

ГАЛАКТИКА

1. Відкриття Галактики

В ясні безмісячні вечори погляд спостерігача, спрямований в zenit зоряного неба, повертає світла, довга та туманна смуга, яка проходить через сузір'я Близнюків, Тільця, Кассіопеї, Лебедя, Стрільця і яку давні греки назвали Молочним шляхом – Галактикою (від грецьких γάλα – «гала», род. відм. то γάλακτος – «то галактос», молоко; γάλαξιας κύκλος – «галаксіас кікλος», молочний шлях).

Ця смуга, яку на Україні називали Чумацьким шляхом, роздвоюється поблизу zenitu в сузір'ї Лебедя та набуває підвищеної яскравості в сузір'ях Щита та Стрільця.

Вже Демокрит (пр. 470/460 – пр.370 рр. до н.е.) припустив, що Молочний шлях складається з нескінченної кількості зір.

З відкриттям підзорної труби спостерігачі, в числі яких був і Галілей, підтвердили цю гіпотезу.

Англієць Томас Райт в 1750 р. висунув декілька припущень про можливу будову зоряного світу, серед яких розглядалась і можливість того, що зорі групуються в відокремленій структурі дисковидної форми, так що спостерігач, який знаходиться в площині цього утворення і дивиться вздовж неї, бачить більше зір у площинному, ніж у перпендикулярному напрямку. Саме тому ми і бачимо Молочний шлях.

І хоча згодом Райт захищав зовсім інші погляди, можливо його перші, досить плутані думки, у вигляді невиразного газетного повідомлення, стимулювали роздуми великого німецького філософа і природодослідника Іммануїла Канта (1734 – 1804), який отримав ґрунтовну математичну і природничу освіту в університеті міста Кенігсберг, де він народився і провів все своє життя. Свою чотирьохрічну працю Кант над проблемами світобудови він завершив у 1775 році публікацією твору «Загальна природнича історія та теорія неба». В цьому творі вчений прийняв за основу дискову модель не тільки зоряних, а і планетних систем. Розглядаючи кільця Сатурна, як рій частинок, які кружляють навколо планети, він висунув гіпотезу, що форма Молочного шляху та туманних утворень в ньому є результатом їх обертання. Самі туманності «можуть бути лише зливою масою множини нерухомих зір».

Методом вибіркового підрахунку кількості зір, які спостерігаються в різних напрямках (методом «черпаків»), вивчав розподіл зір англійський астроном, німець за походженням, Вільям Гершель (1738 – 1822). Він теж дійшов до висновку, що Галактика є «острівним всесвітом», поза яким мають існувати також інші, йому подібні, які разом можуть утворювати деяку надсистему. Його роботу продовжив син Джон Гершель (1792 – 1871). Проте розумінню структури зоряних систем заважала відсутність надійних методів встановлення відстаней до зірок, а також недостатні можливості існуючих телескопів.

Більш чіткі уявлення про зоряні системи сформувалися лише в 20 роки ХХ століття.

З'ясуванню структури зоряної системи, в яку входить наше Сонце, сприяло вивчення загадкових небесних об'єктів – туманностей. Серед них особливу увагу привертала туманність в сузір'ї Андромеди, яка спостерігалась неозброєним оком, як світла пляма 5 зоряної величини.

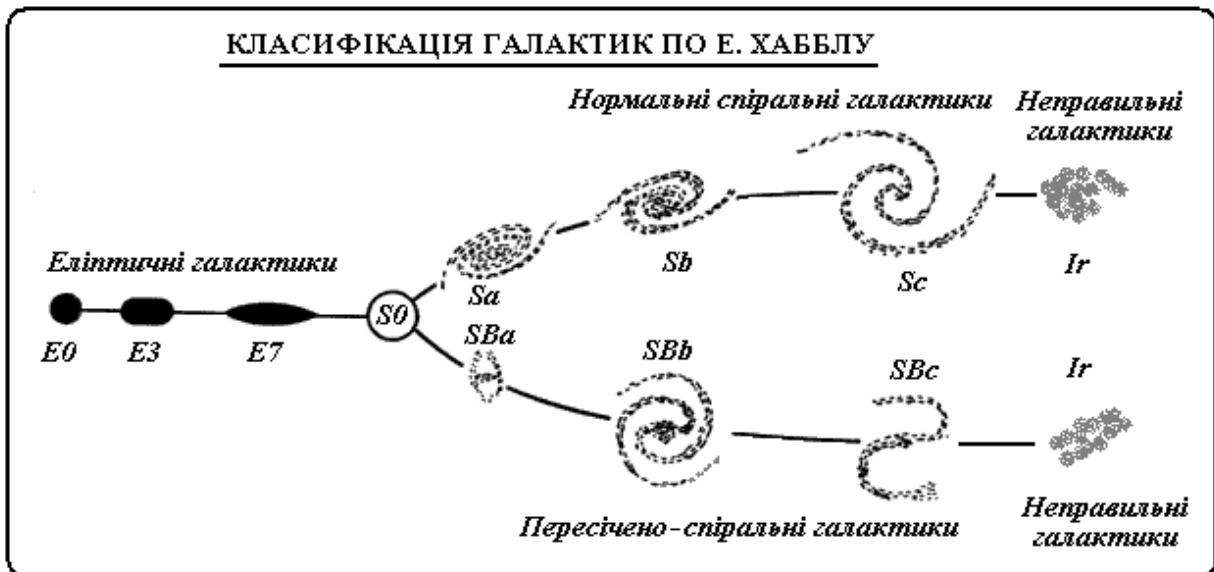
У 1784 французькі астрономи Шарль Месьє та П'єр Мешен склали список 103 туманних об'єктів, відмічених ними на зоряних картах на протязі 30 років полювання за кометами. В складеному ними списку, який отримав назву каталогу Месьє, славнозвісна Крабовидна туманність отримала перший, а Андромеди – тридцять перший номер (пишуть М1 та М31). Саме вивчення туманності М31 (Андромеди) зіграло важливу роль в подальшому вивченні зоряного Всесвіту.

На початку 20-х років минулого століття вже існували найпотужніші дзеркальні телескопи з діаметром дзеркала 2,5 м, встановлені на каліфорнійських горах. А в обсерваторії Маунт-Вільсон працював Едвін Пауелл Хаббл (1889 – 1953), який і зміг

розрізнити в туманності М31 (Андромеди) окремі різного типу зорі, кульові зоряні скупчення та інші об'єкти. До цього в туманності був помічений спалах нової зорі, спостерігаючи за яким, Гебер Кертис (1872 – 1942) оцінив відстань до неї приблизно в один мегапарсек, яка виявилась незрівнянно більшою, ніж відстань до будь-якої зірки в Молочному шляху.

Використовуючи виявлені ним цефеїди, Едвін Хаббл зробив нові обчислення відстані і отримав подібний результат. Після цього не залишалось сумнівів у тому, що туманність Андромеди є гігантським зоряним островом далеким від нашого.

Пізніше було виявлено, що велика кількість інших туманностей є також велетенськими зоряними системами, які, на відміну від нашої Галактики, отримали назву *галактик* з малої літери. В 1925 році Хаббл запропонував першу класифікацію галактик за їх формою. Графічно вона подається у вигляді камертона, або вилки. За Хабблом найпростішу будову мають еліптичні галактики типу E (Elliptical), які за ступенем стисненості еліпса поділяються на вісім класів : від E0 (сферична форма) до E7 (найбільш витягнутий еліпс). Від них відгалужуються два типи галактик: спіральні S (Spiral) та пересічно-спіральні SB (Spiral Bared). Спіральні галактики за формою нагадують просту спіраль, вітки якої розгортаються з сферичного ядра, і які за вираженістю віток поділяються на три класи (Sa, Sb, Sc). У пересічно-спіральних галактик вітки виходять з еліптичної перетинки, і вони також поділяються на три класи (SBa, SBb, SBc). Замикають ці два ряди галактики неправильної форми Ir (Irregular).



За спостереженнями інших галактик вчені отримали можливість більш точно описати структуру нашої Галактики.

2.Склад Галактики

До складу Галактики, крім окремих зір та малочислених їх груп, входять багаточислені групи гравітаційно зв'язаних зір, які називаються *зоряними скупченнями*. Розрізняють *розсіяні зоряні скупчення*, які мають неправильну форму і налічують від декількох десятків до сотень зір та *кульові зоряні скупчення*, які мають кулясту форму і складаються з десятків та сотень тисяч зір. Розсіяні зоряні скупчення зустрічаються в дисковій складовій Галактики. Всього відомо більше 1500 таких об'єктів. в радіусі декількох кілопарсеків від Сонця. Більш далекі такі скупчення важко виявити. Проте, вважаючи, що концентрація цих скупчень наближено має зберігатися і при більш далеких відстанях,

число розсіяних зоряних скупчень в Галактиці можна оцінити в межах декількох десятків тисяч. Близькими до нас є красиві розсіяні зоряні скупчення Плеяди та Гіади.

Кульові зоряні скупчення спостерігаються на великій відстані в зв'язку з підвищеною яскравістю та досить великими розмірами, в середньому біля 40 парсеків. Просторовий розподіл таких скупчень здійснюється по об'єму сферичної складової Галактики, концентруючись до її центра. Одне з яскравих кульових скупчень можна спостерігати в сузір'ї Геркулеса.

Загальне число зір в Галактиці оцінюється в межах 200 млрд.

Перші моделі Галактики виявились хибними зокрема через те, що не враховували наявності в ній великої кількості розрідженого газу та пилу. Хоча середня концентрація речовини в міжзоряному просторі є надзвичайно малою не більше одного атома на см^3 , все ж області підвищеної концентрації міжзоряної речовини можуть утворювати хмари, або туманності. З цим виникає необхідність відрізнити *газо-пилові туманності* від галактичних. Слід зауважити, що концентрація частинок пилу є значно меншою газової і становить одну частинку на 100 м^3 . Загальна маса міжзоряного середовища в Галактиці становить не більше 2 – 3 % її повної маси.

Міжзоряний пил екранує світло від зоряних об'єктів, утворюючи темні туманності. Яскравими прикладами об'єктів цього типу є туманність «Кінська голова» та розташований в сузір'ї Південного Хреста «Вугільний мішок». Враховуючи, що остання туманність має кутовий розмір більше 3^0 і знаходиться на відстані 150 пк, її розміри можна оцінити в межах 8 пк. Множина хмар, подібних «Вугільному мішку», тягнеться широкою темною смугою вдовж лінії Молочного шляху, починаючи від сузір'я Лебеда через сузір'я Орла, Змії, Стрільця і Скорпіона, утворюючи Велике розгалуження. Особливо велика кількість темних хмар спостерігається в області центрального згущення Галактики. Якщо біля пилової туманності знаходиться зоря, то в результаті відбивання світла в напрямку земного спостерігача ця туманність може виглядати як світла. Гази в складі туманності можуть іонізуватися, і туманність може перевипромінювати.

Хмари міжзоряного газу утворюють випромінюючі, емісійні туманності. Основною складовою газових туманностей є водень. – основний елемент Всесвіту. Розрізняють зони неіонізованого (H I) та іонізованого (H II) водню. Зони H II утворюються навколо гарячих зір з інтенсивним ультрафіолетовим випромінюванням. По наближеним оцінкам числа атомів в міжзоряному середовищі на водень припадає біля 80 % , на гелій – менше 20 % , решта – на інші елементи.

В 1945 році голландський астроном ван дер Холст вказав на можливість спостереження радіовипромінювання нейтрального водню на хвилі 21 см. Це випромінювання пов'язана зі зміною енергії електрона при зміні напрямку його власного моменту (спіна), так як енергія атома при паралельному розташуванні спінів ядра і електрона більша ніж при антипаралельному. Така самодовільна зміна в носить імовірнісний характер і в одному атомі має відбуватися в середньому 1 раз за 11 млн. років. Проте, в зв'язку з величезними розмірами областей атомарного водню інтенсивність такого випромінювання виявилась достатньо інтенсивною для реєстрації, і в 1951 році була виявлена майже одночасно Х. Сенном, Е. Перселом (США) та К.Мюллером, Я. Оортом (Нідерланди). Вивчення цього випромінювання мало величезне значення для оцінки розподілу речовини в Галактиці, встановлення її розмірів та структури.

3. Структура Галактики

Вивчення характеру розподілу об'єктів нашої Галактики за візуальними спостереженнями та аналізом різного типу їх випромінювання, а також порівняння з іншими галактиками, дало можливість побудувати досить умотивовану картину її будови. Можна стверджувати, що Галактика являє собою величезну систему радіусом біля 30

кілопарсеків. Сонце знаходиться майже в площині її симетрії, на відстані рівній приблизно половині радіуса від її центра. До основних елементів структури Галактики відносять сферичну складову, центральне згущення (балдж), зоряно-газово-пилевий диск зі спіральними рукавами чи вітками.

Сферична складова містить старі зорі та кульові зоряні скупчення, оточені розрідженим гарячим, або слабонамагніченим газом.

Центральна область Галактики є згущенням в центрі Галактики, що характеризується високою концентрацією зір та міжзоряної матерії. Ця область закрита непрозорою матерією, і є частково доступною для спостереження в інфрачервоних променях та радіо діапазоні. Центральне згущення (балдж,) має кутові розміри $20^0 \times 30^0$, що відповідає лінійним розмірам 3 x 5 кпк. На відстані 3 – 4 кпк від центра виявлено рукав нейтрального водню, що розширюється зі швидкістю біля 50 км / с і має масу близько 100 млн сонячних. По другий бік від центра Галактики, на відстані біля 2 кпк, можливо знаходиться рукав з масою приблизно в 10 разів меншою, що віддаляється від центра зі швидкістю 135 км / с. В центрі балджа є диск з нейтрального і молекулярного газу з радіусом в декілька сотень парсеків, який обертається зі швидкістю 200 км/ с. Ця зона дає інтенсивне випромінювання характерне для заряджених частинок прискорених в сильних магнітних полях. Також поблизу центра Галактики є декілька потужних джерел радіо- та інфрачервоного випромінювання. В центрі Галактики виявлено еліптичне утворення розмірами біля 10 пк. Можливо центр нашої Галактики подібний до центра туманності Андромеди, де виявлено швидкообертове ядро, схоже на кульове зоряне скупчення, можливо це об'єкт типу чорної діри.

Дискова складова містить основну кількість зір Галактики. Її товщина становить декілька сотень парсеків, а діаметр в десятки разів більший. Газопилоче середовище і молоді зорі утворюють плоску підсистему з концентрацією речовини в екваторіальній області диска. В області диска на відстані 4 – 8 кпк від центра зосереджена найбільша кількість пульсарів і газових залишків від вибухів наднових зір.

Області підвищеної концентрації зір та міжзоряної речовини утворюють спіральні вітки або рукави. До складу рукавів входять молоді, гарячі, блакитні зорі. Враховуючи розміри центрального згущення, нашу Галактику можна віднести до спіральних галактик проміжного типу Sbc, подібних до NGC 891. За іншими припущеннями будова нашої галактики подібна до M31 – Туманності Андромеди, або до більш далекої галактики M81 в сузір'ї Великої Ведмедиці, а з ребра, можливо, відомої галактики M104 («Сомбреро») в сузір'ї Діви, в якій наявна темна смуга поглинання.

Наближене визначення маси космічного тіла масою М може бути здійснене за періодом Т обертання його супутника з коловою орбітою радіусом r і масою $m \ll M$.

Якщо орбіту Сонця, при обертанні його навколо центра тяжіння Галактики, вважати коловою, то в цьому випадку за другим законом динаміки

$$\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r .$$

Звідки галактична маса всередині орбіти

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

Період обертання Т пов'язаний з лінійною швидкістю руху v формулою

$$T = \frac{2\pi}{v} r$$

Лінійна швидкість обертового руху Сонця може бути визначена на основі вимірювань швидкостей руху оточуючих зір на основі формули Доплера. Проекції швидкостей зір близьких до Сонця на напрямок його обертової швидкості мають бути близькими до нуля, адже взаємна швидкість в цьому напрямку повинна бути досить малою, оскільки

швидкості обертання зір такі ж як у Сонця. З віддаленням від Сонця та галактичного центра швидкості мають зростати, оскільки за формулою швидкості вони є прямопропорційними відстані до осі обертання. Вимірювання швидкостей зір показало, що нульові значення проєкцій швидкостей спостерігаються в напрямку на центр Галактики та на поперечний йому напрямок.

Визначено, що центральна частина Галактики (в районі балджа) обертається, практично, як єдине ціле, зі швидкістю крайніх частин близькою 250 км / с. З віддаленням від центра ця швидкість зменшується до 200 – 220 км / с в області Сонця. Обертання відбувається за годинниковою стрілкою, при спостереженні з північного полюса, що знаходиться в напрямку сузір'я Волосся Вероніки.

За періодом обертання Сонця масу Галактики всередині сонячної орбіти можна оцінити в 10^{11} сонячних мас, а всієї Галактики, як вдвічі більшу.

Обчислення дають період обертання Сонця навколо центра Галактики в 220 – 250 млн років. Час, за який Сонце здійснює повний оберт навколо центра Галактики, називається *галактичним роком*.

Наша галактика, яка належить до гігантських, має супутників у вигляді невеликих галактик. Дві з них добре видно в південній півкулі неозброєним оком у вигляді туманних хмаринок. Це Велика та Мала Магелланові хмари.

4.Інші галактики та їх основні властивості

Галактики на ранніх етапах розвитку астрономії спостерігались у вигляді туманних плям. Галактичні туманності, поряд з іншими, входять до каталогу Месьє, на який посилаються до цього часу. Більш повний каталог, який іменується «Новим загальним каталогом», був складений Й. Дресером майже на сто років пізніше. Так, одна з галактик-супутників Андромеди за каталогом Месьє позначається М32, а інша – за «Новим загальним каталогом» NGC 205.

В сучасний момент відомо, що в спостережуваній частині Всесвіту існують мільярди галактик. Поряд з зірками, галактики містять речовину у вигляді міжзоряного газу та пилу. Основна маса галактик на даний момент еволюції Всесвіту зосереджена в зорях.

Першою класифікацією галактик був «камертон Хаббла». Ця класифікація виявилась неповною, оскільки за її межами залишились особливі по виду (пекулярні) та еліптичні карликові галактики типу dE (**d**warf, англ. – карлик), а також тому, що не містила інформації про розміри галактик, їх маси та світності.

Однією з найважливіших проблем була і залишається проблема визначення відстані до галактик. Відстань до найближчих з них вдалося визначити після того, як в цих галактиках були розрізнені зорі -зверхіганти, за різницею видимої і абсолютної зоряних величин.

В 1912 році В.Слайфер виявив червоне зміщення в спектрах далеких галактик, яке, згідно формули Доплера свідчило про їх віддалення. Співставляючи відстань до галактик з їх швидкістю, визначеною за доплерівським зміщенням на основі вимірювань його Слайфером, Хаббл в 1929 р. встановив наявність прямої пропорціональності між ними (**закон**



Едвін Лорел Хаббл (Hubble E.P., 20.XI.1889–28.IX.1953, США) Народився в Маршфілді (штат Міссурі). В 1910 році закінчив Чиказький університет, два роки вивчав юриспруденцію в Оксфордському університеті (Англія) і деякий час працював адвокатом. Але потім до астрономії взяв гору, і в 1914 році Хаббл став працювати в Йеркській обсерваторії Чиказького університету. Потім два роки служив в армії під час першої

світової війни, з 1919р. працював в обсерваторії Маунт Вільсон. Роботи Хаббла поклали початок позагалактичній астрономії. В 1923 – 24 р.р. він отримав на 100 дюймовому телескопі обсерваторії Маунт - Вільсон фотографії спіральної туманності в сузір'ї Андромеди, на якій розрізнялись окремі зорі, що дало можливість оцінити відстань до цієї зоряної системи. В 1925 році запропонував першу класифікацію галактик за формою, яка залишається в основі сучасної класифікації. Встановив закон прямої пропорційності швидкості віддалення галактик і відстаней до них. Приймав активну участь в спорудженні 200 дюймового телескопа обсерваторії Маунт - Паломар.

Хаббла)

$$v = H\bar{r},$$

де H – стала Хаббла.

За законом Хаббла швидкість розбігання галактик прямопропорційна відстані між ними. Значення відстані можна обчислити за швидкістю та сталою Хаббла, і, навпаки, за сталою Хаббла і відстанню до галактики можна оцінити її швидкість.

За деякими вживаними оцінками, на основі досить наближених вимірювань,

$$H \approx 75 \text{ км/с Мпс.}$$

В останній час популярним є значення $H \approx 55 \text{ км/с Мпс.}$

ЕЛЕМЕНТИ КОСМОЛОГІЇ

Космологія вивчає природу, будову та еволюцію Всесвіту в цілому. Реально предметом її розгляду є найбільш загальні властивості тієї частини Всесвіту, яка доступна прямим спостереженням – Метагалактики.

1.Будова Всесвіту і його еволюція

Копернік, Кеплер та їх попередники, визнаючи рух планет Сонячної системи, вважали, що Всесвіт обмежений «сферою нерухомих зір». Ідеї Джордано Бруно про нескінченність зоряних світів не знайшли підтримки та розвитку в поглядах його наступників, і лише відкриття закону всесвітнього тяжіння поклато кінець уявленням про тверду небесну сферу, поверхня якої містить зоряний світ. Думка дослідників неба почала схилитися до уявлення про нескінченність Всесвіту. Цьому у великій мірі сприяли спостереження за допомогою телескопа, результатом яких було встановлення зоряного складу Молочного шляху, виявлення зоряних скупчень, та відкриття галактичних зоряних систем. Таким чином першим уявлення про Всесвіт – його першою космологічною моделлю стала *модель нескінченного, однорідного, ізотропного, стаціонарного Всесвіту, просторові співвідношення якого описуються геометрією Евкліда.*

Було встановлено, що галактики розподіляються по небесній сфері нерівномірно. Так, існує локальне зверхскупчення, до якого належить і Молочний шлях. Це утворення має ядро у вигляді згущення галактик в напрямку сузір'я Діви, в якому їх налічується більше 2 тисяч. Таких скупчень виявлено дуже багато, деякі з них містять в десятки та сотні разів більше галактик. Найбільш відомим вивченим скупченням є величезне скупчення галактик у сузір'ї Волосся Вероніки. яке розташоване порівняно близько від нас на відстані 138 Мпс.

Астрономи прийшли до висновку, що в розподілі зверхскупчень галактик утворює стільникову структуру, подібну до бджолиних сот. Окремі вічка, мають неправильну форму розміром 50 – 150 Мпс при товщині стінок 2 – 5 Мпс.

Доступна нашим спостереженням частина Всесвіту, основними структурними утвореннями якої є зверхскупчення галактик, утворює Метагалактику.

Якщо вважати, що властивості Метагалактики можна поширити на Всесвіт, то можна визначити деякі його основні властивості, які відбиваються навіть в повсякденному житті.

В першу чергу це однорідність Всесвіту, яка означає однаковість властивостей в усіх його точках, що, зокрема, вимагає однаковості середніх відстаней між основними структурними одиницями Всесвіту (можливо зверхскупченнями).

Ізотропія Всесвіту означає однаковість властивостей Всесвіту в усіх його напрямках, що в свою чергу вимагає однаковості середньої швидкості взаємного руху його структурних одиниць. Для будь-яких трьох систем повинно виконуватися

$$\vec{r}_{BC} + \vec{r}_{CA} = \vec{r}_{BA}.$$

Записавши такі рівняння для двох моментів часу, та віднявши їх, отримаємо

$$\Delta \vec{r}_{BC} + \Delta \vec{r}_{CA} = \Delta \vec{r}_{BA},$$

тоді

$$\vec{v}_{BC} \Delta t + \vec{v}_{CA} \Delta t = \vec{v}_{BA} \Delta t,$$

звідки

$$\vec{v}_{BC} + \vec{v}_{CA} = \vec{v}_{BA}.$$

Трикутники радіус-векторів та швидкостей взаємного руху рівносторонні в зв'язку з рівністю модулів векторів, а, отже, є подібними з пропорціональними сторонами. Тому

$$\vec{v} = H \vec{r},$$

у відповідності до закону Хаббла.

Таким чином закон Хаббла можна вважати наслідком ізотропії Всесвіту.

Припущення про однорідність та анізотропію Всесвіту називають *космологічним принципом*

Спостереження свідчать, що середня відстань між галактиками становить біля 1 Мпс, Якщо припустити, що швидкість розбігання галактик не змінювалась з часом, то за законом Хаббла можна оцінити час розширення Всесвіту.

$$t_m = \frac{r}{v} = \frac{r}{Hr} = \frac{1}{H}$$

В зв'язку з цим можна припустити і обмеженість об'єму Всесвіту.

Максимально можлива швидкість руху галактик обмежується швидкістю світла у вакуумі, тому можна провести і оцінку радіуса Всесвіту

$$R_m = ct_m = \frac{c}{H}$$

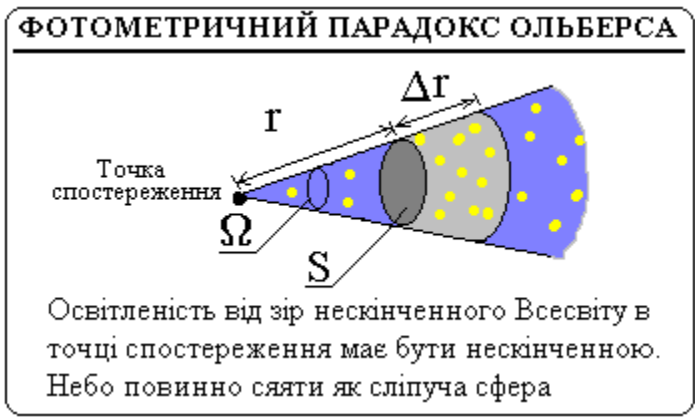
3.Проблеми пов'язані з нескінченністю Всесвіту

1.Фотометричний парадокс Шезо-Ольберса

Шезо Жан Філіп (De Cheseaux J.P.L.,Швейцарія) вперше розглянув даний парадокс в 1744. Ольберс Генріх Вільгельм (Olbers H.W.,11.X.1759 –2.11.1840, Німеччина) повернувся до нього в 1826.

Відоме пояснення парадоксу належить Шарльє (Карл Вільгельм Людвіг, Charlier C.V.,1.IV.1867 – 5.XI.1934, Швеція). Початковий варіант пояснення був запропонований ним біля 1908, заключний варіант – в 1922.

Розглянемо освітленість від всіх зір Всесвіту в точці спостереження. Якщо Всесвіт безмежний, то безмежна і кількість зір в ньому, а, отже, освітленість від них буде безмежно велика, і все небо буде виглядати, як сліпуча сфера. Проте наведені міркування протирічать дійсності. Оскільки міркування правдоподібне і



приводить до хибного результату, то воно є парадоксом.

Одразу можна помітити, що нескінченно великої освітленості можна уникнути, якщо прийняти, що при переході до більших об'ємів концентрація зір зменшується, що вказує на існування ієрархічних структур у Всесвіті, тобто на те, що кожна зоряна система входить складовою частиною у більшу. Саме на це звернув увагу Шарльє.

Крім того можна зробити висновок, що в зоряних системах повинна спостерігатися концентрація зір переважно в деякій площині.

Проте, таке пояснення парадоксу не знімає проблеми, хоча і містить істину, адже, якщо припустити, що концентрація зір залежить від відстані, то правила сумування (або інтегрування) стануть іншими (зокрема n не буде виноситись за знак суми, або інтегралу) і результат залишиться нескінченним.

Поясненню парадокса допомагає врахування червоного зміщення в спектрах віддалених зір, яке переводить видиме випромінювання в діапазон невидимого, аж до нескінченної довжини хвилі але і тут потрібно з'ясувати, яке випромінювання одночасно переходить з діапазону невидимого в діапазон видимого. Крім того фантастична кількість зір навіть у встановленому розмірі Всесвіту, при умові його однорідності, вже створює фотометричну проблему. Найпростіший вихід – відмова від гіпотези про нескінченність Всесвіту, проте на такому шляху виникають такі питання, на які приходиться давати фантастичні відповіді, не більш правдоподібні, ніж міфологічні. Створюється враження, що переконливого пояснення парадоксу ще треба чекати.

2.Гравітаційний парадокс Зелігера.

Розглянемо силу гравітаційної взаємодії двох половин сферичної маси m

$$F \approx G \frac{m^2}{4r^2}.$$

Оскільки $m = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$, то $F \approx \rho^2 r^4$. Якщо $r \rightarrow \infty$, то $F \rightarrow \infty$.

Можна дійти до висновку, що сили гравітаційної взаємодії в нескінченному Всесвіті є нескінченними, що тягне за собою нескінченно велике прискорення для тіл скінченної маси. Проте одразу треба зауважити, що для спостерігача має значення лише взаємне прискорення тіл доступних для спостереження (в достатній мірі близьких) і тому відповідність отриманого результату дійсності не підлягає безсумнівній оцінці. Також помітно, що розв'язання цього парадоксу може бути таким як у випадку Шезо-Ольберса. Достатньо допустити, що густина речовини у Всесвіті при переході до більших об'ємів зменшується оберненопропорційно r^4 .

На цей парадокс в 1895р. звернув увагу Зелігер Гуго (Zeeliger H., 23.IX.1849-2.XI.1924, Німеччина, народився на території Польщі, сучасне м.Бельсько-Бяла, з 1882 р. до кінця життя працював директором Мюнхенської обсерваторії).

3.Проблема “теплової смерті” Всесвіту Клаузіуса

Клаузіус Рудольф Юлій Емануель (Clausius R., 2.I.1822-24.VI.1888, Німеччина, народився на сучасній території Польщі, м. Кеслін, нині Кошалін) висунув цю парадоксальну гіпотезу у 1865 р.

Уявлення про Всесвіт як замкнену систему, якій немає з чим обмінюватись енергією, дозволило Клаузіусу сформулювати два перші закони термодинаміки в наступних висловлюваннях: «...Die Energie der Welt ist constant. Die Entropie der Welt strebt einen Maximum zu». Або в перекладі : «... Енергія Всесвіту незмінна. Ентропія Всесвіту прямує до максимуму». Це означає, що з часом процеси енергообміну у Всесвіті повинні припинитись, всі тіла повинні набути однакової температури, рухи перейти на атомно-

молекулярний рівень, що виключає можливість існування будь-якої форми життя. Таким чином Всесвіт чекає «теплова смерть» (повинна вже прийти з погляду на гаданий час її існування). Проте, про гіпотезу «теплової смерті» немає сенсу говорити, маючи факт нестаціонарності Всесвіту (розширення). До такої системи закони рівноважної термодинаміки прямо не застосовні.

4.Нестационарність Всесвіту. Моделі Всесвіту.

Розглянемо сферичний об'єм Всесвіту радіусом R_0 , який можна вважати однорідним з середньою густиною ρ та масою $M = \frac{4}{3}\pi\rho R_0^3$. Тіло масою m (наприклад галактика), на межі цього об'єму, рухається зі швидкістю зміни об'єму v , і має енергію

$$W = W_k + W_G = \frac{mv^2}{2} - G \frac{Mm}{R_0}.$$

Підставивши M та врахувавши закон Хаббла, за яким $v=HR_0$, матимемо

$$W = \frac{mH^2R_0^2}{2} - \frac{4\pi G\rho R_0^2m}{3} = mR_0^2\left(\frac{H^2}{2} - \frac{4\pi \cdot G\rho}{3}\right) \quad (4.1).$$

Розширення, або стиснення гравітаційно зв'язаної системи визначається знаком енергії, який в свою чергу визначається густиною Всесвіту.

Критичне значення густини отримуємо з умови рівності нулю енергії виділеного тіла, яка

має місце при $\frac{H^2}{2} = \frac{4}{3}\pi G\rho_0$. Звідки

$$\rho_0 = \frac{3H^2}{8\pi G}.$$

Формула енергії може бути записана через критичну густину

$$W = \frac{4}{3}\pi G\rho m R_0^2(\rho_0 - \rho).$$

Аналіз останньої формули приводить до трьох моделей Всесвіту.

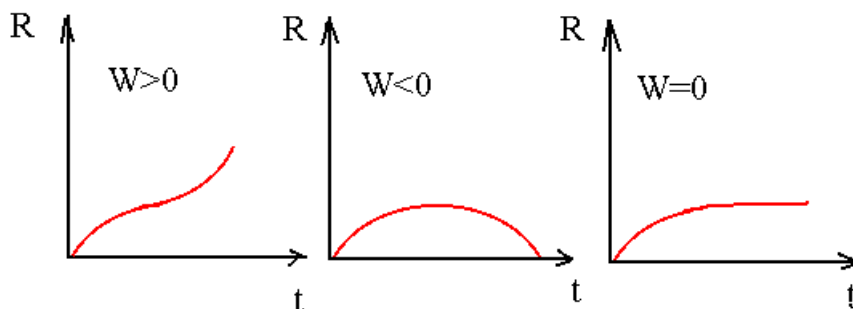
При $\rho < \rho_0$ матимемо $W > 0$, що означає розширення Всесвіту до критичної швидкості v_0 , при якій $W=0$.

За співвідношенням (4,1) отримаємо $v_0 = \sqrt{\frac{2W_g}{m}}$.

При $\rho > \rho_0$ матимемо $W < 0$, що означає, що розширення Всесвіту зміниться стисненням.

При $\rho = \rho_0$ матимемо $W=0$, що означає, що швидкість розширення прямує до нуля, якщо R_0 прямує до нескінченності.

Поведінку масштабного фактора R , в залежності від часу, в різних моделях, ілюструють нижченаведені графіки.



У 1998 році американський астроном Сол Перлмуттер (Saul Perlmutter) повідомив про те, що спостереження за спалахами наднових зір (зміна блиску яких у часі є типовою) привели до висновку, що їх поведінка може пояснюватись, прискореним розширенням Всесвіту. Спостереження групи Перлмуттера підтвердили інші вчені, зокрема група австралійських вчених під проводом Брайана Шміда (Brian Shmidt), яка першою здійснила публікацію на цю тему. Якщо висновок про прискорене розширення Всесвіту підтвердиться, то дістане обґрунтування ідея існування так званої «темної» маси та її енергії, що приводить не до взаємопритягання космічних мас, а відштовхування. Іншим шляхом до пояснення прискореного розширення є гіпотеза антигравітаційної дії фізичного вакууму.