

**Головна астрономічна обсерваторія
Національної академії наук України**

На правах рукопису

Пілюгін Леонід Степанович

**ВІДКРИТІ НЕОДНОРІДНІ МОДЕЛІ
ХІМІЧНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ГАЛАКТИК**

Спеціальність

01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія

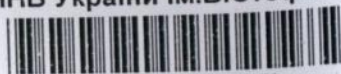
АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ – 1996 р.

52
Дисертацією є рукопис.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761125 (M)

Робота виконана в Головні астрономічній
Національній академії наук України.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук

Гершберг Роальд Євгенович

доктор фізико-математичних наук, професор

Засов Анатолій Володимирович

доктор фізико-математичних наук, професор

Климишин Іван Антонович

Провідна організація:

**Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова
НАН України, м. Київ**

Захист відбудеться *28 березня* 1997 р. на засіданні
Спеціалізованої вченої ради Д 01.74.01 по захисту докторських
дисертацій при Головні астрономічній обсерваторії НАН Украї-
ни за адресою: 252650, Київ - 22, Голосіїв, ГАО НАНУ,
т. 266-47-58. Початок засідань Спецради о *9* годині.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці ГАО НАНУ
за адресою: 252650, Київ - 22, Голосіїв, ГАО НАНУ.

Автореферат розісланий *6 лютого* 1997 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої ради
к.ф.-м. наук

Гусева Н.Г.

Вступ

Метою моделювання хімічної еволюції галактик є завдання пояснити хімічний склад у сучасну епоху і його зміну з часом в нашій Галактиці і в інших галактиках. Існуючі моделі хімічної еволюції підсистем нашої Галактики (диск, гало) передбачають монотонне підвищення металевості підсистеми з часом, тобто зміна металевості підсистеми з часом описується плавною кривою. Характерною рисою спостережуваних співвідношень вік – металевість для підсистем Галактики є велика дисперсія металевостей серед близьких по віку зір. Так для зір всіх вікових цензів із сонячної околиці диску розкид значень металевості серед близьких по віку зір майже такий же великий, як і зміна середнього значення металевості за час існування диску. Співвідношення вік – металевість, що спостерігається для зоряного населення гало, взагалі неможливо описати єдиною кривою.

При дослідженнях хімічної еволюції неправильних галактик припускається (або неявно мається на увазі), що хімічна еволюція всіх неправильних галактик може бути описана єдиним еволюційним треком. Проте в різних неправильних галактиках з однаковим вмістом кисню гелій і азот показують істотний розкид значень вмісту, що свідчить про відмінність у хімічній еволюції різних галактик.

Для дискових галактик виявлена кореляція між величиною радіального градієнта вмісту кисню в диску галактики і її морфологічним типом. Величина радіального градієнта металевості в дисках галактик зростає при просуванні вздовж Хаббловської послідовності галактик (від Sa до Sd), однак у кінці Хаббловської послідовності галактик відбувається перехід від галактик з найбільшими значеннями радіального градієнта металевості до галактик, у дисках яких радіальний градієнт металевості відсутній взагалі. Існуючі моделі хімічної еволюції галактик не пояснюють цієї кореляції.

Таким чином, існуючі моделі хімічної еволюції нашої Галактики та інших галактик можна розглядати тільки як перше наближення.

Мета роботи

Мета даної дисертації полягає:

1) в дослідженні механізмів, які могли б пояснити відмінності у хімічній еволюції неправильних галактик, які виявляються, зокрема, в дисперсії відношень між вмістом окремих елементів для різних галактик з однаковим вмістом кисню;

2) в побудові моделі хімічної еволюції нашої Галактики:

- яка задовольняла б існуючим даним спостережень (розподіл зір по металевостям, співвідношення вік – металевість, відношення вмістів заліза і кисню в зорях різних металевостей) як для зір диску, так і для зір гало;

- яка дозволила б не тільки відтворити загальний тренд підвищення з часом металевості в диску, але і дозволяла б пояснити дисперсію металевостей у співвідношенні вік – металевість;

- яка дозволила б пояснити відсутність єдиної залежності вік – металевість для зоряного населення гало;

3) в побудові моделі хімічної еволюції дискових галактик, яка дозволила б пояснити зміну величини радіального градієнта в дисках галактик при просуванні вздовж Хаббловської послідовності галактик, в тому числі, відсутність радіального градієнта металевості в дисках неправильних галактик Магеланового типу.

Актуальність роботи

Актуальність побудови моделей хімічної еволюції галактик полягає:

- в пошуку і дослідженні механізмів, що зумовлюють спостережувані характерні особливості змін з часом хімічного складу в різних частинах Галактики, що, в решті решт, призводить до побудови сценарію формування і еволюції Галактики;

- в пошуку і дослідженні причин, що обумовлюють відмінність у хімічній еволюції галактик, це має важливе значення для побудови теорії формування і еволюції галактик.

Методи дослідження

Основним методом теоретичних досліджень хімічної еволюції галактик є моделювання. Оскільки аналітичний опис хімічної еволюції галактик можливий лише при спрощувальних припущеннях, то основним методом вивчення хімічної еволюції галактик є чисельне моделювання. Справедливість положень, на яких базується модель хімічної еволюції, перевіряється шляхом порівняння передбачень моделі з даними спостережень.

Аналітичний розв'язок системи рівнянь, що описують хімічну еволюцію однозонної однорідної системи в наближенні миттєвого кругообігу речовини, узагальнений на випадок селективних втрат системою важких елементів у формі збагаченого галактичного вітру. Аналітичний розв'язок використовувався для дослідження якісного впливу збагаченого галактичного вітру на хімічну еволюцію галактик. Для кількісного опису хімічної еволюції окремих галактик (наша Галактика, Велика Магеланова Хмара) і для пошуку відмінностей і закономірностей в хімічній еволюції галактик будувались чисельні моделі.

Наукова новизна роботи

– Встановлено, що збагачений галактичний вітер відіграє найважливішу роль у хімічній еволюції неправильних галактик.

– Обґрунтовано, що дисперсія металевостей, що спостерігається серед близьких по віку зір у сонячній околиці диску, пояснюється епізодичним притоком газу в диск.

– Вперше побудована узгоджена модель хімічної еволюції диску та гало.

– Вперше досліджено вплив обміну газом між різними частинами диску через газове гало на розподіл важких елементів у диску. Показано, що модель хімічної еволюції, яка враховує обмін газом між різними частинами диску через газове гало і втрати маси галактикою, дозволяє пояснити зміну величини радіального градієнта металевості в дисках галактик при просу-

ванні вздовж Хаббловської послідовності галактик, в тому числі відсутність радіального градієнта металевості в дисках неправильних галактик Магеланового типу.

Наукове і практичне значення роботи

У дисертації детально досліджені хімічна еволюція окремих галактик (наша Галактика, Велика Магеланова Хмара) і деякі закономірності хімічної еволюції неправильних галактик, а також дискових галактик пізніх Хаббловських типів. Одержані результати показують, що більш або менш адекватний опис даних спостережень як для окремих галактик, так і для сукупності галактик може бути отримано тільки в рамках відкритих неоднорідних моделей хімічної еволюції галактик. Виконані в дисертації дослідження можна розглядати як важливий і необхідний крок на шляху побудови теорії формування і еволюції галактик.

Побудовані моделі хімічної еволюції галактик можуть бути використані (і використовуються) при дослідженнях еволюції нашої Галактики та інших галактик.

Особистий вклад автора

Більша частина робіт, на яких базується дисертація, виконана автором самостійно від постановки задачі до підготовки публікацій. Роботи, виконані і опубліковані в співавторстві з М.Дж. Едмундсом (Уельський університет, Великобританія) були ініційовані автором, і автор приймав рівну участь в їх виконанні на всіх етапах.

Апробація роботи

Результати роботи доповідались на астрофізичних семінарах ГАО НАНУ, на семінарах відділу фізики та астрономії Уельського університету (Кардіфф, Великобританія), а також подавались на ряді нарад і конференцій:

- 3rd DAEC Meeting "The Feedback of Chemical Evolution on the Stellar Content of Galaxies" (Париж, Франція, 1992);
- International Scientific Spring Meeting of the Astronomische Gesellschaft "Panchromatic View of Galaxies – their Evolutionary Puzzle" (Кіль, Німеччина, 1993);
- Другий з'їзд Української Астрономічної Асоціації (Київ, Україна, 1993);
- ESO/OHP Workshop "Dwarf Galaxies" (Обсерваторія Верхнього Провансу, Франція, 1993);
- ESO/EIPC Workshop "On the Light Element Abundances" (Марсіана Маріна, Італія, 1994);
- The Royal Astronomical Society Meeting to celebrate Professor R.J. Tayler's 65th birthday "The Chemical Composition of the Universe" (Лондон, Великобританія, 1994);
- Третій з'їзд Української Астрономічної Асоціації (Київ, Україна, 1995);
- 11th IAP Astrophysics Meeting "The Interplay between Massive Star Formation, the ISM and Galaxy Evolution" (Париж, Франція, 1995).

Основні результати роботи, що виносяться на захист

1. Результати чисельного і аналітичного дослідження хімічної еволюції неправильних галактик. Аналіз механізмів, які викликають відмінності у хімічній еволюції неправильних галактик.

2. Чисельна модель хімічної еволюції Великої Магеланової Хмари. Обґрунтування ключової ролі збагаченого галактичного вітру в хімічній еволюції Великої Магеланової Хмари.

3. Результати дослідження хімічної еволюції сонячної околиці. Обґрунтування ролі епізодичного притоку газу в диск як основної причини немоногоного росту металевості в диску з часом, що призводить до дисперсії в спостережуваному співвідношенні вік – металевість для зір диску. Встановлення домінуючої ролі обміну газом між диском і газовим гало в збагаченні газового гало Галактики важкими елементами.

4. Результати дослідження хімічної еволюції галактики, яка формується шляхом злиття фрагментів. Погоджена модель хімічної еволюції диску і гало нашої Галактики.

5. Модель хімічної еволюції дискових галактик. Підвищення інтенсивності обміну важкими елементами між різними частинами диску через газове гало і збільшення втрат маси галактикою як причина зміни величини радіального градієнта вмісту кисню в дисках галактик при просуванні вздовж Хаббловської послідовності галактик, у тому числі і відсутність радіального градієнта вмісту кисню в дисках неправильних галактик Магеланового типу.

Об'єм і структура дисертації

Дисертація складається зі вступу, шести глав, висновків і списку літератури, що налічує 352 найменування. Загальний об'єм дисертації становить 310 сторінок.

Зміст дисертації

У вступі обґрунтовується актуальність досліджень, поданих у дисертації, відмічається наукова новизна результатів і особистий вклад автора, сформульовані основні результати роботи, які виносяться на захист.

У першій главі подано огляд досліджень з хімічної еволюції галактик. Прослідковується зародження і розвиток основних ідей теорії хімічної еволюції галактик. Проведено аналіз існуючих моделей хімічної еволюції неправильних галактик. Робиться

висновок, що при інтерпретації даних спостережень для неправильних галактик необхідно враховувати розбіжності в хімічній еволюції різних галактик.

Аналізуються існуючі моделі хімічної еволюції підсистем Галактики. Відмічається, що деякі положення, що використовуються в існуючих моделях, надто спрощують моделі. Так, моделі хімічної еволюції диску, в яких доля газу в диску монотонно змінюється з часом, не дозволяють пояснити дисперсію металевостей, що спостерігається серед близьких по віку зір диску. Існуючі моделі хімічної еволюції диску і гало Галактики не узгоджуються між собою, при цьому причиною суперечності є використання однорідної однозонної моделі для опису хімічної еволюції гало. Мотивується необхідність побудови моделей хімічної еволюції, які базуються на більш реалістичних положеннях.

У другій главі зібрано наявні дані про синтез елементів в зорях різних мас. Описано методику розрахунків кількості важких елементів, які постачаються в міжзоряне середовище популяцією зір, в залежності від часу, що пройшов з моменту народження популяції зір. Наведені результати розрахунків для кисню, гелію, азоту і заліза, які використовуються в наступних главах при побудові моделей хімічної еволюції галактик. Відмічено особливу роль кисню і заліза в дослідженні хімічної еволюції галактик.

Третя глава присвячена дослідженню хімічної еволюції неправильних галактик. Побудовано чисельну модель хімічної еволюції неправильних галактик, яка враховує самозбагачення областей зореутворення важкими елементами і втрату маси галактикою. При дослідженні втрати маси галактикою враховувались як неселективні втрати важких елементів у формі звичайного галактичного вітру, так і селективні втрати важких елементів у формі збагаченого галактичного вітру.

Аналітична модель хімічної еволюції галактик модифікована таким чином, щоб врахувати селективні втрати важких елементів у формі збагаченого галактичного вітру. Дано порівняння аналітичного розв'язку з результатами чисельного моделювання.

Показано, що ефекти впливу звичайного галактичного вітру і збагаченого галактичного вітру на хімічну еволюцію галактик принципово різні: результатом дії звичайного галактичного вітру є зменшення кількості газу в галактиці, а основним результатом дії збагаченого галактичного вітру є зміна співвідношень між вмістом окремих елементів в міжзоряному середовищі внаслідок селективної втрати елементів, які синтезуються.

З метою виявлення причин дисперсії точок на діаграмах $Y - O/H$ і $N/O - O/H$ для неправильних галактик досліджені еволюційні треки неправильних галактик на вказаних діаграмах. Знайдено, що основним фактором, який призводить до зміщення еволюційного треку неправильної галактики відносно стандартного еволюційного треку замкнутої системи, є збагачений галактичний вітер. Величина зміщення еволюційного треку на діаграмі $Y - O/H$ визначається ефективністю збагаченого галактичного вітру і відмінністю вкладів, які наднові II вносять у продукування гелію і кисню даної популяції зір. Цей висновок відноситься не тільки до гелію і кисню, а й до будь-якої пари важких елементів. Зміщення еволюційного треку, яке викликається звичайним галактичним вітром і варіюванням параметрів історії зореутворення, неістотні. Іншими словами, співвідношення між вмістом гелію, азоту і кисню в міжзоряному середовищі галактики визначається ефективністю збагаченого галактичного вітру в даній галактиці. Оскільки різні неправильні галактики еволюціонують зі збагаченим галактичним вітром різної ефективності, це призводить до появи дисперсії точок на діаграмах $Y - O/H$ і $N/O - O/H$ для неправильних галактик. Внаслідок самозбагачення областей зореутворення еволюційні треки неправильної галактики на діаграмах $Y - O/H$ і $N/O - O/H$ являють собою зигзагоподібні криві, тобто на кожній діаграмі еволюційний трек замітає смугу. Це також є причиною розкиду точок на діаграмах $Y - O/H$ і $N/O - O/H$.

Розглянуто співвідношення маса – металевість у неправильних галактиках, яке, що загально визнано, обумовлене залежністю інтенсивності галактичного вітру від маси галактики. По-

казано, що у випадку еволюції неправильної галактики зі збагаченим галактичним вітром втрати маси галактикою, необхідні для пояснення спостережуваного співвідношення маса – металевість, приблизно на порядок нижчі, ніж у випадку еволюції галактики тільки зі звичайним галактичним вітром.

Побудовано модель хімічної еволюції Великої Магеланової Хмари з врахуванням епізодичного зореутворення і галактичного вітру. Показано, що із усіх існуючих моделей хімічної еволюції галактик тільки модель зі збагаченим галактичним вітром дозволяє пояснити високе відношення вмісту заліза і кисню, яке спостерегається у ВМХ.

В четвертій главі проаналізовано існуючі дані спостережень і побудовано базову модель хімічної еволюції сонячної околиці диску. Показано, що обмін газом між диском і газовим гало відіграє домінуючу роль у збагаченні газового гало важкими елементами. Обґрунтовано існування тривалого надходження газу у диск іззовні, крім газового гало. Знайдено значення вільних параметрів моделі, при яких модель найкращим чином описує сукупність існуючих даних спостережень: співвідношення вік – металевість, розподіл зір сонячної околиці диску по металевостям, співвідношення між вмістом заліза і кисню в зорях сонячної околиці диску різної металевості.

На основі базової моделі побудовано неоднорідна модель хімічної еволюції сонячної околиці диску з врахуванням епізодичного випадання бідного важкими елементами газу на диск і самозбагаченням областей зореутворення з тривалим зореутворенням. Показано, що в рамках такої моделі пояснюється дисперсія вмісту заліза і кисню, яка спостерігається серед близьких по віку зір сонячної околиці диску. Знайдено, що внесок в дисперсію вмісту важких елементів, який зумовлений епізодичним надходженням незбагаченого газу в диск, вищий, ніж внесок, зумовлений самозбагаченням областей зореутворення з тривалим зореутворенням.

В рамках побудованої неоднорідної моделі хімічної еволюції розрахована зміна з часом вмісту дейтерію в міжзоряному се-

редовищі. На відміну від заліза і кисню, неоднорідна модель завбачає незначну величину дисперсії вмісту дейтерію в міжзоряному середовищі, що узгоджується з тим, що існуючі вимірювання вмісту дейтерію в міжзоряному середовищі в різних напрямках до відстані ~ 1 кпк від Сонця дають практично однаковий вміст дейтерію. Оцінено догалактичний вміст дейтерію, $(D/H)_{pr} \simeq 2.1 \times 10^{-5}$ по числу атомів. Вимірювання вмісту дейтерію в об'єктах з великими червоними зміщеннями дають величину біля 10^{-5} згідно даних одних авторів і величину біля 10^{-4} згідно даних інших авторів. Одержана модельна оцінка догалактичного вмісту дейтерію близька до даних авторів, які дають низький вміст дейтерію в об'єктах з великими червоними зміщеннями.

У п'ятій главі розглянуто спільну хімічну еволюцію гало і сонячної околиці диску в рамках наступного сценарію формування і еволюції Галактики: протогалактика є система фрагментів, які еволюціонують незалежно до моменту злиття з диском або балджем, 2) зорі, які народились у фрагментах до їх злиття з диском або балджем, утворюють зоряне населення гало, 3) диск і балдж формуються із газу фрагментів після злиття фрагментів з диском або балджем. Такий сценарій формування Галактики оснований на відомій ідеї Searle & Zinn (1978, *Astrophys.J.*, **225**, 357). Показано, що ідея мультифрагментної протогалактики дозволяє узгоджено пояснити існуючі дані спостережень для гало і диску, що не вдавалось зробити в моделях хімічної еволюції Галактики, побудованих у рамках сценарію Eggen, Lynden-Bell & Sandage (1962, *Astrophys.J.*, **136**, 748), в якому формування Галактики відбувається шляхом стискання єдиної протогалактичної хмари.

– Оскільки зореутворення в різних фрагментах може починатись у різний час, то загальна тривалість епохи формування зоряного населення гало може бути відносно довгочасною (як вказує дисперсія віків кульових скупчень гало), тоді як тривалість зореутворення в кожному фрагменті, мабуть, не перевищує ~ 1 - 2 млрд. років (як засвідчує діаграма $[Fe/O] - [Fe/H]$ для зір гало). При цьому стає зрозумілою відсутність єдиної залежності вік

металевість для населення гало.

– Спостережуваний розподіл зір гало по металевостям, для котрого характерним є надлишок зір низької металевості, добре пояснюється тим, що зоряне населення гало – це суміш зір, які народились у різних фрагментах до їх злиття в диск. При цьому різні фрагменти еволюціонують до різних рівнів астрації, тобто в різних фрагментах різна доля маси перетворюється в зорі.

– Послідовне злиття фрагментів з диском забезпечує епізодичне надходження газу в диск, що призводить до немонотонного росту металевості диску з часом і дозволяє пояснити дисперсію металевостей серед близьких по віку зір диску.

В шостій главі розглянуто хімічну еволюцію дискових галактик у рамках наступної моделі:

– еволюція диску супроводжується надходженням газу іззовні (крім гало), при цьому надходження газу компенсує фіксовану долю газу, який перетворюється в зорі,

– зореутворення в диску супроводжується викидом газу із диску в гало – дисковий вітер, при цьому враховується як звичайний дисковий вітер, так і збагачений дисковий вітер,

– частина викинутої із диску речовини покидає галактику – галактичний вітер,

– друга частина викинутої із диску речовини перемішується з газом гало і з часом осідає назад на диск,

– речовина в газовому гало добре перемішана,

– кількість речовини, викинутої із диску в газове гало, точно компенсується кількістю газу, що осідає на диск із газового гало, тобто відсутній перенос маси, і в той же час існує обмін важкими елементами між диском і газовим гало і, в решті решт, між різними частинами диску через газове гало.

Показано, що обмін газом між різними частинами галактики і галактичний вітер суттєво впливають на вміст і розподіл кисню в дисках галактик. Знайдено, що зміна величини радіального градієнта вмісту кисню в дисках галактик вздовж Хаббловської послідовності галактик може бути пояснена зростанням інтен-

сивності обміну важкими елементами між різними частинами диску через газове гало і втрат маси при просуванні від галактик ранніх типів до галактик пізніх типів. Зокрема, модель дозволяє пояснити перехід від галактик з крутими градієнтами до галактик з плоскими градієнтами, який відбувається в галактиках пізніх типів.

Завбачення моделей з помірним обміном масою і низькою величиною втрати маси узгоджуються з даними спостережень для галактик типу M33, які мають крутий радіальний градієнт вмісту кисню (~ -0.1 dex/кпк) і високий вміст кисню в центрі диску ($12 + \log O/H \sim 9$). Завбачення моделей з інтенсивним обміном масою і помірною величиною втрати маси узгоджуються з даними спостережень для галактик типу VMX, для яких характерною особливістю є відсутність радіального градієнта вмісту кисню і низьке значення вмісту кисню ($12 + \log O/H$ менше, ніж ~ 8.5).

У висновках наведено перелік основних результатів, одержаних в дисертаційній роботі.

Основні результати дисертації опубліковані в роботах

Пилюгин Л.С. Модели эволюции областей звездообразования в голубых компактных карликовых галактиках. 1. Фотометрическая эволюция // Кинематика и физика небесных тел. – 1991. – 7, N 2. – с. 62 – 66.

Пилюгин Л.С. Модели эволюции областей звездообразования в голубых компактных карликовых галактиках. 2. Химическая эволюция // Кинематика и физика небесных тел. – 1991. – 7, N 3. – с. 77 – 81.

Пилюгин Л.С. Модели эволюции областей звездообразования в голубых компактных карликовых галактиках. 3. Сравнение с наблюдаемым содержанием кислорода // Кинематика и физика небесных тел. – 1991. – 7, N 4. – с. 73 – 80.

- Пилюгин Л.С.** Химическая эволюция неправильных галактик // Кинематика и физика небесных тел. - 1994. - 10, N 1. - с. 20 - 24.
- Пилюгин Л.С.** Влияние галактического ветра на химическую эволюцию неправильных галактик. 1. Численное моделирование и аналитическое описание // *Астрономический журнал*. - 1994. - 71, вып. 6. - с. 825 - 832.
- Пилюгин Л.С.** Влияние галактического ветра на химическую эволюцию неправильных галактик. 2. Проблема определения догалактического обилия гелия // *Астрономический журнал*. - 1994. - 71, вып. 6. - с. 833 - 836.
- Пилюгин Л.С.** Химическая эволюция Большого Магеланова Облака // Кинематика и физика небесных тел. - 1996. - 12, N 2. - с. 82 - 85.
- Колесник И.Г., Пилюгин Л.С.** Распределение по периодам двойных систем - предшественников планетарных туманностей // Кинематика и физика небесных тел. - 1986. - 2, N 6. - с. 67 - 76.
- Pilyugin L.S.** On the gaseous oxygen abundance evolution in star formation regions in HII galaxies. - 1990, Kiev, - 20 p. - (Prepr. /Inst. Theoret. Phys.; No 73E).
- Pilyugin L.S.** The evolution of nitrogen and oxygen abundances in dwarf irregular galaxies. 1991, - Kiev, - 37 p. - (Prepr. /Inst. Theoret. Phys.; No 47E).
- Pilyugin L.S.** On the helium, nitrogen and oxygen abundances evolution in dwarf irregular galaxies. - 1992, Kiev, - 27 p. - (Prepr. /Main Astronomical Observatory; No 7E).
- Pilyugin L.S.** The evolution of nitrogen and oxygen abundances in dwarf irregular galaxies // *Astron and Astrophys.* - 1992. - 260. - p. 58 - 66.

- Pilyugin L.S.** The chemical evolution of dwarf irregular galaxies // The feedback of chemical evolution on the stellar content of Galaxies / Eds. D. Alloin, G. Stasinska. - Paris, (Editions Frontiers), 1992. - p. 153 - 164.
- Pilyugin L.S.** The evolution of helium, nitrogen and oxygen abundances in dwarf irregular galaxies // Astron and Astrophys. - 1993. - 277. - p. 42 - 52.
- Pilyugin L.S.** An analytical model of chemical evolution of irregular galaxies with selective heavy elements loss // Dwarf galaxies / Eds. G. Meylan, P. Prugniel - Munchen, (ESO Publications), 1993. - p.573-576.
- Pilyugin L.S.** Final to initial mass ratio for irregular galaxies // Dwarf galaxies / Eds. G. Meylan, P. Prugniel - Munchen, (ESO Publications), 1993. - p. 577 - 580.
- Pilyugin L.S.** The chemical evolution of irregular galaxies with mass loss // Astron and Astrophys. - 1994. - 287. - p. 387 - 392.
- Pilyugin L.S.** On the dY/dZ determination // The light element abundances / Ed. P. Crane - Berlin, (Springer - Verlag), 1994. - p. 187 - 190.
- Pilyugin L.S., Edmunds M.G.** The formation and the chemical evolution of the Galactic disk. 1. Continuous gas infall onto the disk // The interplay between massive star formation, the ISM and Galaxy evolution / Eds. D. Kunth, B. Guiderdoni, M. Heydari - Malayeri, T.X. Thuan, - 1996, Paris, (Editions Frontiers), - p. 591 - 592.
- Pilyugin L.S., Edmunds M.G.** The formation and the chemical evolution of the Galactic disk. 2. Episodic gas infall onto the disk // The interplay between massive star formation, the ISM and Galaxy evolution / Eds. D. Kunth, B. Guiderdoni,

M. Heydari - Malayeri, T.X. Thuan, - 1996, Paris, (Editions Frontiers), - p. 593 - 594.

Pilyugin L.S. The formation and the chemical evolution of the Galactic disk. 3. Successive mergers of fragments // The interplay between massive star formation, the ISM and Galaxy evolution / Eds. D. Kunth, B. Guiderdoni, M. Heydari - Malayeri, T.X. Thuan, - 1996, Paris, (Editions Frontiers), - p. 595 - 596.

Pilyugin L.S. On the evolution of iron and oxygen abundances in the Large Magellanic Cloud // Astron. and Astrophys. - 1996. - 310, - p. 751 - 756.

Pilyugin L.S., Edmunds M.G. Chemical evolution of the Milky Way Galaxy. 1. On the infall model of galactic chemical evolution // Astron. and Astrophys. - 1996. - 313, No 3, p. 783 - 791.

Pilyugin L.S., Edmunds M.G. Chemical evolution of the Milky Way Galaxy. 2. On the origin of scatter in the age - metallicity relation // Astron. and Astrophys. - 1996. - 313, No 3, p.792-802.

Pilyugin L.S. Chemical evolution of the Milky Way Galaxy. 3. Is the disk formed through mergers of fragments? // Astron. and Astrophys. - 1996. - 313, No 3, p. 803 - 809.

Аннотация

Пилюгин Л.С. Открытые неоднородные модели химической эволюции галактик. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико – математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия. Рукопись. Главная астрономическая обсерватория НАН Украины. Киев. 1996.

Защищается 25 научных работ, которые содержат результаты численного и аналитического моделирования химической эволюции галактик. Исследована химическая эволюция отдельных галактик (наша Галактика, Большое Магеланово Облако), а также исследованы некоторые закономерности химической эволюции неправильных галактик и дисковых галактик поздних Хаббловских типов.

Ключові слова: хімічна еволюція галактик, вміст важких елементів, галактичний вітер

Pilyugin L.S. Open inhomogeneous models for the chemical evolution of galaxies. Doctor of sciences thesis in 01.03.02 – astrophysics, radioastronomy. A manuscript. Main Astronomical Observatory of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1996.

Thesis is based on 25 scientific publications, which contain results of numerical and analytical simulation of the chemical evolution of galaxies. The chemical evolution of individual galaxies (the Milky Way Galaxy, the Large Magellanic Cloud) as well as some general features of the chemical evolution for irregular galaxies and for late-type disk galaxies are studied.

Зам. 114 Формат 60×84/16 Обл.-вид. арк. 1.0
Підписано до друку 20.12.1996 Тираж 100.

Поліграфічна дільниця ІТФ ім. М.М.Боголюбова НАН України

641434

AB 36.987

AB 36.987