частини Всесвіту також не суперечить висновку про її безмежність: обмежений не Всесвіт як такий, а тільки та частина його, звідкіля за час його існування встигли прийти до нас світлові сигнали.

Питання 12. Якщо Всесвіт замкнутий, то чи не могли б ми, хоча б у принципі, вилетівши з Землі на ракеті, летіти увесь час в одному напрямку і повернутися у вихідну точку, як учасники кругосвітньої експедиції Магеллана?

Відповідь. Якби швидкість ракети могла бути як завгодно велика ми могли б це зробити. Це можна пояснити тим, що гравітація у Всесвіті з $W > 1$ настільки сильна, що вона обов'язково викривить шлях будь-якого тіла так, що він замкнеться в коло. Радіус кола - це і є радіус кривизни простору замкнутого Всесвіту. Однак насправді є одне важливе обмеження - на жаль, рухатися зі швидкістю більше швидкості світла неможливо. Аналіз показує, що при русі з досвітовою чи навіть світловою

швидкістю в замкнутому Всесвіті з нульовою щільністю енергії вакууму мандрівники просто не встигнуть повернутися у вихідну точку: Всесвіт стиснеться раніше. А от якщо щільність енергії вакууму, тобто космологічна постійна, позитивна, то уповільнення розширення Всесвіту може перемінитися прискоренням і Всесвіт ніколи не стиснеться, навіть якщо він замкнутий. У цьому випадку описане вище кругосвітня подорож у принципі можлива. Нагадаємо, що в даний час найбільш ймовірною космологічною моделлю вважається саме модель з ненульовою позитивною щільністю вакууму і кривизною простору, приблизно рівної нулю. Але якщо сумарна щільність енергії речовини і вакууму лише ненабагато більше критичної, то відмінність геометрії Всесвіту від евклідової неможливо знайти при сьогоdnішньому рівні розвитку техніки.

Питання 13. У деяких науково-популярних журналах, газетах, на радіо і телебаченні зустрічається твердження, що у даний час від теорії Великого Вибуху відмовляється всі і більше і більше вчених. Це правда?

Відповідь. Журналісти, як завжди, помиляються. Судячи з публікацій наукових журналів, ця теорія продовжує залишатися кращою науковою теорією, що описує Всесвіт як єдине ціле. Її розділяють переважна більшість астрофізиків, що займаються вивченням галактик. Супротивники цієї теорії вкрай нечисленні. Зустрічаються навіть твердження, що теорія Всесвіту, що розширюється, установлена так само, як теорія кулястості Землі чи геліоцентрична система. Щоб не бути голослівними, приведемо основні аргументи на користь цієї теорії разом з можливими доказами проти неї.

1. За: Численні дані підтверджують справедливість космологічного принципу, що є фундаментом сучасної космології. Проти: Ряд астрофізиків, використовуючи деякі методи статистики, затверджують, що не існує верхньої межі скучування речовини у великих масштабах, Всесвіт улаштований ієрархічно, галактики утворюють системи більшого порядку, ті - ще більшого і т.д. Контрдовід: однак інші вчені заперечують надійність цих методик і не підтверджують висновок про ієрархічний Всесвіт. Найбільшим доказом, на який дотепер ніхто навіть не зазіхнув, на користь однорідності і ізотропії Всесвіту у великих масштабах є висока ступінь ізотропії фонового випромінювання в різних діапазонах довжин хвиль, особливо мікрохвильового (реліктового) випромінювання.

2. За: Виконується закон Хаббла, з якого випливає, що галактики розбігаються, Всесвіт розширюється і має кінцевий вік - близько 15 мільярдів років. Проти (1): Деякі дослідники затверджують, що за допомогою визначених методів виміру міжгалактичних відстаней їм довести справедливість іншого закону - залежність швидкості видалення від квадрата відстані до галактики. Контрдовід: На думку більшості астрономів, ці твердження - нонсенс. Величезна кількість спостережливих даних свідчить про справедливість закону Хаббла і на малих (по космологічних мірках), і на дуже великих відстанях. Про це багато говорилося вище. А що ж стосується опонентів, ті просто використовують помилкові методи виміру відстаней до галактик. От приклад. В.С. Троїцький, використовувачи як індикатор відстаней до галактики її яскравість, одержав вищезгаданий квадратичний закон. Але всі галактики мають різну світність, і щоб блиск

галактики використовувати як індикатор відстаней, потрібно брати тільки галактики з однієї і тією же світністю (різновид стандартних свіч), що і було зроблено дуже багатьма астрономами, особливо Аланом Сендиджем. При цьому виходить хаббловська, лінійна залежність між швидкістю і відстанню. Вище вже говорилося про те, що використання як стандартні свічі пульсуючий змінних зір-цефеїд і сверхнових типу Ia, також приводить до закону Хаббла.

Проти (2): Інші вчені, не відкидаючи закон Хаббла, у цілому, стверджують, що існують великі популяції позагалактичних об'єктів, для яких він свідомо несправедливий. Так, відомі астрономи Хелтон Арп, Джеффри Бербидж і ін. привели численні приклади того, як квазар з великим червоним зсувом z по сусідству на небі з галактикою з істотно меншим z , причому таких прикладів, на їхню думку, занадто багато, щоб можна пояснити чисто випадковими збігами. Дійсно, такі збіги існують, і вони дуже ефектні. Однак необхідно врахувати ефект гравітаційної лінзи: коли квазар випадково проектується на небо по сусідству з більш близькою галактикою, та спотворює його промені світла, у результаті чого блиск квазара трохи підсилюється. Оскільки більш яскраві квазари в середньому легше спостерігати, і виникає ілюзія, що квазари групуються разом з галактиками. До того ж у даний час є прямі докази, що квазари - це аномально активні ядра галактик, що знаходяться на таких відстанях, що впливають з їхніх червоних зсувів за законом Хаббла. Ці галактики, ядрами яких є квазари, важко знайти, оскільки їх світло "забивається" світлом більш яскравого квазара. Однак ці труднощі цілком переборні, і відомо дуже багато галактик, що оточують квазари.

3. За: Існує реліктове випромінювання - світіння Всесвіту у цілому, що має характер випромінювання абсолютно чорного тіла і майже однакові характеристики у всіх точках небозводу, що і передбачене теорією гарячого Всесвіту, який розширюється. Проти: Деякі астрономи вважають, що крім теорії гарячого Всесвіту, є й інші гіпотези, що пояснюють існування приблизно однорідного теплового фонового випромінювання в мікрохвильовому діапазоні. А саме, вони вважають, що це випромінювання є переробленим світлом зірок, тобто воно не має ніякого відношення до фізичних процесів у ранньому Всесвіті. Планківський характер цього випромінювання, відповідно до цієї гіпотези, розуміється таким, що міжгалактичний простір не цілком прозорий, заповнений пилом; зоряне світло, багаторазово розсіюється, поглинається і перевипромінюється міжгалактичним пилом, що і приводить до термалізації цього випромінювання. Контрдовід: Як показують виміри, зроблені із супутника COBI, спектр реліктового випромінювання взагалі не відхиляється від планковської кривої - спектра випромінювання абсолютно чорного тіла. У викладеній моделі це можна пояснити тільки в тому випадку, якщо постулювати дуже високу концентрацію пилу у міжгалактичному просторі. Але тоді цей пил приводив би до визначених перекручувань спектра далеких радіогалактик, що насправді не спостерігаються. Тому теорія гарячого Всесвіту є єдиним розумним поясненням чорнотільного характеру реліктового випромінювання.

4. За: Відкриті в 1992 році слабкі відхилення від однорідності та ізотропії реліктового випромінювання підтверджують сучасні представлення про формування галактик і їх систем як наслідку гравітаційної нестійкості в

процесі розширення Всесвіту. Властивості цих неоднорідностей відповідають передбачуванню теорії утворення великомасштабної структури Всесвіту, заснованої на теорії Великого Вибуху.

5. За: Теорія Великого Вибуху блискуче пояснює високий зміст гелію й інших хімічних елементів у зірках і міжзоряному середовищі.

6. За: Всесвіт на великих відстанях і, отже, у минулому, була інший, ніж у даний час. Свідченням цього є: галактики з великими червоними зсувами, що є молодими; квазари які існують при великих і відсутні при малих червоних зсувах; властивості дифузійного газу на великих z , - показують, що газ у середньому у Всесвіті поступово збагачувався важкими елементами, причому чим більше червоний зсув - тим велика частка речовини була зосереджений у газі.

Додамо сюди також два найважливіших докази загальнофізичного характеру:

1. Сам факт необоротності еволюції матерії суперечить представленню про статичний, незмінний Всесвіт.

2. Усі тіла в природі взаємодіють за допомогою сили всесвітнього тяжіння, що змушує Всесвіт еволюціонувати - стискуватися чи розширюватися, у залежності від початкових умов. Як показує досвід історії, іноді буває так, що навіть самі правдоподібні теорії падають під впливом нових фактів. Не виключено, що коли-небудь така участь чекає теорію Великого Вибуху. Однак у даний час ця теорія успішно пояснює всю сукупність спостережливих фактів, що відносяться до космології і є таким чином найкращою сучасною космологічною теорією. Критика деяких нестандартних космологічних теорій міститься в наступних статтях: E.L.Wright, Errors in some popular attacks on the Big Bang C.Hillman, Refutations of Some Incorrect/Erroneous/Vacuous Claims about Cosmology and Relativity

Питання 14. Відповідно до другого початку термодинаміки, ентропія замкнених систем росте, тобто з часом у Всесвіті збільшується безладдя, усі структури поступово руйнуються, у світі виникає усе більше і більше хаосу. Але в теорії Всесвіту, що розширюється, передбачається, що в космологічних масштабах структура навпаки мимовільно виникає. Це схоже на те, як якби з купи будівельного матеріалу сам виник будинок. Отже, чи несуперечить ця теорія надійно перевіреному закону природи - другому началу?

Відповідь. У дійсності, теорія утворення космічних об'єктів (зірок, галактик, великомасштабної структури Всесвіту) анітрошки не суперечить другому началу. Хоча в наших, земних умовах ріст ентропії (міри безладдя) супроводжується розмиванням усілякої структури, у космічних умовах ріст ентропії, навпаки, приводить до усе більшого структурування Всесвіту. Причиною такого дивного поведіння ентропії в космічних масштабах є гравітація, який у лабораторних умовах (при аналізі дифузії, теплопередачі і т.п.) цілком можна зневажити через її відносну слабкість. У космосі ж масштаби мас, що приймають участь в еволюційних процесах, настільки великі, що саме гравітація відіграє роль "першої скрипки". Як показується у всіх університетських курсах молекулярної фізики, ентропія пропорційна логарифму статистичної ваги W - кількості способів, за допомогою яких можна реалізувати макростан, що характеризується визначеними значеннями макропараметрів - температури, обсягу, тиску і т.д. Величина W тим менша, чим

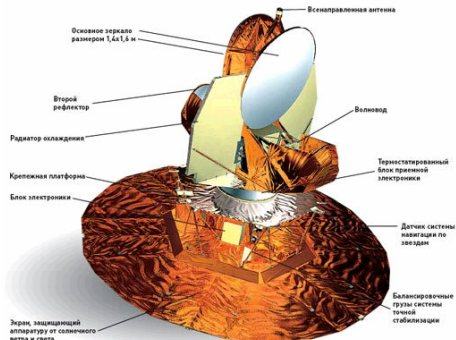
менший об'єм системи. Наприклад, газ, поміщений у "земну" посудину, не може мимовільно стискуватися, оскільки в ході цього процесу його ентропія зменшилася б, що суперечить другому початку термодинаміки. Однак статистична вага також пропорційна температурі газу: чим більша температура газу, тим більші значні хаотичні рухи складових його часток. Так, при стиску газу під дією власної сили ваги (нагадаємо, саме так утворюються небесні об'єкти) його температура росте (оскільки чим менший обсяг газу, тим більше сила тяжіння, що змушує його стискуватися, тим більше повинно бути тиск, що перешкоджає цьому стиску, і, отже, тим більше температура), причому як показують розрахунки, ріст "температурного співмножника" в ентропії з лишком компенсує зменшення "об'ємного співмножника" у ході стиску, так що в цілому ентропія росте. Гравітаційна нестійкість аж ніяк не суперечить росту ентропії, більш того, вона впливає з нього.

Питання 15. Що таке "теплова смерть Всесвіту"? Чи настане вона коли-небудь?

Відповідь. Це питання тісно зв'язане з попереднім. Гіпотеза "теплової смерті Всесвіту" була висловлена Рудольфом Клаузиусом, одним з першовідкривачів другого початку термодинаміки. В одній з формулювань другого початку, даної Клаузиусом, "енергія світу постійна, ентропія світу прагне до максимуму". Стан максимальної ентропії - це і є тепла (термодинамічне) рівновага, при якому, зокрема, температури всіх частин системи однакові. Але наш Всесвіт не такий, у ній є холодні планети і гарячі зірки. Значить, ще має бути стан, при якому всі температурні контрасти вирівнюються. Цей стан і називається "тепловою смертю" Всесвіту. Раз Всесвіт дотепер не прийшов у цей стан, він відносно молодий. Із сучасної точки зору, по-перше, Всесвіт і справді має кінцевий вік. Так що, можна сказати, цей парадокс утратив свою гостроту. По-друге, формулювання Клаузиуса в застосуванні до Всесвіту (і взагалі до гравітуючих систем) не цілком точне: ентропія Всесвіт росте, але не прагне до максимуму, оскільки для Всесвіту в цілому немає максимуму ентропії (уперше довів Толмен у 30-х роках ХХ ст.)! Це можна побачити з тих же самих розумінь, що були використані при відповіді на попередній питання: через дію гравітації у Всесвіті постійно розвивається структура, у ході цього процесу постійно росте ентропія, і немає нічого, що могло б його зупинити. По-третє, у далекому майбутньому Всесвіт, очевидно, прийде в стан, що практично невідрізняється від "теплової смерті". Причина цього полягає в тім, що матерія нестабільна, усе піддано радіоактивному розпаду, навіть протон, і той розпадається з періодом напіврозпаду більш 10^{32} років. Море електронів, позитронів і фотонів - от що очікує нас у далекому майбутньому. Утім, уже не нас...

1.12 Проект вивчення реліктового випромінювання WMA.

Нові дані від зонда NASA, нині називаного WMAP, що "підвішений" у точці Лагранжа, (утвореної гравітаційною взаємодією Сонця і Землі), на відстані 1,5 млн км від нашої планети, забезпечили космологів безцінною інформацією, що дозволяє намалювати реальну картину раннього етапу в розвитку Всесвіту. Довгоочікувані зображення, свідчать на користь інфляційної теорії, відповідно до якої Всесвіт здійснив величезний стрибок росту незабаром після Великого вибуху. Скоріше,



мова йде навіть про "гіперінфляцію", що панувала в нашому світі протягом перших секунд його життя. Крім того, визначений вік Всесвіту з безпрецедентною точністю. Він складає 13,7 млрд років плюс-мінус 200 млн років. Таким чином, можлива помилка - не більше одного відсотка.

Отримана "картинка" фактично являє собою знімок післясвітіння Великого вибуху, утворений кутовим розподілом температури космічного мікрохвильового фону, (який був відкритий у 1965 році, але тоді вважався ізотропним). Фотони, випущені після 380 тис. років після Великого вибуху, (коли Всесвіт при розширенні остигнув так, щоб дозволити сформуватися атомам з окремих заряджених часток), що реєструють сьогодні як космічний мікрохвильовий фон, провели в дорозі більше 13 млрд років, перш ніж досягли приладів; вони встигли за цей час "охолоннути" до температури в 2,7251 - 2,7249 градусів Кельвіна. "Зародки" майбутніх галактик - ділянки з більшою щільністю, що виникли в майже однорідному ранньому Всесвіті, - були "вморожені" у це випромінювання і видають себе тільки мікроскопічними флуктуаціями в реліктовому фоні. "Експонувати" цю "картинку" космічному апарату довелось дуже тривалий час - 12 місяців.

Вчені поки не здатні безпосередньо спостерігати процеси, що протікали 380 тис років після Великого вибуху, але вони так представляють цю картину. Вузли матерії були зв'язані довгими нитками, нагадуючи, таким чином, павутину. Скупчення водню були подібні краплям на цій павутині. У кожній краплі була деяка випадкова варіація гравітації і швидкості розширення, і в кінцевому рахунку вони були стягнуті до вузлів, де речовина зібралася, щоб породити перші галактики.

Найбільший подив учені випробували, коли при аналізі даних з'ясувалося, що перша генерація зірок з'явилася лише 200 млн років після народження Всесвіту - набагато раніш, ніж передбачалося. Зате підтримку одержали не тільки теорії інфляції і Великого вибуху, але і нові погляди на Всесвіт. Команда WMAP приводить такі дані: 4 % - атоми звичайної речовини, 23 % відноситься до невідомого типу темної матерії, а 73 % - це ще більш таємнича темна енергія (dark energy), що діє як свого роду антигравітація і заставляє галактики розлітатися прискореним темпом.

Спочатку проект називався просто **MAP** (Microwave Anisotropy Probe - зонд для дослідження мікрохвильової анізотропії), сам апарат був запущений 30 червня 2001 року з американського космодрому на мисі Канаверал. Його попередником був супутник COBE (Cosmic Background Explorer - дослідник космічного фону), у 1992 році отримали чудову картину варіацій реліктового випромінювання. Але дані про розподіл мікрохвильового фону **MAP** у 35 разів більш детальна. Крім того, підвищилася і чутливість приладів. **MAP** може розрізнити різницю температур у мільйонні частки градуса.

Оголошено, що зонд **MAP** відтепер буде називатися **WMAP** (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) - на честь фізика Девіда Вилкайнсона (David Wilkinson), що працював над цим проектом і вмер у вересні минулого року. Передбачається, що **WMAP** проработить ще принаймні три роки, продовжуючи вивчати розподіл космічного мікрохвильового фону, і ці дані дозволять розширити наші знання про природу темної енергії і приведуть до нового розуміння теорії інфляції.

Втім, Пауль Стейнхардт (Paul Steinhardt), фізик із Принстона, що не приймав участі в проекті **WMAP**, але ознайомився з результатами, вважає, що вони не виключають і так звану циклічну модель розвитку Всесвіту, що конкурує з інфляційною. З циклічної моделі випливає, що розширення Всесвіту є періодичним процесом. Обидві моделі прогнозують фактично ті ж самі температурні коливання, про які повідомляє **WMAP**. Інфляційна модель прогнозує, що в реліктовому фоні повинний відбитися момент генерації так званих гравітаційних хвиль, чого не відбувається в циклічній моделі, але, на жаль, дані **WMAP** ще не досить точні для того, щоб розв'язати це питання, залишається чекати нових експериментів на чи супутниках за допомогою інших методів. Здавалося малоімовірним, що луна подій, що відбувалися в перші мілісекунди народження Всесвіту, може дійти до нас. Однак це виявилось можливим.

Космологія, будівля Всесвіту, минуле, сьогодення і майбутнє нашого світу - ці питання завжди займали кращі розуми людства. І укладачі Старого Завіту, і древні філософи з різних куточків світу пропонували свої, часом еволюційні, варіанти космології, засновані на тимчасовій шкалі, і описували деяку послідовність подій в образах свого часу. Представлення наших предків не так вже кардинально відрізняються від сучасних моделей, що спираються на дані сучасної спостережливої астрономії, у першу чергу неземної.

Для подальшого розвитку космології, та й науки в цілому, украй важливе розуміння Всесвіту як єдиного цілого. Особливу роль відіграє експериментальна перевірка абстрактних побудов, підтвердження їх спостережними даними, осмислення і зіставлення результатів досліджень, адекватна оцінка тих чи інших теорій. Зараз ми знаходимося на середині шляху, що веде від рішення рівнянь Ейнштейна до пізнання таємниці народження і життя Всесвіту.

Розглядаючи теорію Великого вибуху, дослідники зіштовхувалися з проблемами, що раніше сприймалися як метафізичні. Однак питання незмінно виникали і вимагали відповідей.

Що було тоді, коли нічого не було? Якщо Всесвіт народився із сингулярності, виходить, колись її не існувало. У "Теоретичній фізиці" Ландау і Лівшиця сказано, що рішення рівнянь Ейнштейна не можна продовжити в область негативного часу, і тому в рамках загальної теорії відносності питання "Що було до народження Всесвіту?" не має змісту.

Чому Всесвіт однорідний? Насправді це не зовсім так. Існують галактики, зірки й інші неоднорідності. Якщо подивитися на ту частину Всесвіту, що знаходиться в межах видимості сучасних телескопів, і проаналізувати середню щільність розподілу речовини в космічних масштабах, виявиться, що вона однакова у всіх напрямках з точністю до 10^{-5} . Чому ж Всесвіт скрізь однорідний? Сумніви виникали завжди, і чим більше вчені дізнавалися про будівлю й історію існування нашого світу, тим більше питань залишалося без відповідей. Однак люди намагалися про їх не думати, сприймаючи великий однорідний Всесвіт і непересічні рівнобіжні лінії як даність, що не підлягає обговоренню. Проблема реліктових монополів стала останньою краплею, що змусила фізиків переглянути відношення до теорії раннього Всесвіту.

Розробка інфляційних сценаріїв у космології завершилася, за словами одного з авторів А. Д. Лінді, створенням теорії хаотичної інфляції. У його сценарії становлення Всесвіту описується як випадковий наслідок хаотичного "кипіння" просторово-часової квантової піни. Процес народження всесвітів у такій піні не тільки випадковий і хаотичний, але і нескінченний: одні всесвіти, народжуючись, відразу колапсують, інші ростуть, залишаючись мертвими, треті позбавлені часу і розвитку, а четверті заповнюються галактиками, зірками, планетами і стають подібні нашому Всесвіту.

Перегляд теорії раннього Всесвіту.

Одна з проблем із якою зіштовхується традиційна теорія **Великого вибуху**, - необхідність пояснити, відкідля взялася колосальна кількість енергії, що потрібна для народження часток. На цей і ряд інших питань спробували відповісти автори теорій Всесвіту, що роздувається.

Інфляційна теорія. У 1980 р. співробітник Массачусетського технологічного інституту Алан Гус (Alan Guth) у статті " Всесвіт, що роздувається: можливе рішення проблеми обрїю і площинності" виклав цікавий сценарій Всесвіту, що роздувається. Основною його відмінністю від традиційної теорії Великого вибуху став опис народження світобудови в період з 10^{-35} до 10^{-32} с. Гус припустив, що швидкість розширення Всесвіт була висока протягом більш тривалого часу, ніж передбачалося раніше. Приблизно через 10^{-35} сек. Всесвіт перейшов у стан псевдовакуума, при якому його енергія винятково велика. Тому розширення (роздування) відбувалося швидше, ніж по теорії Великого вибуху. Через 10^{-35} сек. після народження світу не було нічого, крім чорних міні-дір і "обривків" простору. При різкому роздуванні ділянки "піни" перетворилися в

окремі всесвіти. Деякі з них, можливо, виявилися вкладеними друг у друга. Отже, може існувати безліч всесвітів, недоступних для нашого спостереження.

Інфляційна теорія була заснована на так називаній теорії фазових переходів у ранньому Всесвіті. На відміну від Стробинського, Гус придумав деякий механізм і постарався за допомогою одного простого принципу пояснити, чому Всесвіт велика, плоска, однорідна, ізотропна, а також чому монополів немає. Модель такого рішення не давала. Так само важко було пояснити, чому, почавши, роздування зрештою припиняється. Незважаючи на ряд протиріч і труднощів, модель Гуса стала значним досягненням космології і стимулювала розробку нових сценаріїв Всесвіту, що роздувається.

Нова інфляційна теорія. У середині 1981 р. Лінді запропонував перший варіант нового сценарію Всесвіту, що роздувається, що ґрунтується на більш детальному аналізі фазових переходів у моделі Великого об'єднання. Він прийшов до висновку, що експонентне розширення не закінчується утворенням пухирців, а інфляція може йти не тільки до фазового переходу з утворенням пухирців, але і після, вже усередині них. (У рамках цього сценарію частина Всесвіту, що спостерігається, міститься усередині одного пухирця.)

У новому сценарії Лінді показав, що розігрівши після роздування відбувається за рахунок народження часток. Таким чином, зіткнення стінок пухирців, що породжують неоднорідності, стали не потрібні, і тим самим була вирішена проблема великомасштабної однорідності і ізотропності Всесвіту. Новий сценарій містив два ключових моменти: по-перше, процес порушення симетрії повинний йти спочатку повільно, щоб забезпечувалося роздування усередині пухирця; по-друге, на більш пізніх стадіях повинні відбуватися процеси, що забезпечують розігрів Всесвіту після фазового переходу. Через рік дослідник переглянув свій підхід, запропонований у новій інфляційній теорії, і прийшов до висновку, що фазові переходи не потрібні, так само як переохолодження і вакуум, з якого починав Алан Гус. Необхідно було знайти новий спосіб рішення проблеми. Тоді була висунута теорія хаотичної інфляції.

Хаотична інфляція. Ідея, що лежить в основі теорії хаотичної інфляції Лінді, дуже проста. Існують поля - електромагнітне, електричне, магнітне, гравітаційне, але може бути принаймні ще одне - скалярне, котре нікуди не спрямовано, являє собою просто функцію координат.

Вважається, що без полів такого типу дуже важко створити реалістичну теорію елементарних часток. В останні роки були виявлені практично всі частки, передбачені теорією електрослабких взаємодій, крім скалярної. У рамках земної експериментальної фізики підтвердження інфляційної теорії поки залишається задачею без розв'язку. Однак, вже активно ведеться пошук скалярних часток, для чого в CERN (Європейська лабораторія фізики елементарних часток) побудований величезний прискорювач, їхнє виявлення представляє чисто технічну проблему.

Модель Гуса використовує представлення про "помилковий" вакуум, з якого почалася інфляція Всесвіту. Він відрізняється від "дійсного", (тобто від стану із самою щільністю енергії) тим, що може мати величезну енергію. Порушення

принципу енергодомінантності, характерне для вакууму, наділяє його негативним тиском, що приводить до гравітаційного відштовхування, а це забезпечує роздування Всесвіту. При розширенні помилкового вакууму його повна енергія не зменшується, а росте.

Якщо імовірність утворення пухирців дуже мала, то до їхнього виникнення Всесвіт швидко розширюється і стає великий і однорідною.

У цілому "помилковий" вакуум - симетричне, але енергетично не вигідний, нестабільний стан, тобто він прагне до розпаду. Квантовий розпад вакууму і знаменує собою кінець фазового переходу і припинення інфляції. Нова фаза являє собою "цирий" вакуум, для якого виконується умова енергодомінантності.

Всередині кожного пухирця нової фази, Всесвіт переходить у владу гравітаційного притягання, і експонентне розширення закінчується. Завдяки первісному імпульсу, придбаному в період інфляції, він продовжує розширюватися, але швидкість з часом зменшується, як у теорії гарячого Всесвіту.

Перехід зі стадії інфляції на стадію, описувану теорією гарячого Всесвіту, представляє основні труднощі для моделі Гуса. Справа в тім, що для того, щоб енергія, виділена при фазовому переході, перейшла в теплову енергію Всесвіту, необхідне зіткнення стінок величезних пухирців при досить великій щільності. Це суперечить малій швидкості їхнього утворення, необхідної для уповільнення фазового переходу, і отже, для значного роздування Всесвіту. Крім того, зіткнення пухирців повинні приводити до порушення однорідності і ізотропності Всесвіту після роздування, що суперечить поставленій задачі.

Скалярне поле. Скалярне поле було присутнє практично у всіх інфляційних сценаріях. Гус запропонував використовувати потенціал, що виглядав дуже своєобразно. Новій інфляційній теорії Лінді був потрібний потенціал, якому відповідає майже плоска вершина, але пізніше виявилось, що досить узяти звичайну параболу, і усі спрацьовує.

$$V(\varphi) = m^2 \varphi^2 / 2.$$

Розглянемо найпростіше скалярне поле щільність потенційної енергії якого пропорційна квадрату величини, тому енергія маятника пропорційна квадрату відхилення відхилення від положення рівноваги:

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \sqrt{\frac{8\pi}{G}} m \varphi$$

Маленьке поле нічого не буде знати про Всесвіт і стане коливатися поблизу свого мінімуму. Однак якщо поле буде досить велике, то воно буде скачуватися вниз дуже повільно, розганяючи Всесвіт за рахунок своєї енергії. У свою чергу, швидкість руху Всесвіту (а не які-небудь частки) буде загальмовувати падіння скалярного поля.

$$\ddot{\varphi} + 3H\dot{\varphi} = -m^2\varphi.$$

Таким чином, велике скалярне поле приводить до великої швидкості розширення Всесвіту. Велика швидкість розширення Всесвіту заважає полю спадати і тим самим не дає щільності потенційної енергії зменшуватися. А велика щільність енергії продовжує розганяти Всесвіт з усе більшою швидкістю. Цей режим, що самопідтримується, і приводить до інфляції, експоненціально швидкому роздуванню Всесвіту.

Щоб пояснити цей дивний ефект, необхідно спільно вирішити рівняння Ейнштейна для масштабного фактора Всесвіту:

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \sqrt{\frac{8\pi}{G}} m\varphi$$

і рівняння руху для скалярного поля:

$$\ddot{\varphi} + 3H\dot{\varphi} = -m^2\varphi.$$

Тут H - постійна Хаббла, пропорційна щільності енергії скалярного поля чи маси m , G - гравітаційна постійна..

Дослідники уже розглядали, як скалярне поле буде поводитися в околицях чорної діри і під час колапсу Всесвіт. Але чомусь одне просте рішення не було знайдено. А впливало лише грамотно написати рівняння для скалярного поля, що у стандартному варіанті (то без обліку розширення Всесвіт) виглядало як рівняння для маятника:

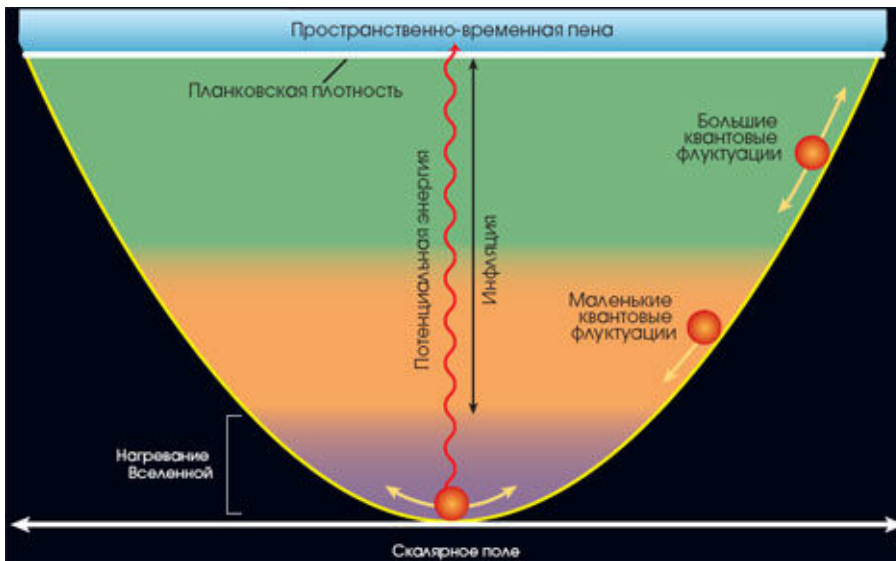
$$\ddot{\varphi} = -m^2\varphi.$$

Але втрутився деякий додатковий член - сила тертя, що був зв'язаний з геометрією; його спочатку ніхто не враховував. Він являє собою добуток постійної Хаббла на швидкість руху поля.

Принцип маятника. Представимо, що споконвічно у Всесвіті існувало однорідне скалярне поле. Якщо скалярне поле дорівнює нулю, то енергії ні, і воно буде знаходитися в статичному стані. Якщо поле не дорівнює нулю, воно почне котитися вниз, прагнучи до мінімуму і поступово змінюючи амплітуду. Якщо в загальному обсязі простору воно характеризувалося цифрою 100, то потім стало 50, потім 30 і так до нуля.

Скалярне поле подібне маятнику, що хоче упасти

в мінімум, але промахується і починає коливатися. (У найпростішому випадку енергія пропорційна квадрату відхилення.) У звичайній рідині коливання маятника стануть загасаючими, а в дуже вязкій рідині він буде повільно рухатися вниз. Виявилось, що ця проста ідея має



безпосереднє відношення до розширення Всесвіту.

Вічний і нескінченний Всесвіт

Розглянемо малюнок. В області, де скалярне поле мале, воно коливається, і Всесвіт не розширюється по експоненті. В області, де поле велике, воно повільно спадає, і на ньому виникають маленькі флуктуації. У цей час відбувається експонентне розширення і йде процес інфляції. Якби скалярне поле було ще більше (на графіку відзначено блакитним кольором), то за рахунок величезного тертя воно б майже не зменшувалося, квантові флуктуації були б величезні, і Всесвіт міг стати фрактальним.

Представимо, що Всесвіт швидко розширюється, а в якомсь місці скалярне поле, замість того щоб котитися до мінімуму енергії, через квантові флуктуації підскакує нагору (див. вище). У тім місці, де поле підскочило, Всесвіт розширюється по експоненті швидше. Низькоросташоване поле навряд чи підскочить, але чим вище воно буде знаходитися, тим більше імовірність такого розвитку подій, а виходить, і експоненціально більшого обсягу нової області. Інфляційна теорія дає нам єдине відоме зараз пояснення однорідності частини Всесвіту, що спостерігається. Парадоксальним чином ця ж теорія передбачає, що в гранично великих масштабах наш Всесвіт абсолютно неоднорідний і виглядає як величезний фрактал.

На малюнку схематично показано, як одна область Всесвіту, що роздувається, породжує всі нові і нові її частини (у цьому змісті вона стає вічної і що самовідновлюється). Властивості простору-часу і закони взаємодії елементарних часток один з одним у різних областях Всесвіту можуть бути різні, так само як і розмірності простору, і типи вакууму.

Цей факт заслуговує більш детального пояснення. Відповідно до найпростішої теорії, з одним мінімумом потенційної енергії скалярне поле падає вниз до цього мінімуму. Однак більш реалістичні версії допускають безліч мінімумів з різною фізикою, що нагадує воду, що може знаходитися в різних

станах: рідкому, газоподібному і твердому. Різні частини Всесвіту також можуть перебувати в різних фазових станах; це можливо в інфляційній теорії навіть без обліку квантових флуктуацій.

Коли постійна Хаббла була великий, тертя теж було велике, і скалярне поле спадало повільно. Поле зменшилося, постійна Хаббла теж зменшилася, тертя стало маленьким, і поле почало коливатися, породжуючи елементарні частки. Ці частки зіштовхувалися, обмінювалися енергією і поступово прийшли в стан термодинамічної рівноваги. У результаті Всесвіт став гарячим. Раніш вважалося, що він була гарячим із самого початку. До цього висновку приходили, вивчаючи мікрохвильове випромінювання, що інтерпретували як наслідок Великого вибуху і наступного остигання. Потім стали думати, що спочатку Всесвіт був гарячим, потім відбулася інфляція, і після її Всесвіт знову став гарячим. Однак, у теорії хаотичної інфляції перша гаряча стадія виявилася непотрібною.

Експонентне розширення. Представимо, що Всесвіт був маленька, як кулька. По теорії **Великого вибуху**, вона виростала до великих розмірів. А відповідно до інфляційної теорії, малюсінька кулька в результаті експонентного вибуху за дуже короткий час стала великою. Знаходячись на ній, спостерігач побачив би плоску поверхню.

Уявимо собі Гімалаї, де існує безліч різних уступів, ущелин, прірв, балок, кам'яних брил, тобто неоднородностей. Але раптом хтось чи щось зовсім неймовірним чином збільшив гори до гігантських розмірів або ми зменшилися, як Аліса в Країні чудес. Тоді, знаходячись на вершині Евереста, ми побачимо, що вона зовсім плоска - її як би розтягли, і неоднорідності перестали мати якесь значення. Гори залишилися, але, щоб піднятися хоча б на один метр, потрібно піти неймовірно далеко. Таким чином, може бути вирішена проблема однорідності. Цим же пояснюється, чому Всесвіт плоский, чому рівнобіжні лінії не перетинаються і чому не існують монополі? Рівнобіжні лінії можуть перетинатися, і монополі можуть існувати, але тільки так далеко від нас, що ми не можемо цього побачити.

Наступним кроком, заснованим на вивченні квантових флуктуацій, є сценарій Всесвіту, що самовідновлюється. У цій моделі враховується процес постійного відтворення областей, що роздуваються, що перебирають різні можливості і розмірності. Так Всесвіт стає вічним і нескінченним. Весь Всесвіт ніколи не сколлапсує. Однак це не означає, що відсутня сингулярність. Навпаки, значна частина фізичного обсягу Всесвіту весь час знаходиться в стані близькому до сингулярного. Але тому, що різні обсяги проходять його в різний час, єдиного кінця простору-часу, після якого всі області зникають, не існує. І тоді питання про множинність світів у часі й у просторі здобуває зовсім інше звучання: Всесвіт може самовідтворюватися нескінченно у всіх своїх можливих станах.

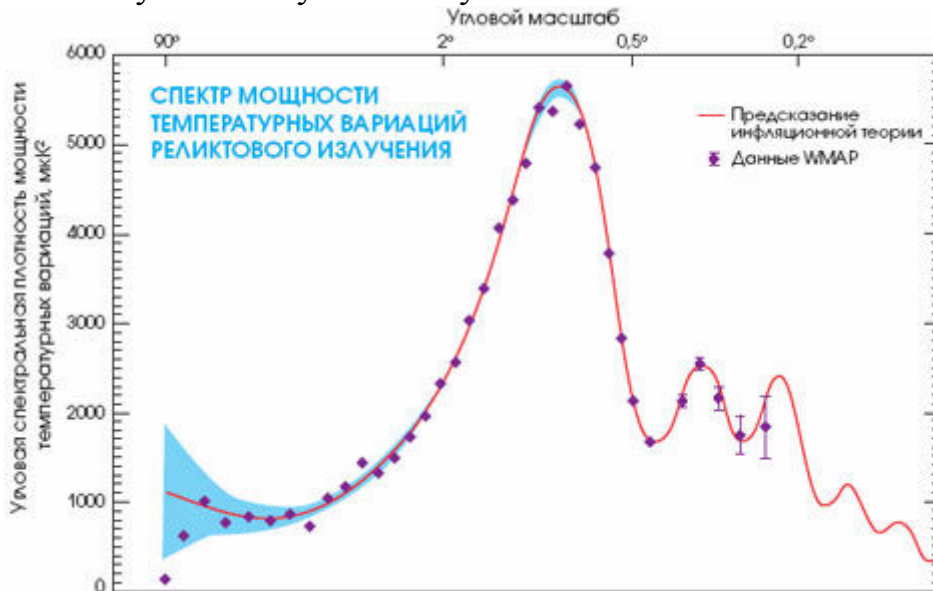
Структура випромінювання. Досліджувати анізотропію реліктового випромінювання вченим допомагають сучасні штучні супутники Землі. Самі цінні дані вдалося одержати за допомогою космічного зонда **WMAP** (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), названого так на честь астрофізика Девіда

Уилкинсона (David Wilkinson). Здатність, що дозволяє, його апаратури в 30 разів більше, ніж у його попередника - космічного апарата COBE.

Раніше вважалося, що температура неба дорівнює 2,7 К, однак WMAP зміг вимірити її з точністю до 10^{-5} К. Згідно з даними, отриманим за перший рік спостережень, небо виявилось неоднорідним: десь гаряче, а десь холодніше. Але поки телескопи не зафіксували його плямистість, спостерігалось тільки триградусне випромінювання, що служило наймогутнішим доказом гарячого Всесвіту. Тепер же з'ясувалося, що теорії гарячого Всесвіту не вистачає.

Вдалося одержати фотографії роздутих квантових флуктуацій, що з'явилися після 10^{-30} с. з після створення світу і збереглися до наших днів. Дослідники не тільки знайшли плямистість неба, але і вивчили спектр плям, тобто інтенсивність сигналу на різних кутових напрямках.

Результати проведених за допомогою WMAP високоточних вимірів поляризації випромінювання підтвердили теорію розширення Всесвіту і дозволили установити, коли відбулася іонізація міжгалактичного газу. Отримана із супутника інформація підтвердила положення інфляційної теорії про те, що ми живемо у великому плоскому Всесвіті.



На малюнку (угорі) червоною лінією показане пророкування інфляційної теорії, а чорні крапки відповідають експериментальним даної WMAP. Якби Всесвіт не був плоскою, то пік графіка знаходився б правішеє чи лішеє.

У рамках експерименту, проведеного за допомогою WMAP, складається карта поляризації реліктового випромінювання, що відповідно до гіпотези, теж повинна бути плямистої. Передбачається, що існує кореляція між температурою і поляризацією. Однак підтвердити чи спростувати це зможуть тільки результати другого року роботи.

Те ж саме було б і зі скалярним полем. Але поки поле залишалось дуже великим, воно саме себе підтримувало. З'явилася серія статей, присвячена результатам трьох років спостережень космічного мікрохвильового тла на супутнику WMAP. У цілому, підтверджені попередні результати, отримані на цьому апараті. Уточнено основні космологічні параметри. З нових результатів головне те, що удалося одержати дані по поляризації реліктового

випромінювання, а також уточнити час епохи реіонізації. Воно відповідає червоному зсуву $z = 10$, що менше оцінки, отриманої три роки тому.

Зараз ми бачимо сильно почервонілі за рахунок космологічного розширення фотони, що були випущені в той момент. Тоді температура дорівнювала декільком тисячам градусів. Зараз же температура реліктового випромінювання складає менш 3 градусів по шкалі Кельвіна, - відповідає тому, що Всесвіт розтягся більш ніж у 1000 разів (тобто червоний зсув для реліктового випромінювання небагато перевершує 1000, коефіцієнт розтягання дорівнює $z + 1$, де z — червоний зсув). Температура космічного мікрохвильового випромінювання розподілена по небу неоднорідно (на малюнку сині області відповідають температурі нижче середньої, а червоні — вище середньої). По цим «шорсткостях» можна одержати найважливіші дані про наші Всесвіт: які внески темної енергії, темної і звичайної баріонної речовини в загальну щільність Всесвіту, чому дорівнює постійна Хаббла, який був спектр початкових неоднородностей, з яких потім сформувалися всі структури, і т.д. Тому астрономи створюють усі нові і нові прилади для уточнення старих даних і одержання нових.

Щоб одержати повну карту реліктового випромінювання необхідно проводити спостереження з космосу. На початку 90-х років літало вже два спеціалізованих супутники: російський «Прогноз-9» (експеримент «Релікт», 1983-84 р.) і американський COBE (Cosmic Background Explorer, 1989-93 р.). Крім того, існує безліч більш дешевих наземних (чи балонних, тобто експериментів, що запускаються на повітряних кулях), що спостерігають лише «куточок неба», а не всю небесну сферу. На сьогоднішній день саме супутник WMAP є найсучаснішим, найефективнішим - саме його результати особливо важливі для космології.

Легко порахувати, що три роки роботи WMAP закінчилися не сьогодні. Досить довго (довше, ніж очікувалося) йшла обробка нових даних. Справа в тім, що виділити крихітні «шорсткості» на рівні приблизно 0,001%, дуже важко. Адже в мікрохвильовому діапазоні є не тільки реліктове випромінювання. У першу чергу «заважає» наша Галактика (є багато джерел, що випускають мікрохвильове випромінювання). Потім треба відняти внесок «зайвих» позагалактичних джерел. І тільки після такого «просівання» можна одержати золоті крупички даних про ранній Всесвіт.

Що ми маємо? Самий головний висновок: сенсації не відбулося. Уточнено значення параметрів Стандартної моделі. Зменшилися невизначеності і помилки. (Відзначу, однак, що в космології, і не тільки, набір параметрів є в деякому змісті модельно залежним — тобто спочатку ви вибираєте модель, а потім у її рамках визначаєте параметри. Зрозуміло, дані дозволяють оцінити і придатність моделі.) Підтверджено, що частка баріонної речовини у Всесвіті складає близько 4%. Постійна Хаббла дорівнює приблизно 73 км/с/Мпк.

Одне з важливих уточнень зв'язане з тим, що епоха реіонізації наблизилася до нас. Початкова невизначеність у червоному зсуві, що відповідає цій епосі

($z = 10-30$), звелася до z порядку 10. Тепер пояснити реіонізацію набагато простіше тому, що утворитися достатній кількості джерел на великих z досить важко, а на $z = 10$ уже явно повинні бути перші зірки і квазари.

Головне: отримані дані по поляризації реліктового випромінювання (на малюнку білі лінії відповідають даним по поляризації). Неполаризоване світло характеризується тим, що напрямку векторів, наприклад, електричного поля електромагнітних хвиль змінюються хаотично (мова йде про потік випромінювання, що складає з великого числа хвиль; строго монохроматичне випромінювання завжди поляризоване). Говорять про два типи поляризації: лінійна і кругова. У першому випадку вектор, наприклад, електричного поля зберігає свою орієнтацію в просторі. В другому, він обертається навколо напрямку поширення хвилі з кутовою швидкістю, рівній частоті хвилі.

Поляризація реліктового випромінювання була передбачена Мартіном Рисом (Martin Rees) незабаром після відкриття самого випромінювання, наприкінці 60-х років. Приємно відзначити, що ключовою роботою по цій тематиці стала стаття радянських учених Баско і Полнарева, опублікована в 1980 році. Уперше про спостереження поляризації реліктового випромінювання заявила кілька років назад група з Чикаго.

Чому ж виникає поляризація релікта? Якби світло просто «відокремилася від речовини» під час відсутності анізотропії, то споконвічно неполаризоване випромінювання таким би і залишилося. Не так відбувається, якщо є збурювання щільності, швидкості речовини і метрики. Аналіз дозволяє виділити внесок різних ефектів у поляризацію, що спостерігається. (Російською мовою про цьому можна докладно почитати в книзі П. Насельского й ін. «Реліктове випромінювання Всесвіту», а більш коротко і популярно — у книзі М. Сажина «Сучасна космологія в короткому викладі». Важливо, що за даними про поляризацію можна розділити внесок первинних збурювань густини речовини і первинних гравітаційних хвиль.

Вивчення поляризації космічного фонового випромінювання дозволяє, зокрема, зробити важливі обмеження на інфляційні моделі. Справа в тім, що поляризація релікта дозволяє оцінити внесок гравітаційних хвиль, що були в дуже ранньому Всесвіті. У різних інфляційних моделях цей внесок різний. Дані трьох років роботи WMAP верхню межу щільності гравітаційних хвиль. Деякі теорії пророкували більший внесок реліктових гравітаційних хвиль, ніж наявна верхня межа. Проте до остаточного вибору теорії (та й узагалі, до остаточного підтвердження існування стадії чи інфляції, навпаки, її «закриття») ще далеко. Щось додадуть подальші спостереження на WMAP, щось — експерименти на повітряних кулях чи наземні спостереження. Але істотний прорив очікується тільки з запуском супутника наступного покоління. Це буде європейський апарат **Planck**.

Відповідно до теорій нового типу Всесвіт швидко розширювався, а поле майже не мінялося; відповідно, не мінялася і щільність енергії. Виходить, розширення йшло по експоненті, і швидкість розбігання Всесвіту довго не зменшувалася.

У науковому світі загострюється боротьба між прихильниками пануючої нині космологічної теорії і їхніх супротивників – на думку останніх, розбіжність теорії з фактами стає просто нетерпимою.

Група вчених прийшла до висновку, що темна енергія залишалася незмінною протягом періоду існування Всесвіту. Зростає число вчених, що наполягає на ревізії фундаментальних основ сучасної космології, призиваючи покінчити з фантомом «темної енергії».

У рамках огляду Supernova Legacy Survey (SNLS) ряд найбільших астрономічних інструментів світу провів пошук свідчень наявності «темної енергії» - вибухів сверхнових. Порівняння яскравості і їхніх спектральних сигнатур, на думку авторів дослідження, дозволить судити про ступінь розширення Всесвіту з часу вибуху зірки. В огляді вдалося зафіксувати 200 сверхнових і одержати спектральні дані для 70 з них. Пошук сверхнових вівся за допомогою телескопа обсерваторії Мауна-Кеа, для одержання їхніх спектрів використовувався Very Large Telescope обсерваторії Парана в Чилі, що складаються з чотирьох 8-метрових телескопів, здвоєні телескопи обсерваторій Джемینی і Кек на Гавайських островах.

Перші свідчення того, що Всесвіт розширюється із зростаючою швидкістю, отримані в 1995 році, потрясли науковий світ. Огляд SNLS був покликаний проаналізувати процес розширення більш детально, що теоретично могло б дозволити проаналізувати зміну цього параметра в часі.

Результати огляду, як повідомляє New Scientist, свідчать на користь найбільш консервативної космологічної теорії «темної енергії» - її щільність залишалася незмінною в просторі і в часі протягом часу існування Всесвіту.

Тим часом зростає число вчених, стурбованих непогодженостями в класичній теорії, призивають до корінного перегляду сучасної космології. Останньою краплею послужили результати картографування реліктового фону електромагнітного випромінювання у Всесвіті супутником **WMAP**, що йдуть врозріз з теорією «Великого Вибуху». Група альтернативних космологів нагромадила вражаючу кількість фактів, що розходяться з представленнями класичної космології. Феномен «Осі Зла», виявлений при аналізі отриманого WMAP матеріалу, грозить фундаментальними потрясіннями основ сучасного природознавства.

Проте, на думку вчених, істина дорожче. «Стандартна модель виродлива і заплутана, - вважає автор терміна «**Вісь Зла**», доктор Жоао Магуейю (Joao Magueijo) з лондонського Імперіала-коледжу. – Сподіваюся, її фінал не за



горами». Теорії, що прийде їй на зміну, прийдеться пояснити всю сукупність фактів – і в тому числі - які стандартною моделлю описувалися цілком задовільно.

“ **Вісь зла?**”. Докладну карту розподілу температури реліктового випромінювання по всьому небозводі вчені побудували за даними

вимірів космічного зонда НАСА WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Цей американський дослідницький апарат висотою 3,8 метри і вагою біля тонни був запущений у 2001 році і замість розрахункових 27 місяців продовжує працювати дотепер.



За цей час з його допомогою був виявлений дивний феномен, названий космологом Жоао Магуэйо з лондонського імперіала-коледжу «Віссю Зла». Суть його в тім, що відзначені супутником «холодні» і «теплі» області виявилися розташованими на небесній сфері не випадковим, як варто було б, а впорядкованим чином.

Виявлення «Осі Зла» <http://www.iamik.ru/pic/mosaic/bigbang.jpg> настільки потрясло наукову громадськість, що їй удалося переконати НАСА в необхідності виділити додаткові кошти на п'ятилітню програму детального дослідження і перевірки даних WMAP. Його відкриття здається настільки неймовірним, що деякі скептики заговорили про інструментальну помилку, хоча усе більше фактів говорить про зворотний.

Втім, без Всевишнього не можуть обійтися і тлумачі «дивних» результатів вимірів космічної станції НАСА. Так, астрофізики Стивен Хсу з Орегонського університету і Ентони Зи з Каліфорнійського університету в місті Санта-Барбара пропонують відшукати в них ні більше ні менше, як «візитну картку» Бога.

Правда, при цьому вчені намагаються виправдатися. «Наша теорія не підтримує ідею креативізму (навчання про створення світу Богом) ні в якому з її аспектів — ми усього лише намагаємося задати цілком наукове питання про те, яким образом і в якому „кодуванні“ таке послання могло б бути спрямовано, і спробувати дати на нього відповідь», — пишуть вони в спільній статті.

Її автори припускають, що Творець Всесвіту міг зашифрувати своє послання в двоичному коді «гарячих» і «холодних» точок реліктового випромінювання. По цій гіпотезі, Всесвіт з'являється чимось начебто гігантської дошки оголошень, що у тому самому виді доступний усім розвитим цивілізаціям у всіх галактиках, незалежно від того, де вони знаходяться.

Запропоноване Хсу і Зи пояснення незвичайного феномена не залишилося непоміченим астрономічним співтовариством. Як повідомляє журнал Sky and Telescope, воно вже стикнулося з запереченнями — правда, не принципові, — з боку їхніх колег астрофізиків Дугласа Скотта і Дж. Зибина з Університету Британської Колумбії в Канаді. У статті «Щире послання небес» (The Real Message in the Sky) вони затверджують, що їхнього колеги перебільшили кількість інформації, що може бути зашифрована в реліктовому випромінюванні.

Однак і американці і канадці сходяться в основному: «Обидві групи солідарні в тім, що в карті космічного мікрохвильового випромінювання може зберігатися зашифроване послання, — повідомив доктор Хсу. — Розбіжності полягають лише в оцінці його максимально можливого обсягу».

Виходячи з обмеженого числа областей, що чітко розрізняються, на карті розподілу реліктового випромінювання, учені розрахували, що повідомлення

Творця могло б містити близько 10 кілобайт інформації. На думку авторів гіпотези, не виключено, що в ньому сховані фундаментальні закони фізики.

При цьому вони думають, що «дешифрування» уже наявної карти реліктового випромінювання з використанням аналітичних методик сучасної науки можливо вже зараз. На жаль, прилади, використані супутником WMAP, не дозволяють знайти найменші температурні флуктуації, але в майбутньому ці недоліки безсумнівно будуть переборені. І тоді аналіз отриманих даних міг би стати куди більш захоплюючим заняттям, чим давно ведеться пошук неземних цивілізацій.

До речі, серед останніх фактів, перед якими встає в тупик модель «Великого Вибуху», можна назвати й інші астрономічні відкриття, що також наштвхують на думку про інопланетний розум. Найбільш несподіваний серед них — об'єкт, виявлений космічним телескопом Хаббла і названий американськими вченими «таємничим», — дивне кільце із сотень дуже гарячих і яскравих блакитних зірок у сузір'ї Андромеди, що оточує подібно планетній системі центральну чорну діру цієї галактики. Саме вони випромінюють яскраве світіння, виявлене телескопом Хаббла ще десятиліття назад і до останнього часу озадачивавшее астрономів.

Чорна діра утвориться при вибуху і нестримному стиску зірки великої маси, що завершується «стисненням» її в точку. Гравітаційні сили, що виникають при цьому, настільки великі, що з «капкана» чорної діри не може вирватись будь-яке випромінювання. Тому чорні діри принципово невидимі і можуть заявляти про себе лише гравітаційним впливом і випромінюванням, що випускається падаючою на них речовиною.

У центрах галактик, як правило, знаходяться чорні діри, що вже містять у собі маси мільярдів зірок і жадібно поглинають речовину інших прилеглих небесних тіл. Тому астрономів так здивувало скупчення молодих зірок у безпосередній близькості від центра туманності Андромеди. Це в корені суперечить сучасним фізичним представленням — гравітаційне поле поблизу чорної діри настільки агресивне, що про формування зірок поблизу неї не може бути і мови. Зірки утворюють там плоский диск розміром в один світловий рік у поперечнику. Їх оточує більший еліптичний диск старих червоних зірок — його розмір складає біля п'яти світлового років. Обидва диски розташовані в одній площині, що може свідчити про їхній взаємозв'язок один з одним, однак про природу цього, найвищою мірою таємничого, утворення ніхто в науковому світі поки не може сказати нічого певного.

Остання інформація апарата **НАСА** про реліктове випромінювання підриває ще одну з основ сучасної космології. Комп'ютерне моделювання показало, що виявлений супутником характер розподілу флуктуацій температури міг виникнути тільки в тому випадку, якщо Всесвіт зовсім не так великий, як вважалося дотепер, і тим більше не нескінченний.

На думку вчених, отримані результати свідчать не тільки про малі розміри Всесвіту, але і про те, що простір у ній «замкнений саме на себе». Незважаючи на свою обмеженість, (края як такого, Всесвіт не має) — промінь світла, поширюючи в просторі, повинний через визначений (досить великий) проміжок часу повернутися у вихідну точку.

Через цей ефект у різні епохи з Землі та сама галактика може спостерігатися в різних частинах небозводу так же і з різних сторін. На цій підставі астрономи порівнюють “ новий Всесвіт” із дзеркальною кімнатою, у якій кожний з предметів створює безліч своїх дзеркальних образів.

За даними моделювання, результати спостережень станції **WMAP** свідчать про те, що Всесвіт являє собою набір нескінченно повторюваних додекаедрів — правильних багатогранників, поверхня яких утворена правильними п'ятикутниками. Як тут не згадати про космологічну модель Й Кеплера, запропоновану ним ще у 17 ст. Явища природи певним чином узгоджується між собою через відповідний просторово-часовий каркас. Вся речовина Всесвіту обвивається навколо енергетичного каркасу. По каркасній сітці передається енергія і в її вузлах створює речовину або передає її в інші вузли. Каркас існує у вигляді правильних багатогранників.

Платон знайшов 5 таких багатогранників: тетраедр, куб, октаедр, додекаедр, ікосаедр. Кеплер додав 2 багатогранника нового типу (зірчастий додекаедр), а у 1810 році Пуансо відкрив ще 2-зірчасті багатокутники. Таким чином число можливих правильних багатогранників - 9, що відповідає кількості



планет. Думки про багатогранність Землі та Космосу висловлювались ще давніми філософами: Платоном, Піфагором та іншими. Енергетичні каркаси притаманні всім об'єктам Всесвіту. Галактики розташовані на ребрах, гранях та вершинах багатогранників розміром 200 млн. світових років. По ребрах цих багатогранників концентруються біля 70 % маси всіх галактик

Саме таку форму мають покриття знайомих усім фірмових футбольних м'ячів. При цьому, вважають астрономи, подібність між “додекаедровою” моделлю Всесвіту і даними WMAP просто “приголомшливе, і вони відповідають один одному набагато краще, ніж можна було уявити”. У тривимірному просторі аналогічну процедуру можна проробити з кубом. Якщо ототожнити його протилежні грані, то утвориться тривимірний тор. Якщо подивитися зсередини такого куба на навколишнє простір, то можна побачити нескінченний світ, що складається з копій його один-єдиної й унікальної (не повторюваної) частини, обсяг якої цілком кінцевий. У такому світі немає яких-небудь границь, але є три виділені напрямки, рівнобіжних ребрам вихідного куба, уздовж яких спостерігаються періодичні ряди вихідних предметів. Ця картина дуже схожа на

те, що можна побачити усередині кубика з дзеркальними стінками. У цій моделі видимий світ замикається сам на себе завдяки виходу в інший вимір.

Описана вище картина придушення низькочастотних гармонік вірна, якщо час, за яке світло перетинає вихідний обсяг, досить мало, тобто якщо розміри початкового тіла малі в порівнянні з космологічними масштабами. Якщо ж розміри доступної для спостережень частини Вс (так названого обрію Всесвіт) виявляються менше розмірів вихідного топологічного обсягу, то ситуація не буде нічим відрізнятися від тієї, що ми побачимо в звичайній безкрайній ейнштейнській селеної, і ніяких аномалій у спектрі реліктового випромінювання спостерігатися не буде.

Максимально можливий просторовий масштаб у такому кубічному світі визначається розмірами вихідного тіла — відстань між будь-якими двома тілами не може перевищувати половини головної діагоналі вихідного куба. Світло, що йде до нас від границі рекомбінації, може по дорозі кілька разів перетнути вихідний куб, як би відбиваючи в його дзеркальних стінках, через цього кутова структура випромінювання спотворюється і низькочастотні флуктуації стають високочастотними. У результаті чим менше вихідний обсяг, тим сильніше придушення нижчих великомасштабних кутових флуктуацій, а виходить, вивчаючи реліктовий фон, можна оцінити розміри нашої Всесвіт.

Складний тривимірний Всесвіт можна побудувати тільки на основі кубів, паралелепіпедів і шестигранних призм. У випадку викривленого простору такими властивостями володіє більш широкий клас фігур. При цьому найбільше добре отримані в експерименті WMAP кутові спектри погодяться з моделлю Всесвіту, що має форму додекаедра. Виявляється, що в просторі з невеликою позитивною кривизною правильними додекаедрами можна без дір і взаємних перетинань заповнити весь простір. При визначеному співвідношенні між розміром додекаедра і кривизною для цього треба 120 сферичних додекаедрів. Всесвіт, утворений з такого додекаедра, володіє цікавими властивостями: у ньому немає виділених напрямків, і ця модель описує величину нижчих кутових гармонік реліктового фону. Така картина виникає тільки в замкнутому світі з відношенням дійсної густини речовини до критичного 1,013, що попадає в інтервал значень, отриманих сьогоднішніми спостереженнями - $(1,02 \pm 0,02)$.

У додекаедральній моделі обрій подій і границя рекомбінації перетинають кожну з 12 граней додекаедра. Перетинання границі рекомбінації і вихідного багатогранника утворюють на карті мікрохвильового фону 6 пар кіл, розташованих у протилежних точках небесної сфери. Кутовий діаметр цих кіл — 70 градусів. Ці кола лежать на протилежних гранях додекаедра. Розподіл флуктуацій реліктового випромінювання уздовж кожної пари кіл повинний збігатися (з урахуванням повороту на 180 градусів). На основі наявних даних такі кола пока, що не були виявлені.

Але це явище має більш складний характер. Кола будуть однаковими і симетричними тільки для спостерігача, нерухомого щодо реліктового фону. Земля ж рухається щодо нього з досить високою швидкістю, через що у фоновому випромінюванні з'являється істотний дипольний компонент. У цьому випадку кола перетворюються в еліпси, міняються їхні розміри, розташування на небі і середнє значення температури уздовж кола. Знайти тотожні кола при

наявності подібних перекручувань стає набагато важче, і точності наявних сьогодні даних недостатньо — потрібні нові спостереження.

1. Дані **WMAP** підтверджують теоретичну модель Великого вибуху з наступною стадією інфляції і з домінуванням схованої енергії.

2. Сумарна щільність енергії (і маси) у Всесвіті, віднесений до критичної щільності,

3. До складу матерії Всесвіт входять “звичайне” баріонна речовина, на частку якого приходиться $W_b = 0.044 \pm 0.004$ від загальної кількості, холодна схована маса – її частка $W_{CDM} = 0.22 \pm 0.04$, і схована енергія в кількості $W_L = 0.73 \pm 0.04$. На частку легень нейтрино приходиться не більш 0.015 загальної маси, а маси самих часток не перевершують 0.23 еВ.

4. Постійна Хаббла $H_0 = 71 \pm 43$ км/с·Мпк, за умови, що космологічний параметр L не залежить від червоного зсуву z .

5. Вік Всесвіту від моменту Великого вибуху складає 13.7 ± 0.2 млрд років.

6. Момент останнього розсіювання відповідає червоному зсуву $z = 1089 \pm 1$ і віку 379 ± 87 тис років.

7. Момент реіонізації речовини відповідає $z = 20 \pm 109$ і віку від 100 до 400 млн років з найбільш ймовірним значенням 180 млн років.

Варто відразу сказати, що ці дані **WMAP** не принесли великих несподіванок і не змінили теоретичної картини світу, що склалася до перших років XXI століття. Цей космічний експеримент, однак, відрізняється високою детальністю даних (по чутливості він перевершує прилад DMR супутника COBE у 45 разів, а по кутовому дозволі – у 33 рази) і дуже низької систематичної (зв'язаної з властивостями КА, його датчиків і методів обробки), погрішністю вимірів. Тому результати **WMAP** (які звичайно, будуть уточнюватися за результатами подальшої роботи) зараз являють собою найбільш достовірні оцінки параметрів Всесвіту.

Що це все означає? Модель народження Всесвіту у Великому вибуху з наступним її розширенням зараз практично загальноновизнана. Сингулярний стан Всесвіту, поки не може бути описано навіть теоретично. Класично, простір-час почався через 10^{-43} сек послу Великого вибуху. Далі пішла стадія інфляції

($10^{-42} \dots 10^{-36}$ сек), коли матерія знаходилася в стані “фальшивого вакууму” з найсильнішим негативним тиском. Негативний тиск, “маса” якого перевищувала по абсолютній величині звичайну масу, викликало експонентне розширення Всесвіту на багато порядків.

Фото 6: Карта всього неба, що відображає інтенсивність “самого древнього світла” у Всесвіті. Кольори позначають дрібні коливання температури реліктового випромінювання. “Самі теплі” місця бачаться червоними плямами, самі “прохолодні” - синіми. Овальна форма картинки - це проекція, на якій показані обоє небесних півкулі; подібно цьому і земна куля може бути представлений як овал. Зображення NASA/WMAP із сайту www.gsfc.nasa.gov.

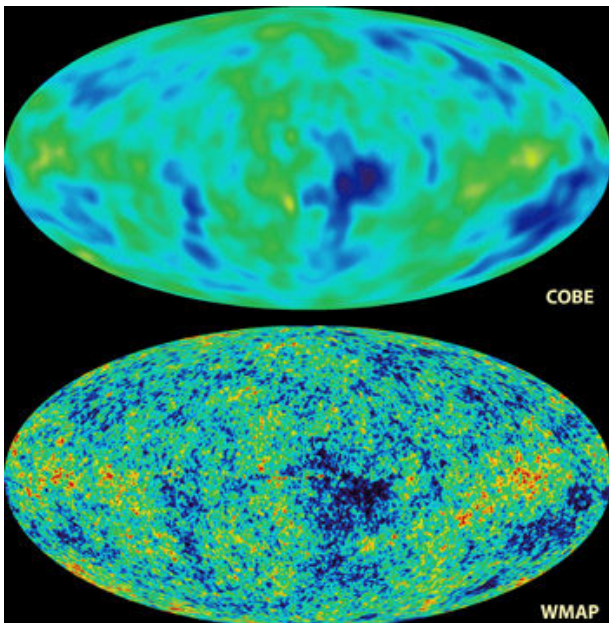
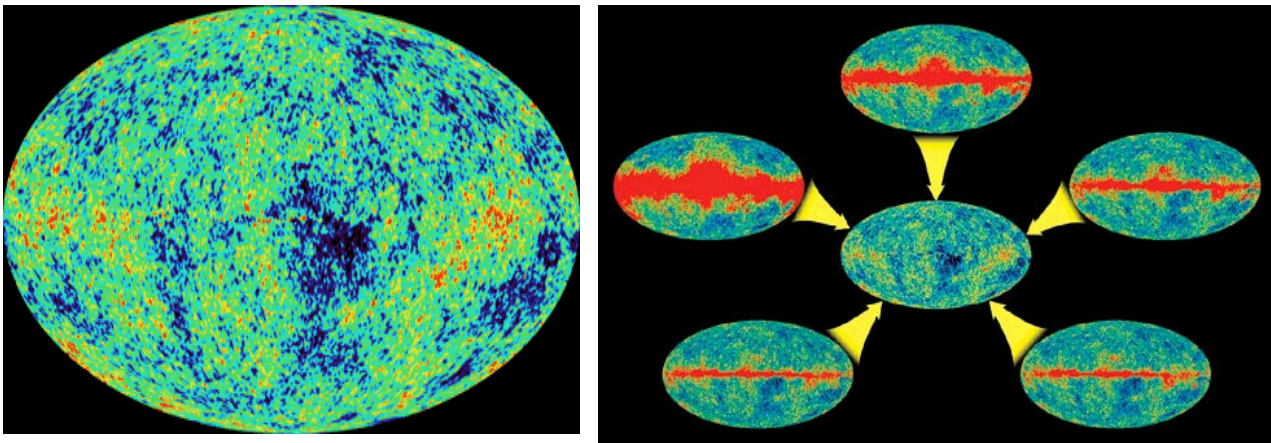


Фото 8. Ця карта анізотропії реліктового випромінювання, складена за даними за перший рік спостережень WMAP. Червоний і синій кольори відповідають відхиленню температури випромінювання на ± 200 мкк від середнього значення 2.725 ДО. Угорі - аналогічна карта по вимірах з КА COBE. Легко бачити їхній гарний збіг.

Квантові флуктації первинного “вакууму” через інфляцію розтяглися до такого ступеня, що стали зародками майбутніх галактик і їхніх скупчень.

Розподіл температури реліктового випромінювання по небу прямо відповідає температурам на поверхні останнього розсіювання, в епоху рекомбінації водню.

Доля Всесвіту залежить від того, наскільки близька щільність маси й енергії до критичної щільності, обумовленої через фундаментальні константи. Дані

WMAP у сполученні з іншими вимірами постійної Хаббла говорять про те, що відношення щільності до критичної, якщо і відрізняється від 1, то на дуже малу величину. Це означає, що геометрія Всесвіту евклідова (простір не має кривизни), Всесвіт нескінченний, а її розширення, що спостерігається, ніколи не зміниться стиском.

На звичайну речовину з протонів, нейтронів і електронів приходиться лише **4.4%** усієї матерії. Ще **22%** являють собою масивну матерію невідомої природи, що ми поки не можемо спостерігати безпосередньо, але виявляємо по русі видимої речовини в галактиках. Нарешті, близько **73%** матерії – три чверті! – приходиться на “приховану енергію”.

У відношенні звичайної баріонної речовини отримане значення (4.4%) добре узгоджується з проведеними експериментами по визначенню відносної концентрації первинного гелію. Дуже важливо, що експеримент **WMAP** визначає частку звичайної речовини на момент рекомбінації.

Сумарна частка видимої і прихованої маси, визначена раніше як $27 \pm 6\%$ по швидкості обертання галактик, точно відповідає даним **WMAP**. Теоретично були відомі два основних кандидати на “посаду” прихованої маси – гіпотетичні елементарні частки аксиони чи нейтраліно (“холодна прихована маса”) і нейтрино зі значною масою спокою (“гаряча прихована маса”). Але епоха реіонізації $z=20$, отримана командою **WMAP**, ставить хрест на другий з цих гіпотез. “Гаряча прихована маса” рухається занадто швидко, і перші компактні об'єкти в цьому випадку не сформувалися б раніше $z=8$. Природу холодної прихованої маси, ще потрібно з'ясувати.

Що ж до прихованої енергії (яку довелося ввести для пояснення виявленого в 1998 р. прискорення розширення Всесвіту і яка, як це тепер ясно, є її домінуючим компонентом), на її місце є два кандидати. В одному випадку мова йде про космологічний член λ з рівнянь загальної теорії відносності, розглянутому як нова фундаментальна константа. В іншому замість λ намагаються ввести т.зв. “квінтесенцію” – форму матерії з негативним тиском, зв'язаний з деяким скалярним полем. Отож, один з результатів **WMAP** – це обмеження на рівняння стану, якому квінтесенція, очевидно, не задовольняє.

Постійна Хаббла описує швидкість розширення Всесвіту і вказує на її вік. Значення $71 \text{ км/з} \cdot \text{Мпк}$ точно відповідає опублікованим у 2001 р. результатам групи Фридмана, що працювала на Космічному телескопі імені Хаббла ($72 \text{ км/з} \cdot \text{Мпк}$) по сверхновим типу Ia, по поверхневій яскравості галактик методом Тулли-Фішера та іншими індикаторам відстаней. Цей збіг є тим більше чудовим, що дослідники вивчали зовсім різні об'єкти і користалися різними моделями. Трохи менші значення, що знаходяться, однак, у межах погрішності, дають спостереження гравітаційного линзування, ефекту Сюняєва-Зельдовича й ін.

Знайдене значення віку Всесвіту непогано погоджується з недавніми результатами, отриманими по теоретичних моделях нуклеосинтеза (15.6 ± 4.6 млрд років), по співвідношеннях радіоактивних ізотопів (від 12.5 до 15.6 млрд років), за віком зірок у кульових скупченнях (від 11 до 16 млрд. років для різних скупчень) і температурі самих холодних білих карликів у цих скупченнях (12.7 ± 0.7 млрд років).

Процес реіонизації – повторного виникнення плазми після рекомбінації й утворення нейтрального водню – теорія зв'язує з виникненням перших зірок. За даними WMAP, реіонизація відноситься до часу 180 млн років після Великого вибуху. Це дуже несподіваний результат: раніше вважалося, що перші зірки утворилися набагато пізніше.

У даних WMAP за перший рік виявлені також 208 точкових джерел мікрохвильового випромінювання, причому 203 з них (за винятком самих “ненадійних”) ототоженні з відомими об'єктами.

Як це отримано? Цільова апаратура **КА WMAP** складається з 20 двухканальних радіометрів, що утворять 10 зборок, що диференціюють, у частотних діапазонах K, Ka, Q, V і W. Кожен радіометр визначає різницю температур реліктового випромінювання між двома напрямками на небі, рознесеними на 141° . Для спостереження в цих напрямках використовуються два телескопи системи Грегори (A і B) з первинними рефлекторами розміром 1.4×1.6 м і вторинними рефлекторами 0.8×0.8 м і фокусною відстанню 90 див. Випромінювання, що надходить фокусується в кожній із двох фокальних площин у 10 рупорів, що “живлять” мікрохвильові радіометри на НЕМТ-підсилювачах через перетворювачі, що виділяють ортогональні лінійно поляризаційні сигнали і, що подають їхній на пари радіометрів з однієї зборки.

Робочий режим обертання забезпечує система орієнтації з трьома маховиками. На апараті немає механічних пристроїв, робота яких порушувала би режим закручення, і WMAP виводиться з нього лише чотири рази в рік на одну годину для корекції траєкторії. За годину проглядається близько 30% небесної сфери; за півроку, за які КА в точці L2 робить половину обороту навколо Сонця, багаторазово проглядається вся сфера.

Конструктори вжили спеціальних заходів для забезпечення механічної, теплової й електричної стабільності КА, тобто до мінімізації можливих збурювань. Оцінка систематичних помилок за перший рік польоту складає 0.14 мкк – це в 50 разів краще проектних вимог. Кількість збійних даних у різних каналах – від 1.04 до 1.36%.

Прийняті дані по різницям температур перераховуються в абсолютні величини і наносяться на карту в галактичних координатах. Для калібрування даних використовується визначена COBE дипольна складова температури реліктового випромінювання; абсолютна погрішність калібрування оцінюється в 0.5%. Одному пікселю карти відповідає тілесний кут $4 \cdot 10^{-6}$ порівн і просторовий кут 0.115. Характеристика спрямованості прийомних пристроїв визначається в побіжних спостереженнях Юпітера.

Деталі на картах **WMAP** відповідають знайденим у 1992 р. на картах COBE-DMR, але детальність зображення зросла багаторазово. Завдяки тому, що карти будуються в п'ятьох різних частотних діапазонах, удається виключити перешкоди від галактичного тла і скласти “чисту” карту анізотропії реліктового випромінювання.

За даним **WMAP** уточнена дипольна складова реліктового випромінювання, що відповідає власному руху Галактики. Її амплітуда 3.346 ± 0.017 мК, а вісь спрямована в точку ($l=263.85^\circ$, $b=48.25^\circ$) у галактичній системі координат.

Квадрупольна складова дуже слабка (8 ± 2 мкк), як і в даних **COBE**. Анізотропія на великих кутових масштабах майже непомітна.

Ефект Сюняєва-Зельдовича – розсіювання реліктового випромінювання на електронах у гарячому газі скупчень галактик – у даних **WMAP** виявлений, однак дуже слабшав: на рівні $0.24\text{--}0.34$ мкк навіть для великого скупчення у Волосс Вероніки.

Аналіз спектра анізотропії – розподілу її амплітуди по мультипольних гармоніках – проводився за даними радіометрів діапазонів Q, V і W, оскільки інші мали занадто широку діаграму направленості. Для статистично достовірного аналізу довелося виключити області поблизу галактичної площини, а також приблизно 700 відомих крапкових позагалактичних джерел.

Далі була побудована модель, що описує “плоский” Всесвіт з евклідовою геометрією, заповнену випромінюванням, баріонами, холодною схованою масою і схованою енергією, і зі статичним законом спектру адіабатичних первинних флуктуацій. Модель залежала від шести параметрів: постійної Хаббла, баріонної щільності і щільності всієї речовини, оптичної глибини до поверхні останнього розсіювання, скалярного спектрального індексу і параметра нормалізації. Підбором параметрів удалося досягти гарної відповідності розрахункових спектрів обмірюваням. Підсумкова карта температури реліктового випромінювання будується на основі кропіткого аналізу карт, що відображають інтенсивність радіовипромінювання в п'ятьох різних частотних діапазонах.

Для більшості сферичних гармонік отримані експериментальні дані збіглися з модельними розрахунками. Тільки дві гармоніки, квадруполь і октуполь, виявилися явно нижче очікуваного теоретиками рівня. Причому імовірність того, що настільки великі відхилення могли виникнути випадково, украй мала. Придушення квадруполя й октуполя було відзначено ще в даних **COBE**. Однак карти, отримані в ті роки, мали поганий дозвіл і великі шуми, тому обговорення цього питання був відкладений до кращих часів. З якої причини амплітуди двох самих

великомасштабних флуктуацій інтенсивності реліктового випромінювання виявилися настільки маленькими, спочатку було досконале незрозуміло.

Придумати

фізичний механізм для їхнього придушення поки не вдалося, оскільки він повинний діяти на масштабі усієї Всесвіту, що спостерігається нами, роблячи її більш однорідної, і при цьому переставати працювати на менших масштабах, дозволяючи їй флуктуировать сильніше. Напевно, тому почали шукати альтернативні шляхи і знайшли топологічна відповідь на виниклий питання. Математичне рішення фізичної проблеми виявилось дивно витонченим і несподіваним: досить було припустити, що Всесвіт — замкнутий сам на себе додекадр. Тоді придушення низькочастотних гармонік можна пояснити просторовою високочастотною модуляцією фонового випромінювання. Цей ефект виникає за рахунок багаторазового спостереження однієї і тієї ж області рекомбінующої плазми через різні ділянки замкнутого додекадричного простору. Виходить, що низькі гармоніки як би гасять самі себе за рахунок проходження радіосигналу через різні грані Всесвіту. У такій топологічній

моделі світу події, що відбуваються поблизу однієї з граней додекаедра, виявляються поруч і з протилежною гранню, оскільки ці області тотожні і насправді є однієї і тією же частиною Всесвіту. Через цього реліктове світло, що приходить на Землю з діаметрально протилежних сторін виявляється випроміненим однієї і тією ж областю первинної плазми. Ця обставина приводить до придушення нижчих гармонік спектра реліктового випромінювання.

Квадруполь не є найнижчою сферичною гармонікою. Крім нього існують монополь (нульова гармоніка) і диполь (перша гармоніка). Величина монополя визначається середньою температурою реліктового випромінювання, що сьогодні дорівнює 2,728 К. Після його вирахування з загального фону, найбільшим виявляється дипольний компонент, що показує, наскільки температура в одній з півсфер навколишнього нас простору вище, ніж в іншій. Наявність цього компонента викликано в основному рухом Землі і Молочного Шляху щодо реліктового фону. Через ефект Доплера температура в напрямку руху підвищується, а в протилежному — знижується. Дана обставина дозволить визначити швидкість будь-якого об'єкта стосовно реліктового випромінювання й у такий спосіб ввести довгоочікувану абсолютну систему координат, що локально нерухома стосовно Всесвіту.

Величина дипольної анізотропії, зв'язана з рухом Землі, складає $3,353 \cdot 10^{-3}$ К. Це відповідає руху Сонця щодо фону реліктового випромінювання зі швидкістю близько 400 км/с. “Летимо” ми при цьому в напрямку границі сузір'їв Лева і Чаші, а “летимо” із сузір'я Водолія. Наша Галактика разом з локальною групою галактик, куди вона входить, рухається щодо релікта зі швидкістю близько 600 км/с.

Всі інші збурювання (починаючи з квадруполя і вище) на карті фону викликані неоднорідностями щільності, температури і швидкості речовини на границі рекомбінації, а також радіовипромінюванням нашої Галактики. Після вирахування дипольного компонента сумарна амплітуда всіх інших відхилень виявляється всього $18 \cdot 10^{-6}$ К. Для виключення власного випромінювання Молочного Шляху (в основному зосередженого в площині галактичного екватора) спостереження мікрохвильового фону ведуться в п'ятьох частотних смугах у діапазоні від 22,8 ГГц до 93,5 ГГц.

Сьогодні стандартним вважається інфляційний сценарій еволюції Всесвіту. Він був запропонований для пояснення високої однорідності і ізотропності Всесвіту, що спостерігається. Відповідно до нього спочатку народжений Всесвіт був досить неоднорідним. Потім у процесі інфляції, коли Всесвіт розширювався по близькому до експоненти закону, його споконвічні розміри зросли на багато порядків. Ми бачимо тільки малу частину Великого Всесвіту, у якій як і раніше залишилися неоднорідності. Правда, вони мають настільки велику просторову довжину, що усередині доступної нам області непомітні. Інфляційний сценарій є найкраще розробленою космологічною теорією.

Напряму, у яких прийдеться розвивати космологію, якщо багатозв'язаність нашого Всесвіту підтвердиться, уже ясні: це безінфляційні моделі і так звані моделі зі слабкою інфляцією, у яких розміри Всесвіту за

час інфляції зростають усього в кілька разів. Вчені, намагаючись зберегти звичну картину світу, активно шукають огріхи в результатах, отриманих за допомогою космічного радіотелескопа.

Автори експерименту, однак, не обмежилися побудовою моделі на базі тільки лише даних **WMAP**, а спробували також доповнити вимірами анізотропії реліктового випромінювання на менших кутах (експерименти **CBI** і **ACBAR**) і включити в аналіз спектральні дані огляду червоного зсуву 140000 галактик у 2-градусному полі на англо-австралійському телескопі (**2dFGRS**) і дані про лінії поглинання в спектрах 50 квазарів. Крім того, був уведений сьомий параметр – спектральний індекс, що біжить. Це дозволило одержати трохи більш достовірні значення параметрів.

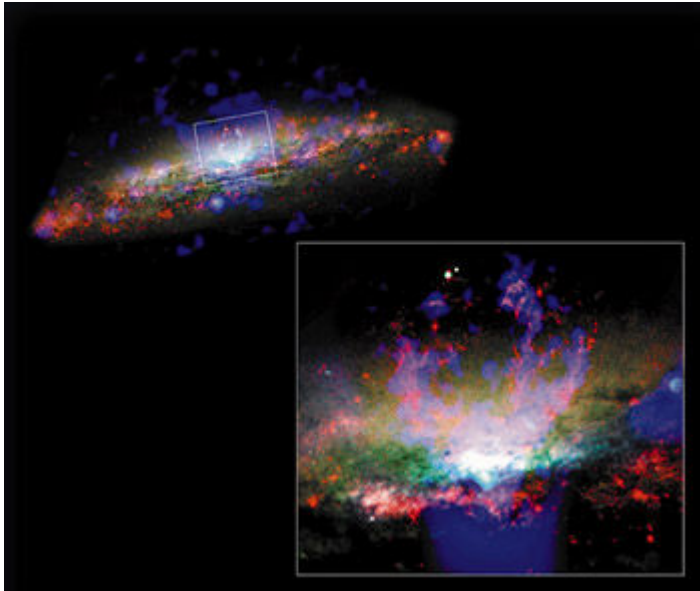
Вік Всесвіту (13.7 млрд років) визначається з похибкою всього 1%, в припущенні про плоску геометрію Всесвіту по першому акустичному піку в спектрі. Аналогічним чином знаходиться і частка баріонної речовини в масі всієї матерії (4.4%). Перевага прихованої маси впливає з даних **WMAP** при дуже слабких обмеженнях на величину постійної Хаббла. Положення піків у спектрах температури і поляризації вказують на адіабатичний характер первинних флуктуацій, як і вимагає теорія. Антикореляція поляризаційного спектру повинна виникати як наслідок інфляційної стадії в розвитку Всесвіту. Нарешті, з поляризаційних даних вважається з деякими допущеннями щодо форми спектра час реіонізації газу (180 млн. років від Великого вибуху).

В даний час робота **WMAP** в околицях точки **L2** розрахована на 4 роки, тобто на вісім повних циклів спостереження неба.

Слід зазначити, що випущений прес-реліз **NASA** за результатами **WMAP** виявився зовсім недостатній для їхнього розуміння. Звичайно, науковий керівник проекту д-р Чарлз Беннетт із Центра Годдарда мав повну підставу сказати: “Ми піймали молодий Всесвіт у фокус, і по цьому портреті тепер можемо описати його з безпрецедентною точністю”.

Chandra і **FUSE** доповнюють дані **WMAP**. Залишимо осторонь сховану енергію, природа якої поки зовсім не ясна, і подивимося на ті 22% матерії, що заховані в схованій масі, і на 4.4% звичайної речовини. Чи підтверджуються дані **WMAP** іншими експериментами? Так, підтверджуються.

В 2002р. вже повідомлялось про виявлення “потоків” гарячого міжгалактичного газу американською рентгенівською обсерваторією **Chandra (AXAF-I)**. Подібні спостереження більш близьких об’єктів провела на ультрафіолетовій обсерваторії **FUSE** американо-італійська наукова група, що очолюють Фабрицио Никастро з Гарвард-Смитсоновського центра астрофізики (HSCA) і Сміта Мазер з Університету штату Огайо (OSU). Нагадаємо, що мова йде про хмари міжгалактичного газу, але недостатньо щільного для того, щоб



його можна було спостерігати у видимому діапазоні. У рентгені він слабо світиться, одночасно поглинаючи визначені лінії зі спектра далеких квазарів і активних галактичних ядер. В ультрафіолеті вдається спостерігати зміни в спектрі таких джерел, викликані поглинанням у гарячому газі.

Фото 9. Спіральна галактика NGC 3079 у Великій Ведмедиці. Комбіноване зображення: синій колір – Chandra, рентгенівський діапазон; червоний колір – HST, видимий діапазон. “Нитки” складаються з теплового і гарячого газу. Газ виходить з центральних областей галактики, формуючи порожнину в холодному газі галактичного диску.

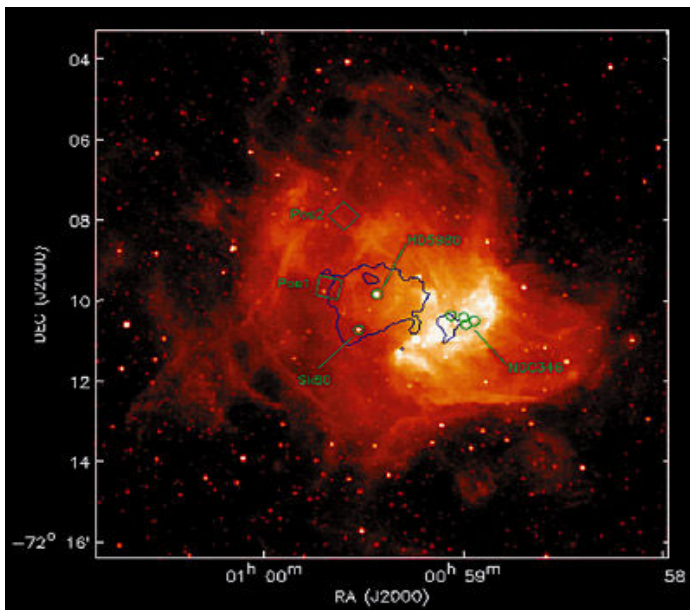


Фото 10. Хмара водню N66 у Малому Магелланов хмарі. Газ світиться під дією випромінювання гарячих

зірок, що у ньому сформувалися. Синьою лінією обмежена область рентгенівського випромінювання (Chandra), зеленими мітками показані зірки й об’єкти, що спостерігав FUSE. Спостереження на КА FUSE група Никастро не тільки знайшла поглинання, але і вимірила по доплеровському зсуві ліній променеві швидкості приблизно 50 газових хмар, видимих від нас у різних напрямках. Виявилося, усі вони відносяться до Місцевої групи галактик (куди входять Молочний шлях, Туманність Андромеди і приблизно 30 більш дрібних), обволікаючи її подібно гарячому туману інтенсивності поглинання в Уф-діапазоні (дані FUSE) і в рентгені (дані Chandra) дослідники оцінили

сумарну масу газу в 1012 сонячних мас, і ця оцінка дуже добре лягає в теоретичну картину. Облік маси зірок і “темних” молекулярних хмар показує, що зі згаданих вище 4.4% нормальної баріонної речовини лише п'ята частина входить їх до складу, а 80% не виявляється. А по оцінці Никастро і його співавторів, на “гарячий туман” приходить до 2/3 сумарної маси речовини Місцевої групи – майже стільки, скільки треба.

Вчені висловили припущення, що гарячі хмари – це релікт епохи формування галактик: приблизно третя частина речовини сконденсувалася й утворила зоряні “острови” і “архіпелаги”, а дві третини збереглися у виді “тумана” більш низької концентрації.

Дослідники також вважають, що хмари гарячого газу, що оточують Місцеву групу галактик, є лише невеликою частиною системи “рік гравітації”, що з'єднують між собою галактики видимого Всесвіту. Що ж стосується схованої маси, є підстави вважати, що ці міжгалактичні “нитки” можуть зв'язувати між собою області концентрації схованої маси.

Американо-канадо-французька обсерваторія FUSE була запущена 24 червня 1999 р. для пошуку водню і дейтерію у Всесвіті, перевірки теорії народження Всесвіту і з'ясування механізму синтезу хімічних елементів. По проекту вона була розрахована на 3 роки роботи

На рахунку FUSE уже чимало унікальних досліджень. Так, ще в серпні-жовтні 2000 р. паралельно з “Хабблом” і наземним телескопом Кека супутник провів тривалі спостереження квазара HE2347-4342, що дозволило визначити різні епохи іонізації міжгалактичного гелію. З'ясувалося, що за іонізацію відповідали не тільки квазари з їх могутнім випромінюванням, але і спалахи в “звичайних” галактиках. Тоді ж стало ясно, що існують великі хмари нейтрального водню в яких зосереджені величезні маси речовини.

А зовсім недавно з'явилося повідомлення про дослідження за допомогою FUSE подвійної системи сигма Геркулеса. Судячи з ультрафіолетового спектра, у цій молодій зоряній системі є велика кількість атомарного газу у формі диска. Пиловий диск у цій системі теж є і дослідники думають, що джерелом газу є зіткнення об'єктів протопланетної хмари; інакше кажучи, у цій системі йде формування планет.

Думаю, у читача вже не залишилося сумнівів у тім, що він є сучасником найбільших досягнень космології, що відкривають перед нею можливість перетворитися з описової в по-справжньому точну науку.

Додаток.

Розділ 1. Циклічність.

Описуючи будь - який природний процес ми завжди приходимо до його описання в вигляді послідовності (операцій, дій), які можуть бути виражені словами, формулами числами і т. п. Приходимо до вивчення послідовності як ієрархії — pojawiaються рівні та підрівні, спостерігаються системні ефекти: поява на вищих рівнях властивостей, які не належать нижчим рівням. Виникають труднощі з вибором основи для класифікації і побудови самих нижніх рівнів ієрархії та її побудови як цілого утворення. Це добре видно на прикладах класифікації біосфери, техносфери та інших системних утворень. Очевидно, що при їх математичному описанні (моделюванні) не можна нехтувати їх основною властивістю — ієрархічністю.

Не існує задовільного в методичному відношенні пояснення переходів типу "кількість — якість", "елемент - система", " система— надсистема", "рівень — підрівень". Звідси виникає проблема стійкості та розвитку будь -яких ієрархій в цілому, а також їх руйнування та перехід в менш розвинутий стан - тобто динаміка ієрархічних систем. Ієрархічному закону підпорядковані часові події в геологічній історії Землі. Її еволюція носить циклічний характер. Вся історія Землі - це 5 млрд. років - розпадається на три періоди (по 1,6 млрд. років). Наступний поділ - 650 млн. років включає декілька геологічних ер (по 185-210 млн. років. Останні поділяються на періоди (по 48 млн. років), які в свою чергу складаються з епох по 14 млн. років, розділених на «віки» по 3,2 млн. років. Якщо ці цифри виставити в ряд то отримаємо геометричну прогресію із знаменником 3,5 — 4. Сонячна система рухається навколо центральних мас Галактики приблизно за 176 млн. років-галактичний рік. Через 10-15 млн. років після початку кожного «галактичного року» процеси гороутворення на Землі поступово затихали. Рівень морів та океанів піднімався, зникав холодний клімат і починався розквіт біосфери. Положення Сонячної системи на галактичній орбіті і є та команда із космосу якій підпорядковується геологічна історія Землі. Через кожні 22—23 роки збільшується число впадших на Землю метеоритів. Комети найбільш часто pojawiaються біля Землі через 22 -23 річні інтервали. Із цим же інтервалом проходять спалахи нових зірок, змінюється активність Сонця. Існує ще ритм у 1850 років. Він проявляється в коливанні клімату, зміни рівня океану та ландшафтної оболонки Землі. Можна припустити, що Всесвіт знаходиться в режимі коливань, циклічна структура яких описується через число " 3 ".

РОЗМІРНА ЦИКЛІЧНІСТЬ: (характерні розміри основних об'єктів):

електрон	10^{-18} см;
атом водню	10^{-8} см;
звичайні тіла	10^2 см;
діаметр Сонця	10^{12} см; .
діаметр Галактики	10^{22} см.
Розмірний інтервал	10^{10} см = 3^{21} с

ЧАСОВА ЦИКЛІЧНІСТЬ.

$3^3 = 27$ років — період повторення засух;
 $3^4 = 81$ років — віковий цикл сонячної активності;
 $3^5 = 234 - 325$ років — цикли сильних кліматичних змін;
 3^6 — сильні кліматичні зміни;
 3^8 — малий лідниковий ритм;
 3^{10} — середній лідниковий ритм;
 3^{12} — лідникові періоди;
 $3^{14} - 3^{15}$ — геохронологічні ери;
 $3^{17} - 3^{18}$ — час активного розвитку біосфери;
 3^{19} — формування сучасної географічної оболонки Землі;
 3^{20} — виникнення планет Сонячної системи.
 Число $\pi = 3,14...$ по своїй величині близьке до "3", вносить закономірності в розподіл віддалей планет від Сонця.

**Віддаль планети від Сонця в АСТРОНОМІЧНИХ ОДИНИЦЯХ -
(астрономічна одиниця - віддаль від Землі до Сонця).**

ПЛАНЕТА	ДІЙСНА ВІДДАЛЬ.	ВІДДАЛЬ ВИРАЖЕНА ЧЕРЕЗ ЧИСЛО π
МЕРКУРІЙ	0,387	$\pi / 8 = 0,39$
ВЕНЕРА	0,7	$\pi / 4 = 0,78$
ЗЕМЛЯ	1,0	$\pi / 3 = 1,04$
МАРС	1,524	$\pi / 2 = 1,57$
АСТЕРОЇДИ	2,9	$\pi = 3,14$
ЮПІТЕР	5,202	$1/2 \pi^2 = 4,93$
САТУРН	9,539	$\pi^2 = 9,86$
УРАН	19,191	$2 \pi^2 = 19,72$
НЕПТУН	30,071	$3 \pi^2 = 29,58$
ПЛУТОН	39,457	$4 \pi^2 = 39,44$

Всі структури земного рельєфу зв'язані між собою через число π . Земля, навколишній космос побудовані на основі цього закону, в основі якого лежать хвильові процеси. У класифікації земного рельєфу можна виділити 15 порядків.

Це відноситься піщаних хвиль у пустелі (довжина яких як мінімум 10 см), і до тектонічних структур довжиною 1000 км. Довжина форм другого порядку становить 0,3 м - в 3 рази більше, ніж у першому порядку. Форми рельєфу

розташовані в іншій частині ряду - солідні геологічні об'єкти: гірські масиви, геологічні складки. Більші форми рельєфу кратні півкулі, а значить - земній кулі. Ці форми розвиваються на сфері, а для сфери основним є число π . Тільки таким чином дюни, гори, океанічні впадини - це застигли хвилі. Геометричний ряд зв'язаний з радіусом Землі. Розглянемо такі цифри морфометричного ряду:

10 км - співпадає з дном світового океану;

30 км - геофізики виділяють шар Мохоровичича, який відділяє земну кору від мантії;

100 км - шар Гутенберга;

300 км - на даний час не існує геофізичних даних;

1000 км - мантія.

Теоретичний радіус внутрішнього ядра - 1015 км, і якщо прийняти його за половину довжини хвилі, то повна довжина хвилі - 2030 км. Збільшуючи послідовно кожний наступний член цього ряду в π раз знайдемо розміри ядра, поверхні літосфери, внутрішній радіаційний пояс - 10018 км. Співпадають також розміри зовнішнього радіаційного і магнітного поясу Землі.

Явища природи певним чином узгоджується між собою через відповідний просторово-часовий каркас. Вся речовина Всесвіту обвивається навколо енергетичного каркасу. По каркасній сітці передається енергія і в її вузлах створює речовину або передає її в інші вузли. Каркас існує у вигляді правильних багатогранників.

Платон знайшов 5 таких багатогранників: тетраедр, куб, октаедр, додекаедр, ікосаедр. Кеплер додав 2 багатогранника нового типу (зірчастий додекаедр), а у 1810 році Пуансо відкрив ще 2-зірчасті багатокутники. Таким чином число можливих правильних багатогранників - 9, що відповідає кількості планет. Думки про багатогранність Землі висловлювались ще давніми філософами: Платоном, Піфагором та іншими.

Приблизно 400-500 млн. років тому назад геосфера, яка складалась в основному із базальтів і мала форму додекаедра, перейшла у форму ікосаедра. Суміщення цих двох багатогранників відповідає геологічним особливостям Землі. Ребра і вершини земного багатогранника є каркасом, в якому проявляються енергетичні можливості планети. Поверхня Землі, як і будь-якого кристалічного тіла формується по принципу мінімуму поверхневої енергії. Все написане вище вказує на аналогію з біоактивними точками людини, які використовуються в акупунктурі.

Відомо, що чим більша планета тим швидше вона обертається, що проходить за рахунок притоку енергії по каркасній сітці. Наслідком цього є універсальність розширення всіх небесних тіл. Так, наприклад, радіус Землі збільшується на 5,16 м. в рік. Це видно з таблиці, де кожний наступний вимір більший за попередній.

<i>Хто проводив виміри.</i>	<i>Рік.</i>	<i>Полярний радіус Землі, км.</i>
<i>Фернель</i>	<i>1553</i>	<i>6340,100</i>
<i>Снелліус</i>	<i>1670</i>	<i>6352,300</i>
<i>Лакондамін</i>	<i>1743</i>	<i>6353,600</i>
<i>Шуберг</i>	<i>1861</i>	<i>6356,863</i>
<i>Красовський</i>	<i>1936</i>	<i>6356,863</i>
<i>Топографічна служба США</i>	<i>1947</i>	<i>6356,878</i>
<i>ЦНДІ геодезії, картографії.</i>	<i>1961</i>	<i>6356,942</i>

Сліди полігональної структури є на поверхні Марса, Місяця та інших тіл. Геометрична система розломів обумовлена процесом розширення нашої планети. Відомі "критичні" 35-і паралелі в північній та південній півкулях. Ці широти лежать у точках перетину при віковій зміні полярного стиску і є як би шарніром планети. Вони з великою точністю відповідають широті центрів граней октаедра, куба, тетраедра. Енергетичні каркаси притаманні всім об'єктам Всесвіту. Галактики розташовані на ребрах, гранях та вершинах багатогранників розміром 200 млн. світових років. По ребрах цих багатогранників концентруються біля 70 % маси всіх галактик.

Порушення симетрії - одне із найважливіших властивостей реального світу. Так наприклад, на північній півкулі Сонця проходить значно більше спалахів, ніж на південній. Деяко подібне виявлено і при аналізі землетрусів. Сонце та інші об'єкти "відчувають" напрям свого руху в просторі. Перший напрямок - на сузір'я Лева, другий - на центр галактики, третій - співпадає з віссю обертання Сонця. Відносно так званого реліктового фонового випромінювання, яке заповнює простір всього Всесвіту, Сонячна система рухається до сузір'я Лева і саме у цьому напрямі проходить максимальна кількість процесів. Порушення симетрії існує в будові літосфери Землі, розподілу океанів, атмосферних процесів і т. п. Навіть у біосфері. У південній півкулі живуть тварини (наприклад сумчасті), які вимерли в північній півкулі мільйони років тому назад. На Місяці "моря" розташовані в основному в північній півкулі і по своєму розподілу нагадують земну базальтову структуру на глибині 15-40 км., а на Юпітері Велика червона пляма лежить на північ від екватора. Таким чином у північній півкулі концентруються більш розвинуті структури, ніж у південній.

Найбільш поширеною формою розвитку є спіраль. Вушна улітка людини має форму конічної спіралі, людська пуповина складається з двох вен і однієї артерії, що утворює потрібну Молекула ДНК має форму поздовжньо закрученої спіралі, де кут прилягання її компонентів: тиміну, аденіну, цитозину, гуаніну становить 51° що становить приблизно $1/7$ частину повного кола. Кут нахилу граней піраміди Хеопса близький до 51° . В молекулі води півкут між диполями рівний тій же величині, і цьому ж кутіві підпорядкований "клин" перелітних птахів. Ці кути не є випадковими, а енергетичне вигідними. Спіральні структури відомі в геологічній будові Землі. Вони є застиглими хвилями, які виникли в результаті взаємодії багатьох хвиль, що потрясли планету. Вони виникли в тих місцях, де хвилі підсилювали одна одну, де хвильова енергія була найбільша.

Якщо з'єднати вершини листків на молодому побігу, то отримуємо просторову спіраль. Число витків спіралі, яке необхідно зробити, щоб перейти від нижнього листочка до верхнього (над ним), рівне одному із чисел ряду Фібоначчі 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13... В техніці багато пристроїв, наприклад, різучі інструмента або канали, що підводять воду до лопастей турбін використовують властивість логарифмічної спіралі перетинати свої радіуси - вектори під постійним кутом. При вивченні музичних творів - кульмінація мелодії часто приходиться на точку "золотого січення", яке визначається відношенням сусідніх чисел ряду Фібоначчі. Числа Фібоначчі сумують властивості матеріального світу, а "спіраль" їх ріст або зменшення по експоненті (показниковій функції з основою $e=2,72...$, що по своїй величині близьке до "3" та числа $\pi=3,14...$).

Відомо, що протон є стабільною частинкою, виразимо через кількість протонів основні структурні компоненти Всесвіту.

Назва компонента.	Маса, кг.	Кількість протонів, що приходить на даний компонент структури.
Протон	10^{-27}	1
Орган. Молекула	1 $0 - 20$	
Біологічна клітина	10^{-10}	10^{20}
Жива істота	10^2	10^{30}
Біосфера	10^{14}	10^{40}
Планета	10^{24}	10^{50}
Зірка	10^{30}	10^{60}
Галактика	10^{41}	10^{70}
Всесвіт	10^{53}	10^{80}

Кожне наступне число відрізняється від попереднього в 10^{10} . Знаменник прогресії - $\varphi = 10^{10} = \pi^{20}$.

Отже, будь - яка система є обмежена в своїй кількості компонентів і

єдиним засобом надати обмеженій кількості властивості нескінченності - це цикл. Структурною одиницею реальності і є цикл, особливості прояву якого вивчають різні науки наприклад-періодична система елементів, біологічні цикли розвитку, цикли економічного, соціального, історичного розвитку та інші.

Розділ 2. Фрактали.

Наведені вище факти прояву циклічності в ієрархічних системах, незалежність від зміни масштабу явища, наводить на думку, що спільним в цій множині процесів і об'єктів природи, суспільства, техніки, є фрактальність. Механізм формування фрактальних структур універсальний та простий: багатократне відтворення не великої кількості (саме тому числа 1, 2, 3, 4,... найбільш частіше проявляються в вимірах різних величин і чим менше число тим частіше воно проявляється в результаті виміру) "стандартних" форм у все більш дрібному масштабі де завжди бачимо однотипні структури. Цим обумовлене явище самоподібності.

Самоподібність - це коли при будь-якому збільшенні структури постійно повторюється одна і та ж форма. В цьому і проявляється зв'язок між фракталами та хаотичними процесами. Хаотичні процеси теж повторюють свою великомасштабну структуру на все більш коротких часових проміжках. Фрактали - це просторові аналоги хаотичних процесів. В природі ієрархічні структури зустрічаються там де необхідно зібрати (або подати) з поверхні чи об'єму речовину, енергію в одну точку при мінімальній загальній довжині структури. Такі ієрархії мають властивості фрактала: кожний фрагмент нагадує ціле. Прикладом такого є річкова система; структура кровоносної, нервової, дихальної системи людини; крони та коріння дерев та інше. Так, наприклад, відома функціональна залежність між площею водозбору ріки та її довжиною. Фрактал зв'язаний з числом π :

$$F = 0,58 * L^{1,7718} = 0,58 * L^{\sqrt{\pi}};$$

де - F - площа водозборного басейну ріки; L - довжина річки.

Для того, щоб намалювати листок папороті з допомогою фрактального алгоритму необхідно 24 параметри. Така ж картинка в візуальному запису потребує знаходження координат сотень тисяч точок.

Доведено, що кардіограма є теж фрактальною кривою і причиною її самоподібності (хаотичності) є те, що хаотична динаміка забезпечує організму ряд переваг при адаптації до умов зовнішнього середовища. Отже, природні об'єкти, живі організми формуються шляхом копіювання невеликої кількості ієрархічних структур з постійною зміною масштабу. Це використовують при моделюванні геологічних структур для прогнозування землетрусів, аналізу турбулентності в русі атмосфери, що дозволяє більш точно прогнозувати погоду та в інших випадках.

Хмари, гори, дерева, що становлять приємні для нашого ока пейзажі - все це фрактали, побудовані природою. Щоб одержати такий об'єкт в «лабораторних умовах», наприклад на екрані комп'ютера, потрібно скористатися яким-небудь алгоритмом. Один зі способів побудови фракталів був придуманий Майклом Барнслі в 1984 р., він ґрунтувався на системах ітеруваних функцій (Iterated Function Systems, IFS). Уявимо собі,

що зображення необхідно побудувати на квадратному «полотні» з довжиною сторони, рівній одиниці. Будь-яка точка X на цьому квадраті може бути описана двома координатами: x і y .

Ми можемо задати функцію $f(X)$, що відображає будь-яку точку нашого квадрата в іншу його точку, наприклад так: $f(X) = (0,5*x; 0,5*y)$. Застосовуючи таку функцію до вихідного одиничного квадрата, одержимо квадрат поменше - з довжиною сторони 0,5 (надалі - 0,25 і т.д.). Зрештою наш квадрат «стиснеться» у точку. Процес послідовного застосування функції до результатів її ж роботи математики називають ітерацією, тому Барнслі й назвав таку функцію ітеруємою.

Використання однієї функції не дає ніяких цікавих результатів, але якщо одночасно розглядати дію декількох функцій, то з'являються зовсім несподівані ефекти. Розглянемо, наприклад, що впливає систему функцій:

$$f1(X) = (0,5 x; 0,5 y);$$

$$f2(X) = (0,5 x + 0,5; 0,5 y);$$

$$f3(X) = (0,5 x + 0,25; 0,5 y + 1/4).$$

«Спільну» дію функцій організуємо в такий спосіб: обчислимо значення кожної функції для вихідного квадрата, а потім отримані образи накладемо один на одного. До «підсумкового» зображенню знову застосуємо перетворення. Через кілька повторень картинка перестане змінюватися й перетвориться у фрактал. Використані нами функції являють собою так звані стискаючі відображення - недарма на кожному кроці ми одержували все менші по розміру квадратики. Математикам добре відома теорема Банаха про стискаючі відображення. Вона говорить про те, що для кожного стискаючого перетворення є деяка „нерухома точка” X , що переводиться цим перетворенням сама в себе: $X' = f(X')$. Якщо послідовно застосовувати функцію до довільної початкової точки, то результат буде прагнути до точки X' . Внаслідок цього точку X' називають також аттрактором (від attraction - притягання). Барнслі узагальнив теорему Банаха на випадок декількох перетворень, сформулювавши теорему про колаж. Відповідно до неї, „нерухомою точкою” для системи ітеруємих функцій є деяке зображення. Отже, фрактал повинен виходити в результаті послідовного застосування заданої системи функцій не тільки до квадрата, але й до будь-якого образу! Точніше, майже до кожного - «порожній» квадрат, звичайно, залишиться порожнім, скільки не застосовуй до нього яку б те не було функцію. Такий результат може здатися неймовірним, але в його справедливості легко переконатися. Наприклад, написати на Pascal програму, що довільно заповнює квадрат розміром, скажемо, 250x250 точок (True - крапка зафарбована, False - немає), а потім послідовно виконує над цим масивом наступні перетворення :

```
for i:=0 to size - 1 do
for j:=0 to size - 1 do
if o[i, j] then
```

begin

n [i div 2, j div 2] := true;

n [i div 2 + size div 2, j div 2] := true;

n [i div 2 + size div 4, j div 2 + c] := true; end.

Оскільки з різних вихідних зображень ми неминуче одержуємо фрактал, він „закодований” в обраній нами системі ітеруємих функцій. Виходить, можна представити зображення за допомогою невеликого набору функцій, а ще точніше - параметрів цих функцій.

Спостерігаючи за ритмом серцевих скорочень, зауважують, що іноді їхня частота різко міняється від хвилини до хвилини й від години до години. Лікар, що вводить бронхоскоп у легеню, бачить, як трахея розгалужується на усе більше дрібні дихальні шляхи, створюється враження, що інтервал між скороченнями серцевого м'яза змінюється хаотично. Лікар же, можливо, догадується, що мережа дихальних шляхів, що розгалужуються, нагадує фрактальну структуру. Фізіологи й лікарі лише недавно почали кількісно аналізувати хаотичність динамічних процесів і фрактальні властивості структур. Ці дослідження ставлять під сумнів традиційні принципи медицини й відкривають нові фактори, які можуть служити ранніми провісниками захворювання.

Дихальні шляхи, що сформувалися в ході еволюції й ембріональний розвиток, нагадують фрактали, породжені комп'ютером. Бронхи й бронхіоли легені утворюють "дерево" із численними розгалуженнями. Дрібномасштабна структура дихальних шляхів виглядає так само, як крупно масштабна. Кількісний аналіз розгалуження дихальних шляхів показав, що воно має фрактальну геометрію.

Відповідно до традиційної мудрості медицини, хвороби й старіння пояснюються занадто великим навантаженням на систему, що, загалом кажучи, є добре відрегульованим механізмом. Інакше кажучи, навантаження знижують ступінь упорядкованості, провокуючи нестійкі реакції або порушуючи нормальні періодичні ритми процесів в організмі. У результаті досліджень, що тривали протягом останніх п'яти років, встановили, що серце й інші фізіологічні системи можуть діяти досить безладно, коли організм молодий і здоровий. На противагу інтуїтивним поданням більше регулярне функціонування іноді сполучене зі старінням і захворюваннями.

Кровоносні судини серця мають фракталоподібне розгалуження. Великі судини, гілкуються на більше дрібні судини, які у свою чергу гілкуються на ще більш дрібні судинки.

Нерегулярність і непередбачуваність є важливими характеристиками здоров'я. А зниження мінливості й виникнення яскраво вираженої періодичності причинно зв'язані з багатьма захворюваннями. Керуючись цією концепцією, фізіологи шукали періодичні закономірності, які могли б служити індикаторами захворювань, що розвиваються (зокрема, серцевих). Крім того, почали аналізувати такі характеристики, як гнучкість і

міцність нерегулярних фрактальних структур, а також пристосовність і стійкість до збурювань систем, що демонструють ознаки хаотичного поведіння.

Хаос і фрактали, як об'єкти вивчення пов'язані з дисципліною, названою нелінійною динамікою, у рамках якої розглядаються системи, що реагують на стимули (зовнішні збурювання) нелінійним чином. Теорія нелінійної динаміки дозволяє краще зрозуміти такі явища, як епідемії, кінетика певних хімічних реакцій, зміна погодних умов. У деяких ситуаціях детерміновані нелінійні системи (які мають лише кілька простих елементів) поведуться невпорядковано, перебувають у стані, що називається хаосом. Детерміністський хаос нелінійних динамічних систем - це не той же саме, що хаос в енциклопедичній інтерпретації даного терміна, відповідно до якої хаос - це стан повної дезорганізації або випадки подій. Нелінійний хаос ставиться до обмеженої випадковості, що, помітно, може також асоціюватися із фрактальною геометрією.

Фрактальні структури часто являють собою слід хаотичних нелінійних динамічних процесів. Де б у природі в результаті хаотичного процесу не формувався той або інший елемент природного середовища (берег моря, атмосфера, геологічний розлам), усюди з великою ймовірністю можна виявити фрактали (у контурі берегової лінії, у формі хмар, у конфігурації скельних утворень). І все-таки спочатку математика фракталів розвивалася незалежно від нелінійної динаміки, і навіть зараз зв'язку між цими двома дисциплінами ще не повністю встановлені. Фрактал, згідно Б. Мандельброту з Науково-дослідного центра Т. Уотсона фірми ІВМ, складається з геометричних фрагментів різного розміру й орієнтації, але аналогічних за формою. Деякі нейрони (нервові клітки), наприклад, володіють фракталоподобною структурою. Якщо розглядати ці нейрони через мікроскоп з невеликим збільшенням, то можна чітко побачити клітки, що відходять від тіла, асиметричні розгалужені відростки, названі дендритами. При трохи більшому збільшенні можна спостерігати ще менші відгалуження, що відходять від великих галузей. При ще більш сильному збільшенні виявляється новий рівень структури: відгалуження від відгалужень і т.д. На деякому рівні розгалуження відростків нейрона закінчується, але ідеальні фрактали мають нескінченно зменшувану структуру (див. статтю: Л. Сандер. Фрактальний ріст, "У світі науки", 1987, № 3).

Можливо, ще більш примітно те, що на кожному рівні масштабу структура фрактала подібна (хоча й не обов'язково ідентична) структурам, спостережуваним як у більших, так і в більше дрібних масштабах. Якщо глянути на дві фотографії дендритів з різним збільшенням, те, мабуть, важко вирішити, яка фотографія відповідає більшому, а яка меншому збільшенню. Всі фрактали володіють цією внутрішньою властивістю подоби на різних рівнях, яке можна назвати властивістю "самоподоби". Оскільки фрактал складається з аналогічних один одному структур з усе більше дрібних деталей, його довжина не піддається чіткому визначенню.

Якщо спробувати виміряти довжину фрактала за допомогою лінійки, то якісь деталі завжди виявляться менше самого дрібного розподілу лінійки.

Тому з ростом розв'язної здатності вимірювального інструмента довжина фрактала збільшується. Тому що довжина фрактала не є представницькою величиною, математики обчислюють "розмірність" фрактала, щоб кількісно оцінити, як він заповнює простір. Знайоме всім поняття розмірності ставиться до класичного, або евклідової геометрії. Лінія має розмірність одиниця, коло має розмірність два, сфера - три.

Однак фрактали мають не цілу, а дробову розмірність. У той час як гладка евклідова лінія заповнює в точності одномірний простір.

Самоподібність системи означає, що структура або процес виглядають однаково в різних масштабах або на різні по тривалості інтервалах часу. Якщо розглядати структуру тонкого кишечнику при різному збільшенні (угорі), то можна виявити подібність між більшими й маленькими деталями, що говорить про самоподобу. Коли серцевий ритм здорової людини реєструється для інтервалів 3, 30 і 300 хвилин (униз), швидкі флуктуації виглядають майже також, як повільні.

Фрактальна лінія виходить за межі одномірного простору, вторгаючись у двовимірне. Фрактальна лінія, наприклад контур морського берега, має розмірність між одиницею й двійкою. Аналогічним чином фрактальна поверхня, гірський рельєф, наприклад, має розмірність у межах від двох до трьох. Чим більше розмірність фрактала, тим більше ймовірність, що задана область простору містить фрагмент цього фрактала.

У людському організмі безліч фракталоподібних утворень - у структурі кровоносних судин і різних проток, а також у нервовій системі. Найбільше ретельно вивчена фрактальна структура дихальних шляхів, по яких повітря надходить у легені. В 1962 р. Е. Уэйбел, Д. Гомес, а пізніше О. Раабе і його колеги виміряли довжину й діаметр трубок у цій нерегулярній системі, повторно проаналізували такі виміри по зліпках легенів людини й деяких інших видів ссавців, прийшли до висновку, що незважаючи на деякі невеликі міжвидові розходження, структура дихальних шляхів завжди відповідає тієї, котра справедлива для розмірностей фракталів.

Багато інших систем органів також представляються фрактальними, хоча їхньої розмірності ще не були кількісно оцінені. Фракталоподібні структури відіграють важливу роль у нормальній механічній і електричній динаміці серця. По-перше, фракталоподібна структура серцевих артерій і вен здійснює кровопостачання серцевого м'яза. Скористалися фрактальною геометрією для пояснення аномалій у кровотоці до здорового серця. Припинення цього артеріального потоку може викликати інфаркт міокарда (розрив серцевого м'яза). По-друге, фракталоподібна структура (сухожиль) у самім серці прикріплює митральний і тристулковий клапани до м'язів. При розриві цих тканин може відбутися різкий відтік крові від жолудочків до передсердь, за яким піде застійна серцева недостатність. І нарешті, фрактальна організація простежується також у картині розгалуження

деяких серцевих м'язових волокон в системі Гіса, що проводить електричні сигнали від передсердь до жолудочків.

Хоча ці фрактальні анатомічні структури виконують неоднакові функції в різних органах, у них все-таки помітні деякі загальні анатомічні й фізіологічні властивості. Фрактальні відгалуження або складки значно збільшують площу поверхні, необхідної для усмоктування (у тонкому кишечнику), розподілу або збору різних речовин (у кровоносних судинах, жовчних протоках і бронхіолах) і обробки інформації (у нервовій системі). Фрактальні структури, почасти завдяки своїй надмірності й нерегулярності, є робастними системами й добре протистоять ушкодженням. Наприклад, серце здатне продовжувати роботу при відносно невеликій механічній дисфункції, незважаючи на значні ушкодження системи Гіса, що проводить необхідні для його функціональної діяльності електричні імпульси.

Фрактальні структури в людському організмі є результатом повільної динаміки ембріонального розвитку й еволюції. Ці процеси, подібно іншим процесам, що породжують фрактальні структури, демонструють детерміністський хаос. Недавно в ході фізіологічних досліджень були виявлені інші явні приклади хаотичної динаміки в більше коротких, доступних для експерименту масштабах часу. На початку 80-х років, коли дослідники почали застосовувати теорію хаосу до фізіологічних систем, вони припускали, що хаос найбільше очевидно буде проявлятися у хворих або старіючих системах. Дійсно, інтуїція й устояні прийоми медичної практики давали для цього досить вагомі підстави. Коли прослуховуєш серце за допомогою стетоскопа або мацаєш пульс на руці, ритм серцевих скорочень здається стійким і незмінним. У людини в стані спокою сила пульсації й інтервали між ударами серця здаються приблизно постійними. Тому кардіологи традиційно описують нормальну роботу серця у вигляді синусоїдальної кривої.

Більше ретельний аналіз показує, що в здорових людей серцевий ритм піддається значним коливанням, навіть у стані спокою. У здорових молодих людей частота пульсу становить у середньому близько 60 ударів у хвилину й може коливатися в межах 20 ударів у хвилину протягом кожних декількох ударів. Протягом дня частота серцевих скорочень може мінятися від 40 до 180 ударів у хвилину.

Протягом принаймні п'ятдесяти років лікарі інтерпретували флуктуації серцевого ритму в концепції гомеостазу, що означає, що фізіологічні системи, як правило, поводяться таким чином, щоб зменшувати зміни й підтримувати сталість внутрішніх функцій. Відповідно до цієї концепції, розробленої У. Кэнноном з Гарвардського університету, будь-яка фізіологічна змінна, включаючи частоту серцевих скорочень, повинна після збурювання вертатися до величини, що відповідає стану стійкої рівноваги. Відповідно до концепції гомеостазу, варіації серцевого ритму - це просто тимчасові відповідні реакції на флуктуації в навколишнім середовищі. У рамках цієї концепції розумно думати, що під час захворювання або в результаті

старіння організму стає сутужніше підтримувати постійний серцевий ритм і амплітуда його варіацій зростає.

Зовсім інша картина виявляється при ретельній реєстрації нормального серцевого ритму удар за ударом протягом доби. Цей графік виглядає "рваним", нерегулярним і на перший погляд зовсім випадковим. Однак якщо відкласти дані про частоту серцевих скорочень у декількох тимчасових масштабах, то виявляється якась закономірність. Якщо проаналізувати поведження кривої на ділянці в кілька годин, то на графіку можна знайти більше швидкі флуктуації, діапазон і послідовність яких схожі на відповідні характеристики вихідного графіка, що охоплює більше тривалий інтервал часу. При більш дрібному тимчасовому масштабі (хвилини) можна виявити ще більш швидкі флуктуації, які знов-таки нагадують флуктуації на вихідному графіку. Флуктуації ритму в різних масштабах часу виглядають подібними самим собі точно так само, як гілці геометричного фрактала. Це спостереження свідчить про те, що механізм, керуючий серцевим ритмом, по суті своєї може бути хаотичним. Інакше кажучи, частота серцевих скорочень, замість того щоб прагнути до гомеостатичної стабільної величини, може перетерплювати значні флуктуації навіть під час відсутності флуктуації в зовнішніх стимулах.

Щоб з'ясувати, чи є варіації частоти серцевих скорочень хаотичні або періодичними, потрібно обчислити спектр Фур'є за графіком показань датчика. Спектр Фур'є будь-якої хвильової функції, (зокрема, графіка серцевих скорочень), дозволяє виявити присутність періодичних компонентів. Якщо, наприклад, графік показує ритм, у точності рівний одному удару в секунду, то в спектра буде різкий пік на частоті, рівному одному герцу. У той же час, графік, що відбиває хаотичний характер серцевого ритму, породжує спектр, що або покаже широкі піки, або взагалі відсутність яскраво виражених піків. Спектральний аналіз нормальних варіацій частоти серцевих скорочень насправді виявляє широкий спектр, що свідчить про хаос.

Іншим інструментом динамічного аналізу складних нелінійних систем є подання їхньої поведінки в "фазовому просторі". При цьому простежуються зміни в часі значень, прийнятих незалежними змінними. Число й тип незалежних змінних залежать від властивостей системи (див. статтю: Дж. Кратчфілд, Дж. Фармер, Н. Паккард, Р. Шоу. Хаос, "У світі науки", 1987, № 2). Для багатьох складних систем ідентифікувати й виміряти всі незалежні змінні просто неможливо. У таких випадках подання у фазовому просторі можна одержати, скориставшись методом карт затримки. У найпростішій такій карті кожна точка відповідає значенню деякої змінної в заданий момент часу, узятому щодо значення тієї ж змінної після фіксованого часу затримки. Послідовність цих точок для послідовних моментів часу утворить криву, або траєкторію, що описує еволюцію системи.

Щоб установити тип динаміки системи (хаотичний або періодичний),

потрібно визначити траєкторію. Не намітилось єдиного підходу до класифікацій в різних галузях знань, хоча є багато спільного в їхніх структурах. Будь - яка класифікація основана на виявленні симетрії класифікуємих об'єктів. Симетрія завжди зменшує число можливих варіантів природних структур, що добре видно на прикладі фракталів. Оптимальною ієрархічною структурою і є фрактал, що дає можливість при фрактальній обробці стиснути інформацію, представити в розгорнутому вигляді картину стану в будь - якій галузі науки та техніки, створити нові моделі для виявлення невідомих ще фактів, закономірностей.

Розділ 3. Самоорганізуючі явища.

В проблемах фізичних, біологічних, хімічних, технічних науках постає ряд питань які раніше відносились до філософських: чому фундаментальні фізичні закони не можуть передбачити поведінку біологічних об'єктів? Чому ціле може мати властивості які не має ні одна з його частин? Чому така відмінність між природними системами, які стійкі відносно змін зовнішнього середовища і можуть рости, самоускладнюватись, та системами створеними людиною, які починають погано функціювати при невеликих помилках в управлінні чи змінах.

Одне з дивних явищ розглянутого класу - самосинхронізація неврівноважених роторів (роторів, вісь обертання яких не проходить через центр мас). Виявляється, два або більше кінематично й електрично не зв'язаних між собою ротора, установлені на загальній рухливій основі й приводять у рух від незалежних асинхронних двигунів, обертаються синхронно - з однаковими або кратними середніми кутовими швидкостями й з певними взаємними фазами. При цьому погодженість обертання роторів виникає, незважаючи на розходження між їх парціальними кутовими швидкостями, тобто тими швидкостями, з якими вони обертаються, будучи встановленими на нерухомій основі. Тенденція до синхронного обертання виявляється в багатьох випадках настільки сильної, що навіть вимикання одного або декількох двигунів не приводить до випадання із синхронізму: ротори з виключеними двигунами можуть продовжувати обертатися необмежено довго.

Очевидно, перше спостереження й опис явища синхронізації коливних об'єктів належить Х.Гюйгенсу, що ще на початку другої половини XVII в. виявив, що пари маятникових годин, що ходили по-різному, самосинхронизувалась, коли їх прикріплювали до легкої балки замість стіни. Наприкінці 19-го сторіччя Дж.Рэлей помітив, що дві органні труби з розташованими поруч отворами при близькому настроюванні починають звучати в унісон, тобто відбувається взаємна синхронізація коливань. Іноді при цьому труби можуть змусити один одного майже повністю "замовчати". Аналогічне поводження було виявлено Релеєм і у двох електричних або механічно зв'язаних камертонів. Наприкінці XIX - початку XX в. були відкриті явища синхронізації в електричних ланцюгах і в деяких електромеханічних системах. Взаємна синхронізація електричних генераторів і генераторів електромагнітних коливань донедавна являла собою головні технічні додатки синхронізації, їм присвячене значне число теоретичних і експериментальних досліджень. Зовсім недавно прийшло повідомлення про грандіозну аварію - відключенні електростанцій на східному узбережжі США й Канади. Є

підстави припускати, що причиною було (бути може, спровоковане) випадання з ритму однієї з електростанцій і ланцюгова реакція, що пішла. Самосинхронізація обертань характерна не тільки для неврівноважених роторів, розташованих на єдиній коливальній системі, але й для багатьох інших обертових взаємодіючих тіл (зокрема, для небесних тіл). Було встановлено, що для виникнення тенденції до синхронізації принципово важливо саме наявність сил взаємодії, що залежать, крім іншого, від кутових координат тіл. При цьому синхронізація обертань, що супроводжується встановленням певних фазових співвідношень, часто відбувається навіть при досить слабких взаємодіях. Зокрема, стало зрозумілим, що у випадку небесних тіл мова, безсумнівно, іде про загальну закономірність - прагненні гравітаційно-взаємодіючих обертових тіл до взаємної синхронізації, причому ця тенденція визначається загальним для багатьох класів обертових тіл механічним принципом - так званим інтегральним критерієм стійкості синхронних рухів.

Виявлення синхронізації неврівноважених роторів і розвиток її теорії дозволили зрозуміти тенденцію до синхронізації як загальну властивість матеріальних об'єктів різної природи - тенденцію до самоорганізації, протилежної прагненню до хаотичного поводження. По суті справи, виник новий розділ сучасної нелінійної механіки - теорія синхронізації динамічних систем. Значний інтерес дослідників нині залучають проблеми синхронізації в живих системах. Відомі ефекти самосинхронізації випромінювання жучків-світлячків на одній галявині, скандовані оплески великої аудиторії. У цей час почалися численні дослідження синхронізації в співтовариствах кліток і нейронів, у тому числі у зв'язку зі спробами зрозуміти механізми пам'яті емоцій. Ще Н.Вінер висунув гіпотезу про синхронізаційному механізмі росту ракових кліток; ця гіпотеза дотепер не підтверджена й не спростована. Безсумнівна роль синхронізації в мікросвіті. Вивчення таких процесів лише починається. Все сказане вище ставилося до "частотної" або, як іноді говорять, до "гюйгенсової" синхронізації, зокрема до самосинхронізації. В останні роки з'явилася велика кількість робіт, присвячених синхронізації в більше широкому змісті - як погодженому в часі протіканню або узгодженню двох і більше процесів. Значна увага приділяється проблемам керування синхронізацією й синхронізації хаотичних рухів. Особливий інтерес представляють віброреологічні ефекти, що складаються в зміні характеристик пружних систем під дією вібрації. Очевидно, першим звернув увагу на такі ефекти академік В.Н.Челомей, що вказав на їхній зв'язок з поводженням маятника, що має віброуючу вісь. Той же ефект має місце у випадку струни, натяг якої швидко періодично змінюється. У результаті струна здобуває додаткову "вібраційну" твердість, перетворюючись, як і мотузка, у пружний "стержень". Наведені приклади можуть розглядатися як граничні окремі випадки так званих динамічних матеріалів, ідея створення яких недавно була висловлена К.А.Лур'є й автором. Під динамічними матеріалами розуміються середовища, фізичні параметри яких (щільність,

твердість, електромагнітні властивості й т.п.) змінюються як у просторі, так і в часі. Це щось начебто “живих” матеріалів, на відміну від звичайних (ті щодо цього є “мертвими”). Іншими прикладами можуть служити два або більше різні середовища, що взаємно проникають одна в іншу й здійснюючі відносно один одного деякі рухи, зокрема, коливання (в останньому випадку можна говорити про вібраційні динамічні матеріали). Динамічні матеріали повинні мати незвичайні властивості, що істотно відрізняються від властивостей вихідних речовин. Зокрема, можна створити об'єкти, у яких порівняно довгі хвилі поширюються тільки в одному напрямку, так що певна частина середовища виявиться ізольованою від довгохвильових впливів. Можна організувати середовища так, що вони будуть швидко гасити або, навпаки, формувати ударні імпульси. Зрозуміло, певні труднощі представляють конкретні технічні способи створення динамічних матеріалів. Такі способи вже почали розроблятися. Не дивлячись на стремління будь-якої матеріальної системи до хаосу, в реальному світі існують системи чия складність не зменшується, а збільшується. Розвиваються вони можуть за рахунок притоку зовнішньої енергії. Погляди сучасної науки багато в чому схожі з роздумами вчених і філософів Давнього Схалу. Причиною нього є:

- в дослідженні складних самоорганізуючих систем перш: за все розглядаються внутрішні властивості, як джерело саморозвитку,
- нове відношення до проблеми цілого та частини.

Для філософів античності було звичайним, що частина завжди простіше цілого, і вивчивши кожен із частин, можна зрозуміти властивість цілого. Цей підхід зберігався в природознавстві до теперішніх часів. Але розвиток науки прийшов до висновку про необхідність системного аналізу. Сучасна наука, яка займається вивченням законів організації, самоорганізації і має справу з процесами де ціле має властивості, що не має жодна з частин – називається синергетикою. Нове, що вносять сучасні представлення про самоорганізацію - це пошук джерел організації в ній самій, в механізмах її рухів. Дію всіх природних та соціальних законів можна уявити як постійний відбір: із мислимого відбирається можливе. Всі динамічні системи постійно вибирають. Існує два механізми вибору: механізм адаптаційного типу наприклад; закони Дарвіна. Під дією змін проходить не повільне накопичення, а стрімка перебудова, наприклад: навантаження перевищує критичний поріг, тоді система губить стійкість і виходить на перетин можливих каналів еволюції, при виборі каналу еволюції система підпорядковується законам природи в такій послідовності: спочатку - закони збереження, потім варіаційні закони, наприклад: при будь-якому переміщенні, розвитку вибирається найбільш економна траєкторія

При самоорганізації системи будь-якої природи проходить її ускладнення, що дає перевагу перед системами з простою структурою. Із множини можливих станів реалізується той стан при якому розсіяння енергії мінімальне. З іншої сторони, чим складніша система, тим більше параметрів, а це часто приводить до невільного вибору пріоритетів. В “еволюційній грі” виграє та система де досягнуто оптимального компромісу між обома тенденціями. Він полягає в дотриманні пропорції “золотого січення” - відоме числове співвідношення, що зв'язане з поняттям гармонії.

Будь-яка система обмежена в кількості своїх елементів. Єдиним способом придати обмеженій кількості властивості нескінченності - це заставити обертатись її по замкненій криві. У властивість функціонування системи вводиться цикл, що є структурною одиницею реальності, він є предметом вивчення всіх наук. Закони та категорії різних наук відображають цикл та його закономірності, наприклад: періодична система елементів, біологічні цикли розвитку, цикли економічного, соціального, історичного розвитку та інші..

Структурні елементи циклу виступають як реальні вузли протиріч. Саме цю особливість розвитку систем будь-якої природи повинна відображати синергетика. Ключове поняття інформатики - модель. Сучасні складні математичні інформаційні моделі мають нелінійний характер, що означає можливість якісних змін рішень при неперервній зміні параметрів. Головна причина невдач теорії інформації в тому, що в неї не існує принципу оптимальності (твердження про мінімум чи максимум деякої величини - цільової функції). Основні закони природи є лише ті які залишаються незмінними в будь-якій системі відліку, - цій вимозі відповідають екстремальні принципи: принцип Ферма в оптиці, принцип найменшої дії в механіці .

Проблему моделювання самоорганізуючих явищ можна звести до проблеми створення інформаційних моделей досліджуваних явищ. Підсумовуючи сказане вище можна бути впевненим, що самоорганізація системи будь-якої природи: біологічної, соціальної економічної, технічної та іншої відбувається при умовах:

- вільною потоку енергії, інформації;
- циклічного переносу енергії, інформації структурами, системи - (відображається в коливаннях, ритмах, циклах);
- наявність екстремальної функції мети існування системи. Розглянемо це на прикладі розвитку технічних, технологічних систем. Сучасний технічний прогрес базується на реалізації таких принципів: удосконалення, виключення, суміщення. Будь - яку технологію, технічну систему можна характеризувати показниками K_i де $i=1,2,3...$ - якість, трудоємкість, та інші параметри. Технічна система, технологія складається із основних елементів.

Цільова функція технології запишеться так:

$$\sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^{j=N} K_{ij} = K_0$$

$$K_0 \longrightarrow \begin{matrix} \text{max} \\ \text{EXTR} \\ \text{min} \end{matrix}$$

де K_{ij} - приведений показник типу i для елемента j ;

при $N = \text{CONST}$ РІВНЯННЯ має рішення при крайових умовах:

$N = \text{const}$, $K_i = \text{extr}$ - принцип вдосконалення;

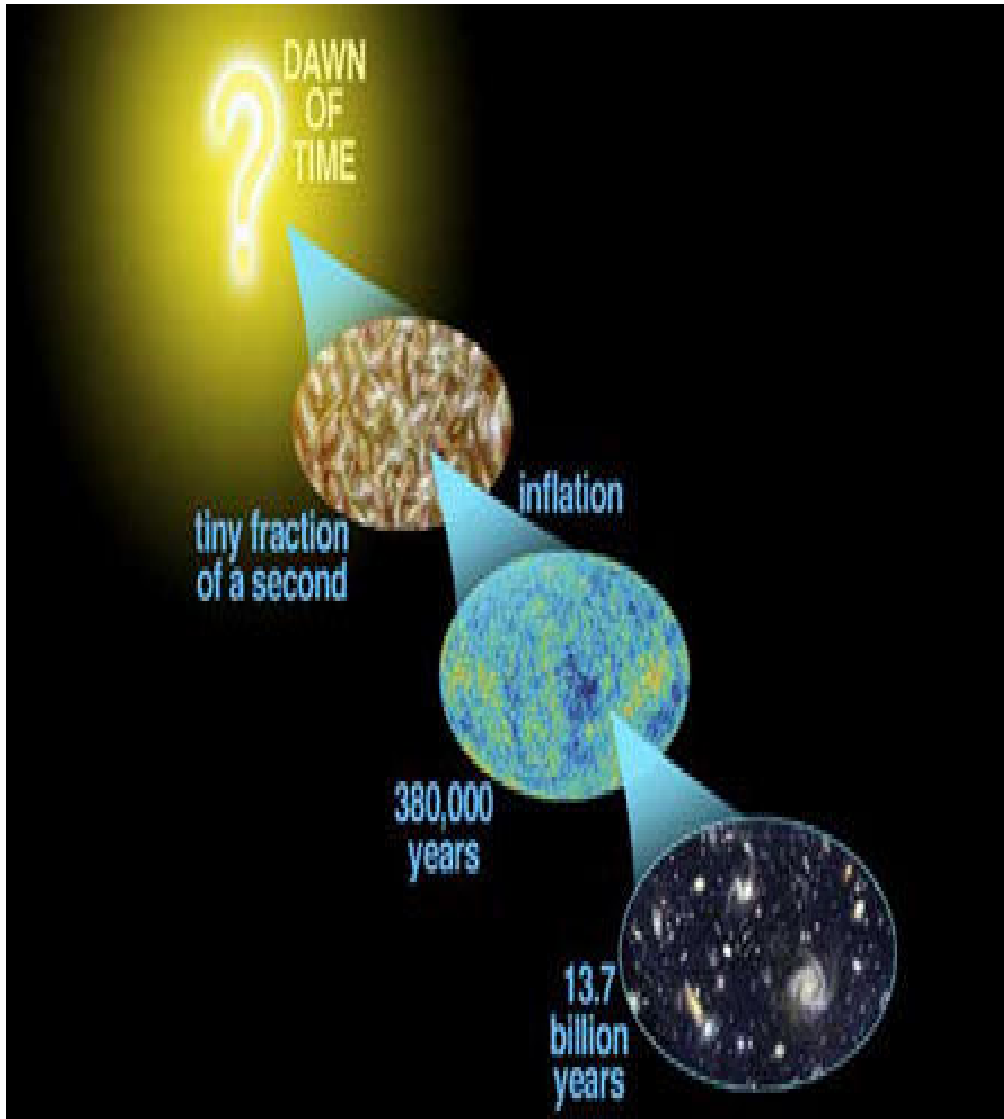
$N = \text{extr}$, $K_i = \text{const}$ – принцип виключення;

$N = \text{extr}$, $K_i = \text{extr}$ – принцип суміщення.

Умова: $N = \text{extr}$, $K_i = \text{const}$ означає, що робота по розвитку технології збиткова. Під принципом вдосконалення розуміється не тільки покращення окремих елементів технології, але створення нових об'єктів того ж призначення. Можливості принципу вдосконалення ограничені тому, що загальна кількість елементів технічної системи не змінюється.

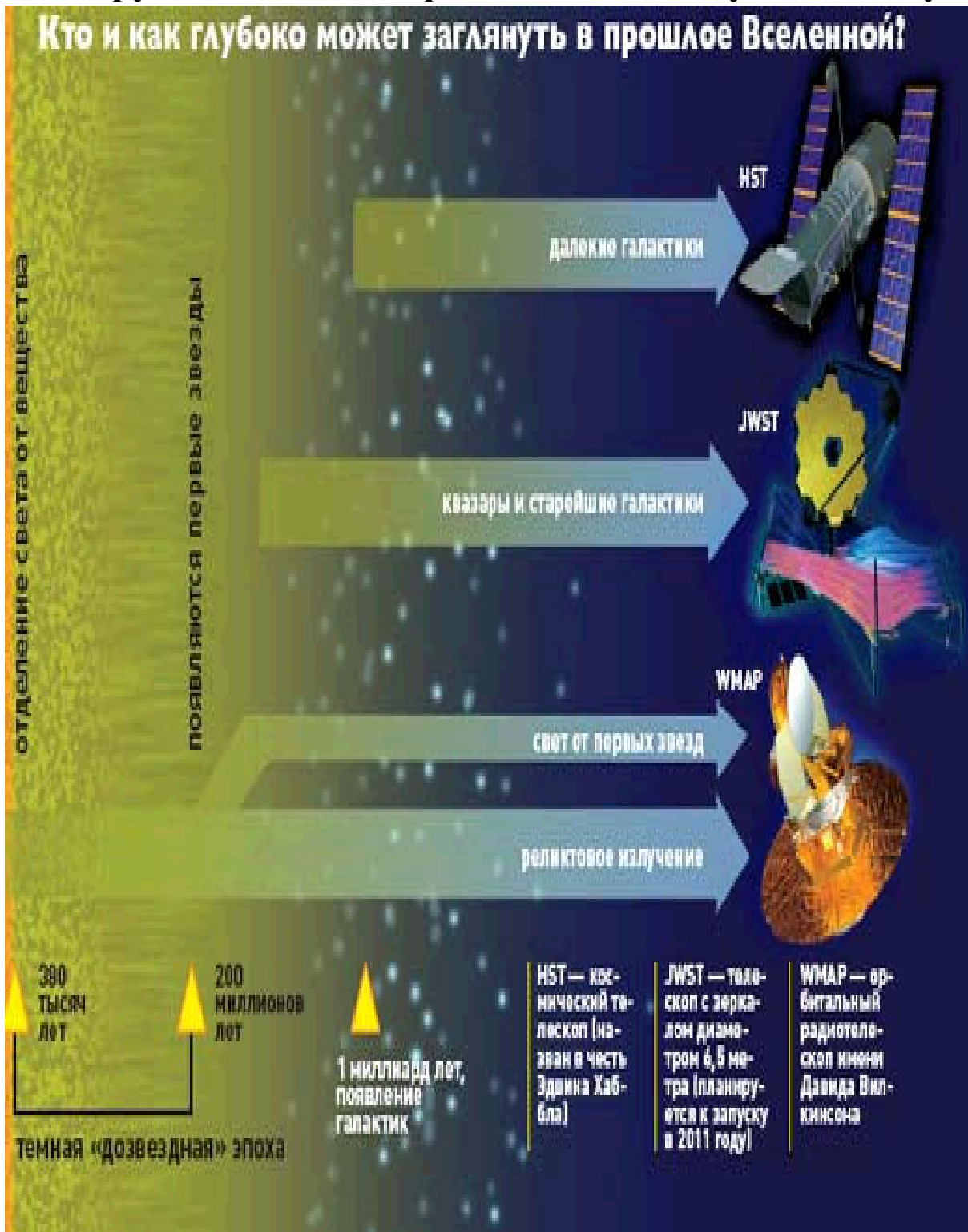
Основний підхід в створенні нових рішень в технології є принцип суміщення функціональних призначень різних елементів, що веде до скорочення їх загального числа $N = \text{const}$, а загальний показник якості прямує до екстремального значення $N = \text{extr}$. принцип суміщення – це синергетичний підхід до створення нових технологій та технічних систем, що повинно бути методологічною основою їх розвитку.

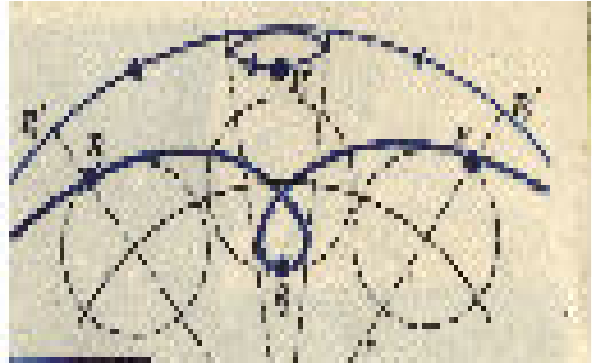
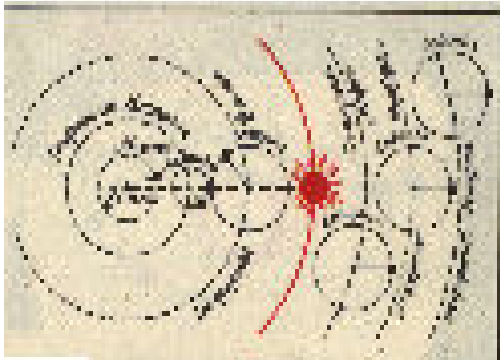
Вісь часу.



Инструменты, якими проникають в минуле Всесвіту.

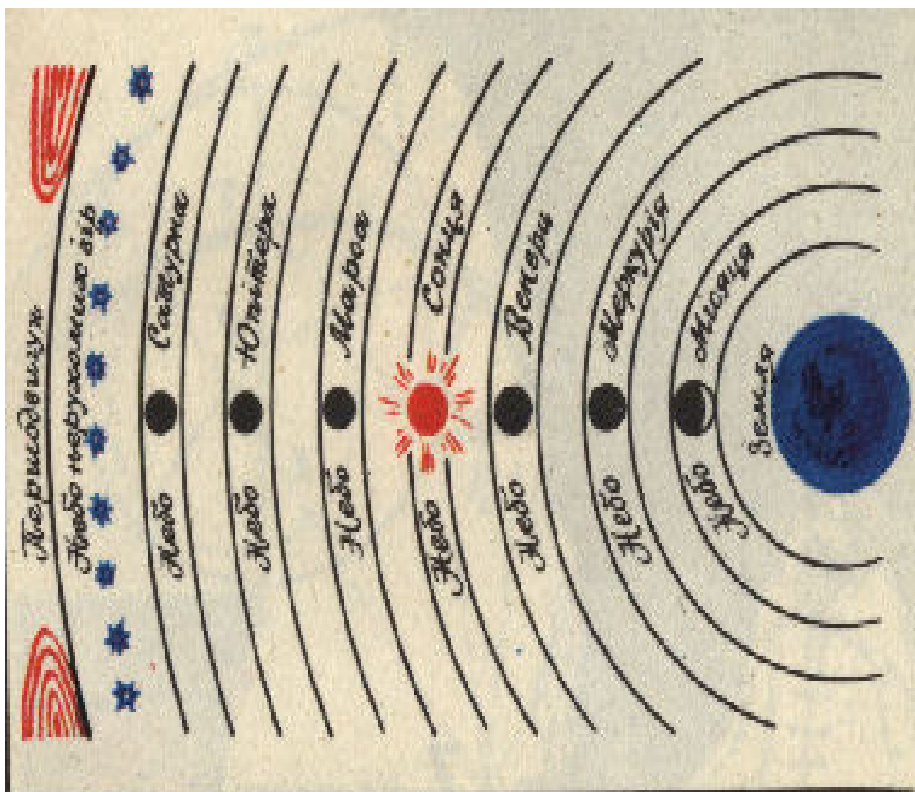
Кто и как глубоко может заглянуть в прошлое Вселенной?



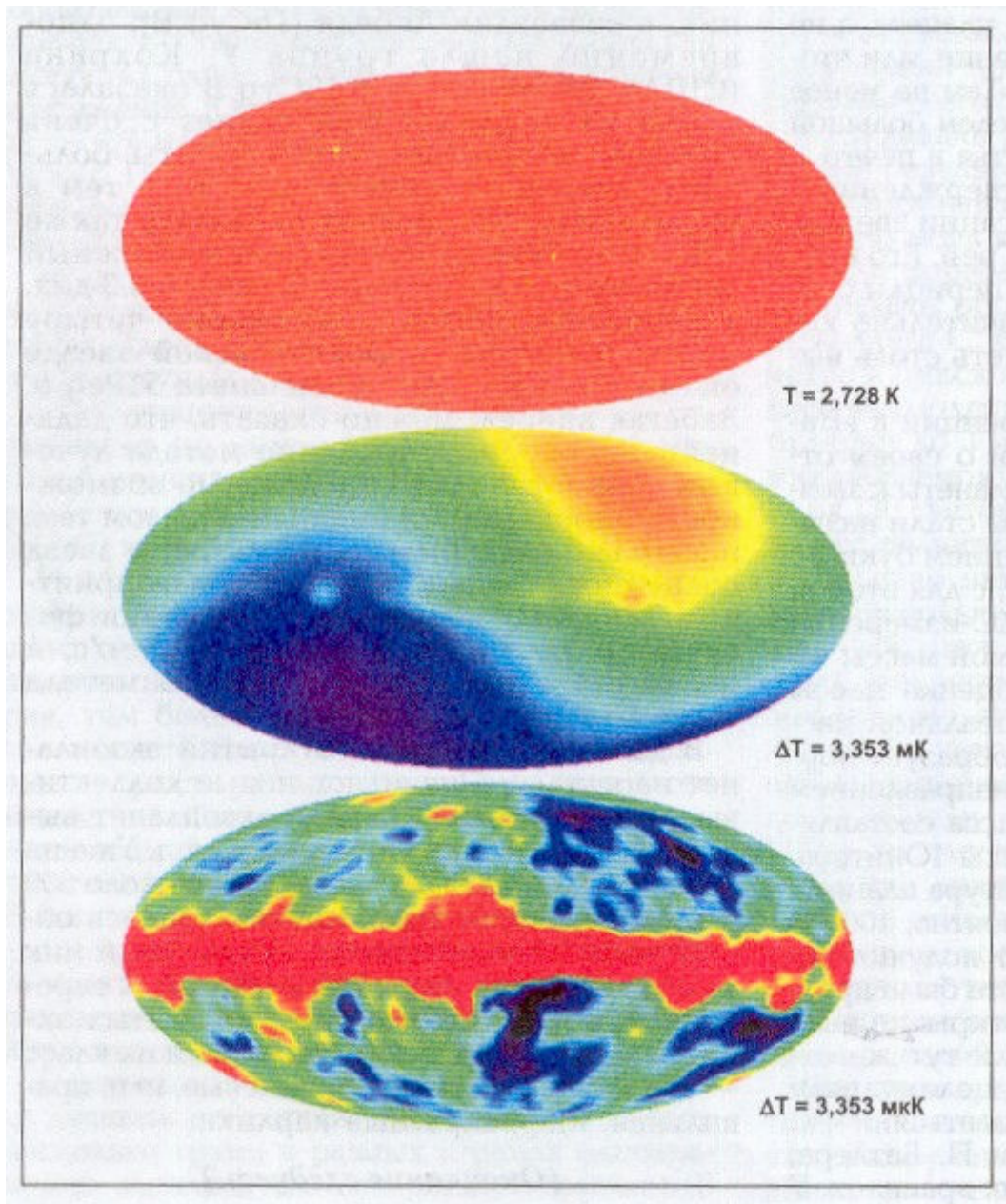


Модель світу за Птолемеєм.

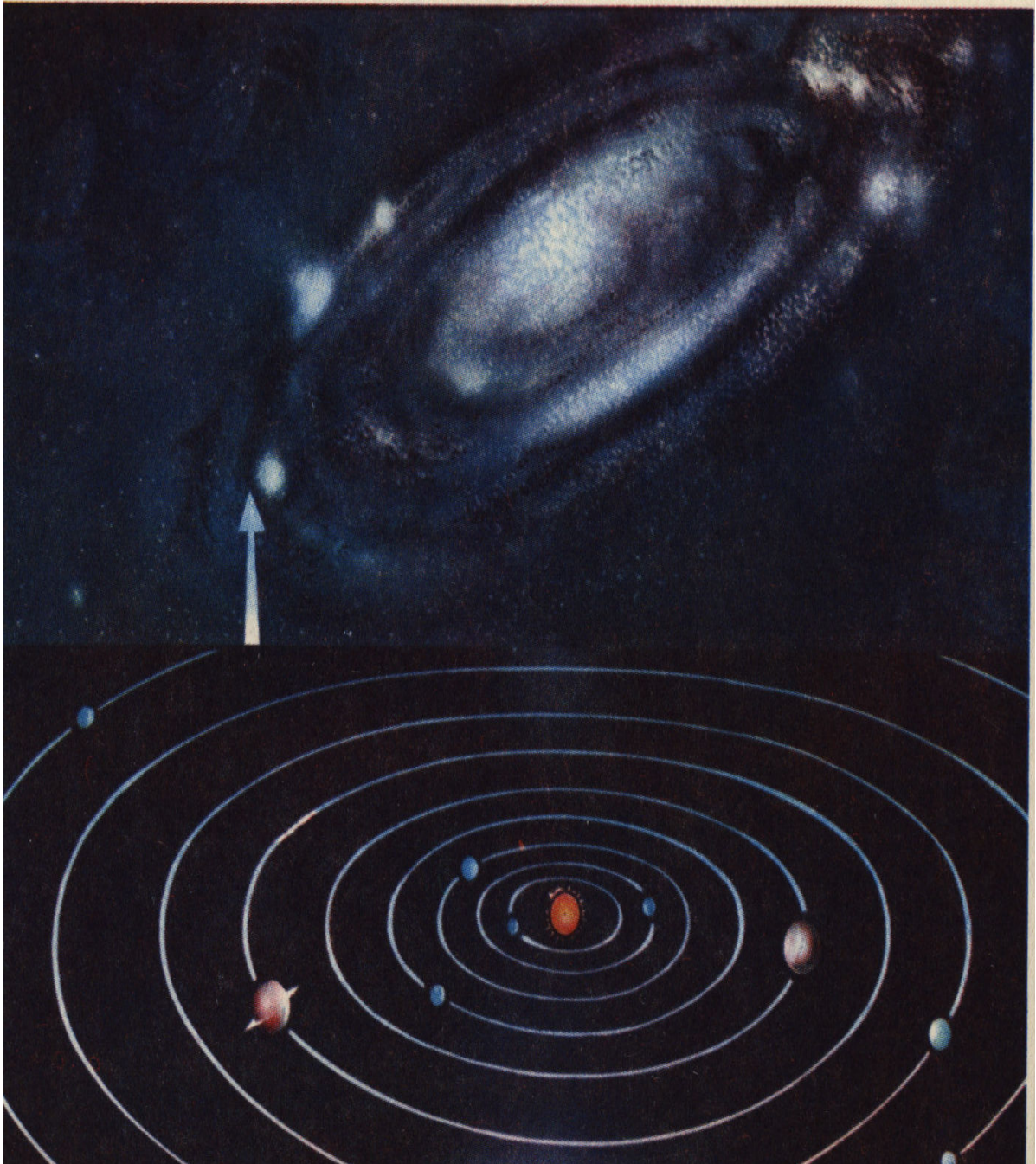
Модель світу за Арістотелем.

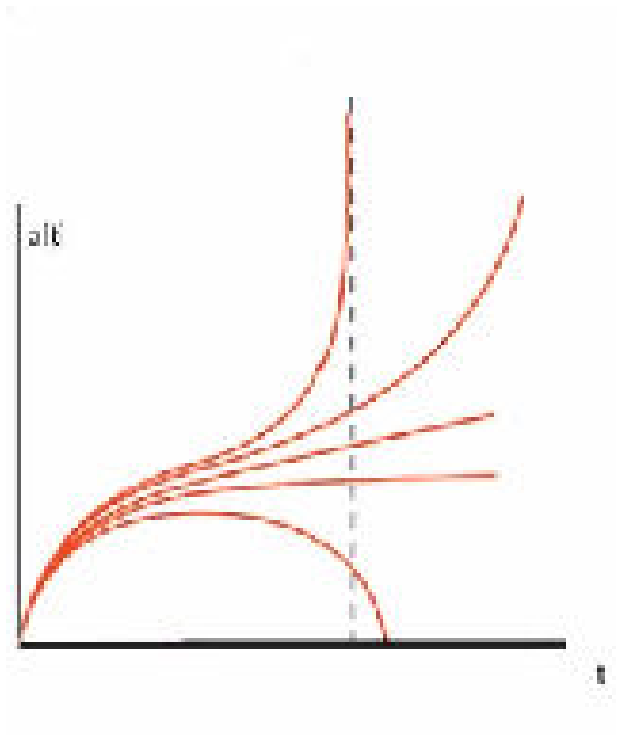


Карта реліктового випромінювання.



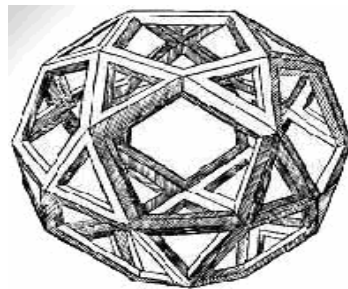
Місцезнаходження Сонячної системи в Галактиці.





**Моделі залежності розмірів Всесвіту
від часу.**

Можлива модель Всесвіту.



Астроклімат Землі.

При виборі місця для будівництва обсерваторії астрономів у першу чергу цікавить кількість ясного нічного часу. Воно виміряється в сумарній річній кількості годин безхмарного неба в період астрономічної ночі, коли занурення Сонця під обрій перевершує 18 градусів і вже не помітні сутінкові явища. Для старих університетських обсерваторій, розміщених поблизу великих міст Європи, цей час складає порядку 200–300 годин у рік (Пулково, Рига, Москва); для гірських обсерваторій, що розташовуються в південній частині б.в. СРСР (Крим, Кавказ, Казахстан, Узбекистан), це 1000–1500 година, а для найбільш сучасних обсерваторій у горах Чилі і на Гаваях – 2500–3000 годин.

Однак навіть зовсім ясна ніч може не задовольняти астрономів по якості зображення об'єктів. Повітряні шари різної щільності по-різному переломлюють світловий промінь. Якщо повітря спокійне, це приводить лише до зсуву зображення як цілого. Але якщо шари повітря з різною температурою, а отже і щільністю, хаотично перемішані, то зображення зірки тремтить і розмивається, дрібні деталі на поверхні планет не видні, точно вимірювати положення і яскравість зірок неможливо. Якість зображення звичайно характеризують кутовим діаметром кружка, у виді якого з'являється зображення зірки в телескопі. Прийнятним для спостережень вважається якість зображення в 2–3I, дуже гарним – у 1I. На кращих високогірних обсерваторіях бувають зображення в 0,5I і навіть 0,35I. Далеко не кожна ясна ніч відрізняється високою якістю зображення. Зокрема, вітряна погода погіршує якість зображення – зірки сильно мерехтять і тремтять; це зв'язано з посиленням турбулентності в атмосфері.

Оскільки великий телескоп коштує дуже дорого, а ефективність його роботи прямо залежить від астроклімата в пункті спостереження, астрономи присвячують чимало сил вибору місця для будівництва обсерваторії. Попередній добір перспективних місць виробляється на основі метеорологічної інформації, а потім організуються багатомісячні (іноді і багаторічні) експедиції для вивчення обраних місць. За допомогою невеликих експедиційних приладів, що імітують спостереження з великим телескопом, проводяться виміри якості зображень зірок у різні сезони року. Остаточне рішення про будівництво обсерваторії приймається, виходячи з отриманих експедиціями результатів і, у чималому ступені, економічних обставин: наявності електричних і водяних джерел, морських портів, аеродромів і доріг, оскільки доставка і монтаж великого телескопа і насамперед його багатометрового дзеркала представляє складну транспортну проблему.

Навіть у самих гарних, з погляду астроклімата, гірських вершинах, таких, як Серро-Параналь у чилійській пустелі Атакама, Мауна-Кеа на о.Гаваї, Рока-делос-мучачос на о.Ла-Пальма в архіпелазі Канарськ островів, прозорість атмосфери і якість зображення безупинно змінюються. Тому астроном-спостерігач регулярно робить записи в журналі спостережень із указівкою стану неба і розміру зображення зірок. При високоточному вимірі блиску

перемінних зірок приходиться до і після виміру досліджуваної зірки визначати також блиск спеціально обраних зірок порівняння («стандартів»), про які відомо, що вони світять дуже стабільно, тому зміну їхньої видимої яскравості цілком зв'язана з властивостями атмосфери Землі.

Одним із простих способів дати кількісну оцінку якості неба є вказівка на саму слабку зірку, видиму неозброєним оком. Хоча кожна людина по-своєму визначає саму слабку зірку, у середньому ця величина приблизно однакова для всіх людей з нормальним зором. Індивідуально для кожного спостерігача такий метод визначення якості неба дає дуже надійну відносну оцінку. Для визначення слабшої з видимих зірок прийнято використовувати область неба поблизу північного полюса світу. Ця область має кілька переваг: на середніх північних широтах вона що незаходить; її висота не міняється протягом ночі і року, так що зміною прозорості атмосфери з висотою можна зневажити. У цій області немає яскравих зірок і не буває планет, які б зліпили ока. Слабкі зірки досить далекі друг від друга і тому легко ототожнюються. Крім того, поле навколо Полярної зірки має просту конфігурацію і легко запам'ятовується.

Крім природних факторів, що впливають на астроклімат, у 20 ст. він зазнав впливу від істотної цивілізації. Найважливішим негативним фактором стало нічне освітлення міст, що зробило неможливим проведення в них астрономічних спостережень.

Протягом 20 ст. більшість людей позбавилося виду Всесвіту, що захоплює, яким могли насолоджуватися їхні предки в будь-яку ясну ніч. Поширення електричного освітлення і ріст міського населення стали причиною швидкого росту яскравості неба над містами. Деякі із сучасних людей не бачили первозданне темне небо. Для міського жителя посипане зірками небо доступне тільки в планетарії. Комета Хейла – Боппа (1997) була самою видовищною кометою нашого часу, але через засвітки міста для більшості людей вона виглядала як ледь помітна розмита кулька. Навіть у сільській місцевості слабке двірське освітлення часте затьмарює нічне небо.

Надлишок нічного освітлення не тільки викликає збільшення яскравості неба, але й у цілому негативно впливає на навколишнє середовище, втручаючись в природні ритми біосфери. Надлишкове освітлення викликає і прямі форми забруднення навколишнього середовища, зв'язані з видобутком, транспортуванням і спалюванням вугілля і нафти. Зайве світло в основному зв'язаний з поганою конструкцією ліхтарів, що розсіюють промені горизонтально і нагору, у небо. Це світло засліплює водіїв і пішоходів, піддаючи їхнє життя ризику. При цьому безглузда витрата електроенергії складає по усьому світі мільярди доларів у рік.

Дуже чуттєва до штучні засвітки неба астрономія. Більшість спостережень, особливо в області позагалактичних досліджень і космології, тепер можна проводити лише в місцях, віддалених від великих міст на сотні кілометрів. Деякі старі обсерваторії, такі, як Дэнлоп в Онтаріо (Канада), Маунт-Вильсон у Каліфорнії (США), Пулковская (Санкт-Петербург) і Московська в Росії, дуже страждають від міської засвітки неба. Нові

обсерваторії розташовують у віддалених місцях, а аматорам астрономії приходиться їхати далеко за місто, щоб проводити свої спостереження.

Теза, що тепер всі астрономічні спостереження можна проводити з космосу, не витримує критики, оскільки не має змісту робити за великі гроші в космосі те, що можна значно дешевше зробити на Землі. Чотири десятиліття космічної астрономії показали, що з орбіти потрібно спостерігати лише те, що недоступно на Землі. Велику частину оптичних і радіо-спостережень з успіхом можна проводити з наземних обсерваторій, якщо не створювати їм перешкод у роботі.

На території кожної обсерваторії нічне освітлення робиться мінімально яскравим, а нерідко і цілком відключається під час спостережень. Але, на жаль, світло великого міста, розташованого навіть у 100 км від обсерваторії, позбавляє астрономів можливості спостерігати слабкі об'єкти. Тому вчені звертаються до місцевої влади і населення з проханням про збереження темряви нічного неба.

Проблема нічної засвітки неба була вирішена за допомогою місцевої влади в ряді великих обсерваторій Аризони і Каліфорнії. Уникнути засвітки дозволяють ліхтарі з закритими лампами, що направляють світло тільки вниз. У цьому випадку саме джерело світла залишається невидимим з боку, на відміну від звичайних вуличних і двірських ліхтарів. До того ж виникає істотна економія енергії за рахунок зниження втрат світла. Додаткова економія досягається при використанні більш ефективних ламп, що вимагають менше енергії для одержання необхідної кількості світла.

Існує Міжнародна асоціація темного неба (*International Dark-Sky Association, IDA*). Це неприбуткова, звільнена від податків організація, що прагне довести проблему до населення і переконати його не заливати світлом околиці, зберегти темне небо й у той же час максимально підвищити якість і ефективність зовнішнього освітлення. З цією унікальною організацією можна зв'язатися за адресою: 3225 N. First Avenue, Tucson, AZ 85719, USA; email: ida@darksky.org; web site: <http://www.darksky.org>.

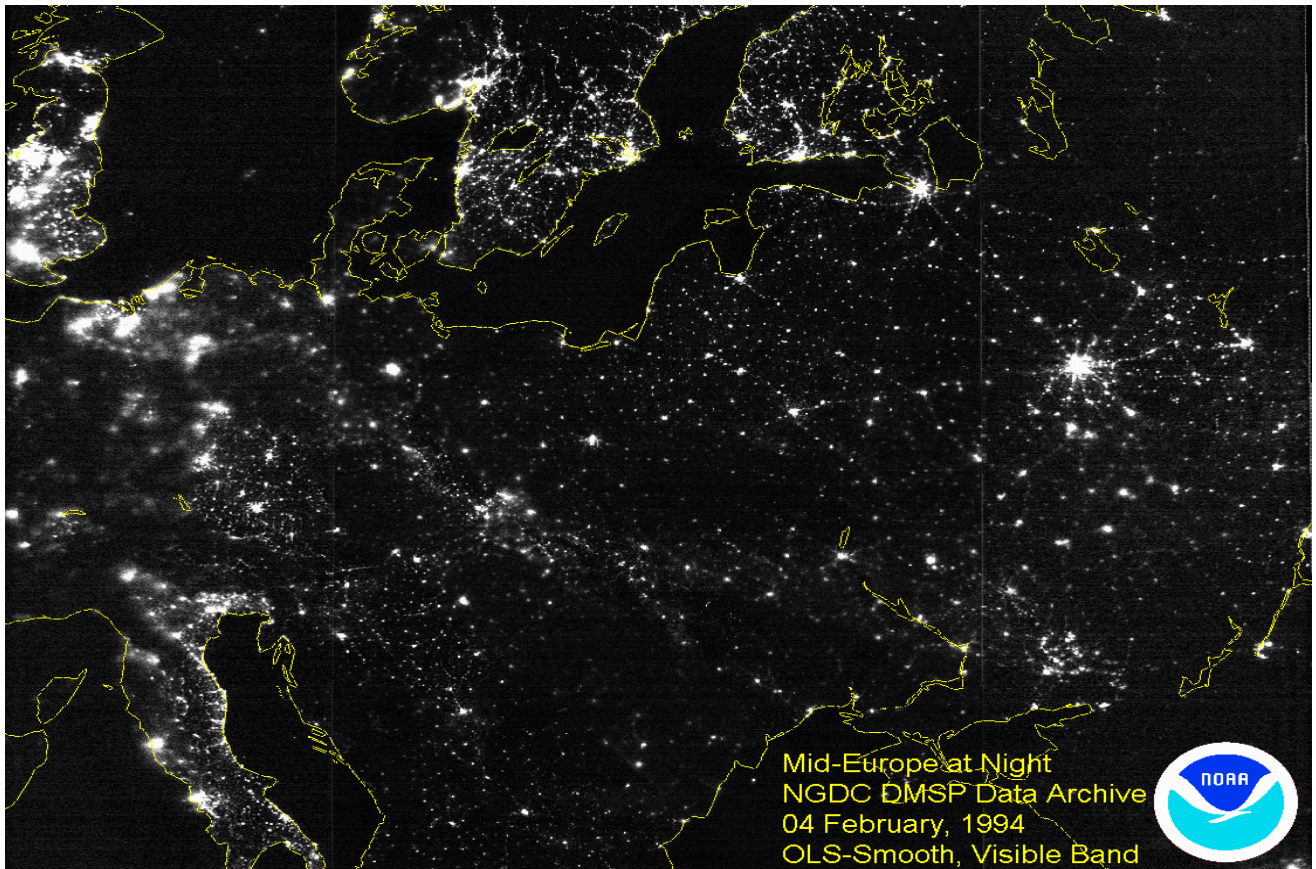


Фото. Освітлення Європи (вид з Космосу).



Фото . Освітлення Європи (вид з Космосу).

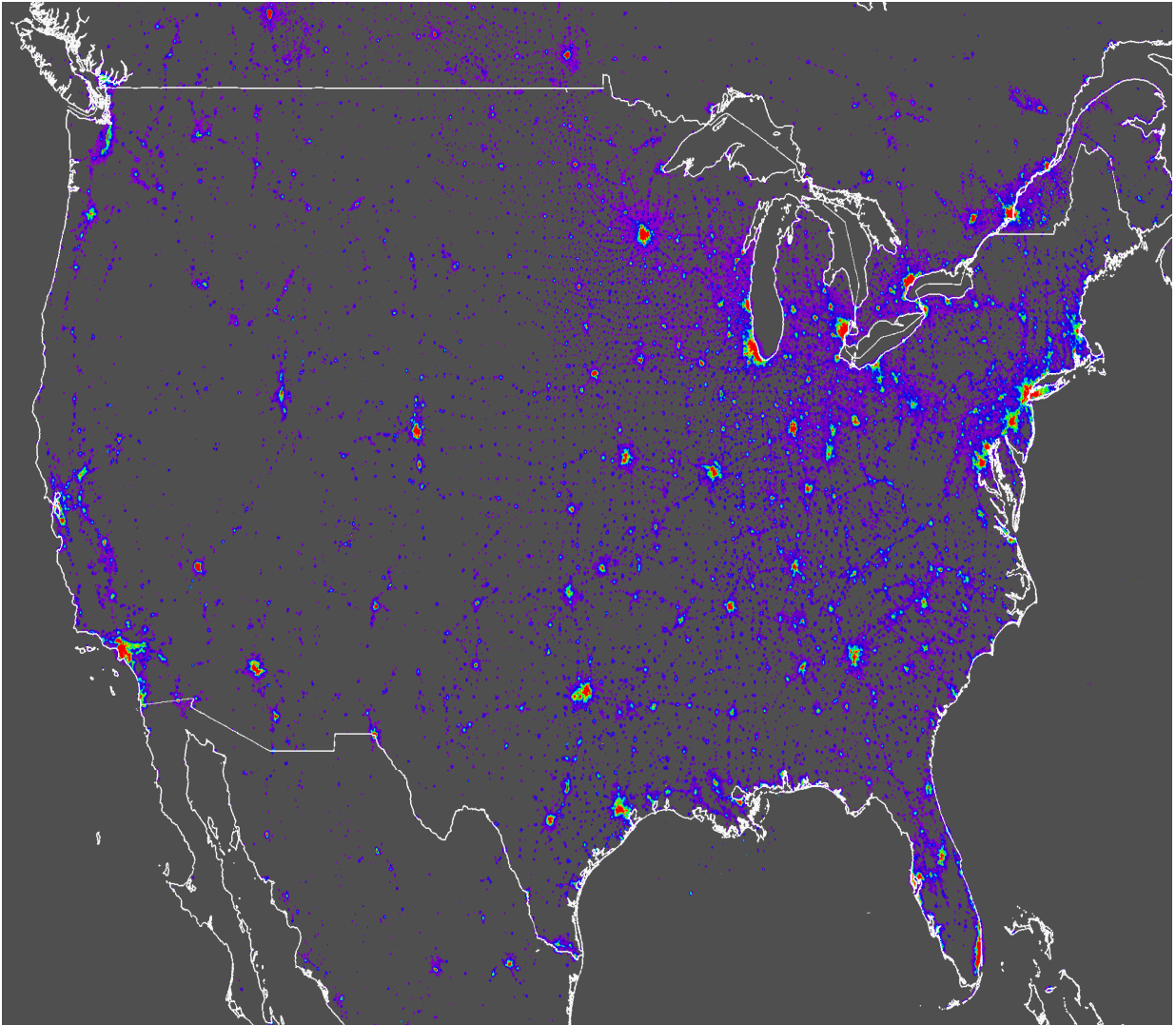


Фото . Освітлення США (вид з Космосу).

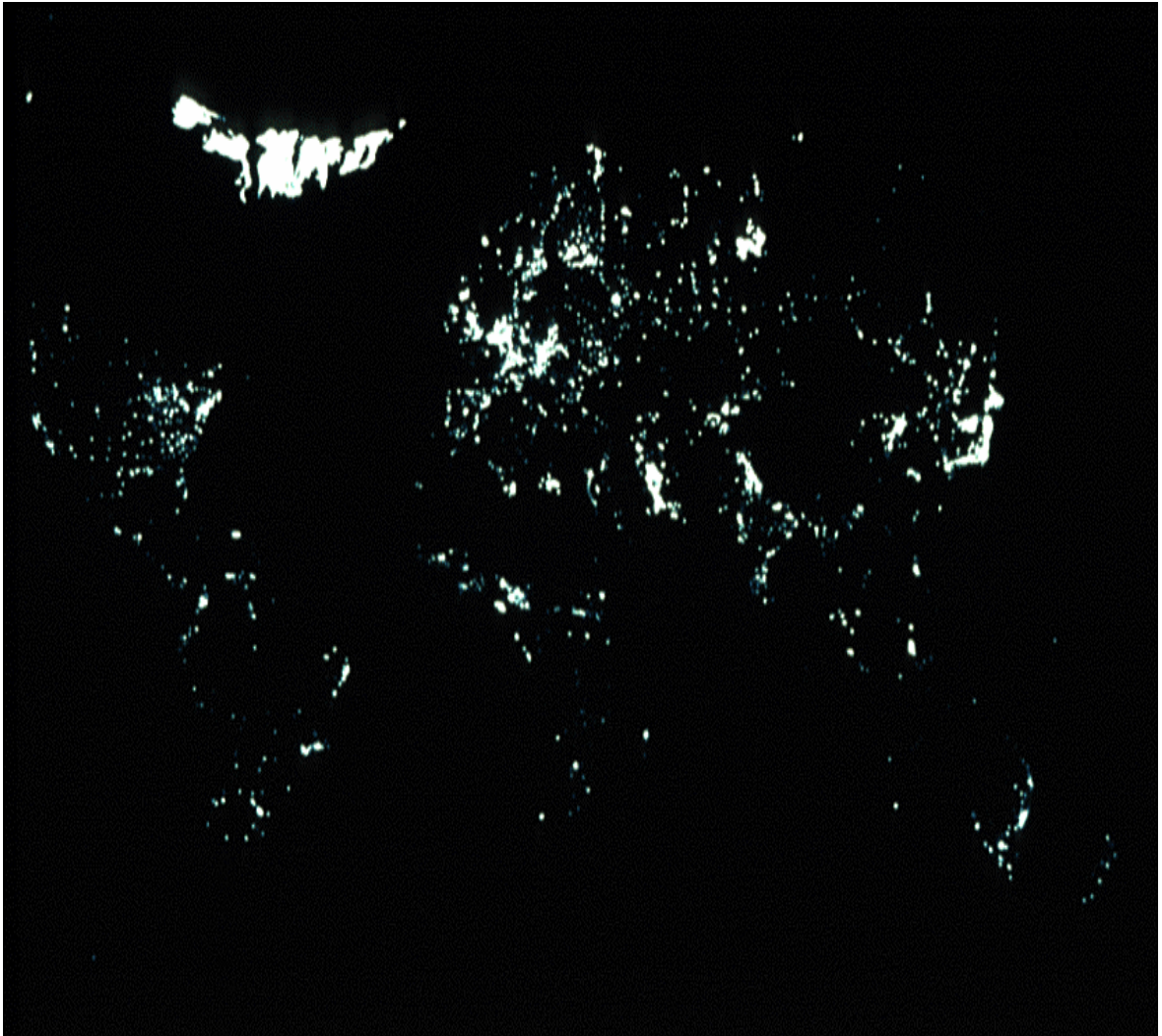


Фото . Освітлення Землі (вид з Космосу).

Джерела посилань.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Александров Ю.В. Астрономія. Історико-методологічний нарис. К.: Сфера, 1999.
2. Вайнберг С. Гравитация и космология. М.: Наука, 1975.
3. Вайнберг С. Первые три минуты. М.: Энергоиздат, 1981.
4. Гинзбург В.Л. // Успехи физ. наук. 2002. Т.172. С.213 - 219
5. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М.: Изд-во МГУ, 1988*.
6. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1979*.
7. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. Драма идей в познании природы. М.: Наука, 1988.
8. Комарів В.Н. У космічному дзеркалі. Москва: 1989 р
9. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1985*.
10. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990
11. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М.: Наука, 1990.
12. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.
13. Проблема пошуку життя у Всесвіті. Праці Талліннського симпозиуму. Москва: 1986 р.
14. Троицкий В.С. Земля і Всесвіт, 1981 р., № 1
15. Решетников В.П. Взаимодействующие галактики // Природа. 2000. №6. С.13 – 21
16. Рид К. Гильберт. М., 1977.
17. Шкловский И.С. Всесвіт, життя, розум. Москва: 1980
18. Bergh S. van den // PASP. 2002. V.114. P.797 - 802. 370. P.194 – 196
19. Filippenko A.V. // PASP. 2001. V.113. P.1441 - 1448.
20. The Universe at large / Eds. G.Munch, A.Mampaso, F.Sanchez. Cambridge, 1997.
21. 3225 N. First Avenue, Tucson, AZ 85719, USA; email: ida@darksy.org; web si

Інт ернет- джерела.

1. <http://www.astrogalaxy.ru/449.html> -
2. <http://www.awakening.spb.ru>
3. <http://www.awakening.spb.ru/?open&h>
4. <http://www.hi-fi.ru/forum/15/43885/10> .
5. http://www.iki.rssi.ru/gmic100/third_ann.htm
6. <http://www.gsfc.nasa.gov>
7. <http://www.vokrugsveta.ru/publishing/vs/column/?it..>
8. <http://www.iamik.ru/pic/mosaic/bigbang.jpg>
9. http://lambda.gsfc.nasa.gov/outreach/newest_papers.html

За матеріалами HSCA, OSU, GSFC.

Джерела:

New Image Of Infant Universe Reveals Era Of First Stars, Age Of Cosmos, And More - Goddard Space Flight Center

The Infant Universe, in Detail - Scientific American

Sharp new portrait of the infant Universe - New Scientist

'Astounding' Findings Pin Down Age of Universe, Birth of First Stars - Space.com

Семків Юрій Мирославович

Еволюція моделей структури Всесвіту

Автор щиро вдячний за всі повідомлення про помилки та інші недоліки, а також за інформацію про всі зміни.

Підписано до друку 20.05. 2006. Формат 60x84/16. Папір офсетний №1.
Гарнітура Times. Ум.др.арк. 5,1.

Друк
ТзОВ “ІНФОТЕХЦЕНТР”
М. Тернопіль, вул. Танцорова, 25
Тел 8(0352) 43-10-52, 25-28-94.