

ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

На правах рукопису
УДК :524.7 - 337

Железняк Олег Олександрович

**ОСОБЛИВОСТІ РІВНОВАГИ І ДИНАМІКИ
ГРАВІТУЮЧИХ СИСТЕМ**

Спеціальність
01.03.02 - астрофізика, радіоастрономія

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук



Київ - 1996 р.

AB 35.324

Дисертація в рукописі
ЛННБ України ім.В.Стефаніка Інститут теоретичної фізики



00754206 (O) Унікод

доктор фізико-математичних наук, професор, член-кор.НАНУ

Фомін Петро Іванович (ІТФ НАНУ, м.Київ)

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор

Климишин Іван Антонович (Прикарпатський університет м.Івано-Франківськ);

доктор фізико-математичних наук, професор

Конторович Віктор Мусійович (Радіоастрономічний інститут НАНУ, м.Харків);

доктор фізико-математичних наук

Горькавий Микола Миколайович (Кримська астрофізична обсерваторія)

Провідна установа: **ДАШ (Московський університет)**


Захист дисертації відбудеться " 3 " жовтня " 1996р.

на засіданні Спеціалізованої ради Д 01.74.01 по захисту докторських дисертацій при Головній астрономічній обсерваторії НАН України за адресою: 252650, Київ, ГСП 22, Голосієво, ГАО НАНУ, т. 266-47-88. Початок засідання Спецради о 11 годині.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ГАО НАНУ за адресою : 252650, Київ, ГСП 22, Голосієво, ГАО НАН України.

Автореферат розісланий "15" листопада 1996р.

Вчений секретар Спеціалізованої ради

Кандидат фізико-математичних наук  **Гусєва Н.Г.**

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Актуальність теми. Прояв гравітації відчувається майже у всіх астрономічних явищах. Закони руху значної частини Всесвіту визначаються гравітаційною силою. Під час еволюції Всесвіту гравітація забезпечує формування галактик, зір і планет. Такі зв'язані гравітаційною силою системи мають свої особливості динамічної та хімічної еволюції.

Усвідомлюючи важливість вивчення гравітуючих систем, класики світової науки (Клеро А.К., Лагранж Ж.Л., Якобі К., Джинс Дж.Х., Пуанкаре А.О., Ляпунов О.М.) приділяли їм значну увагу, тісно пов'язуючи результати досліджень з космогонічними проблемами.

З часом розвиток астрофізики, розширення хвильового діапазону астрономічних спостережень і застосування сучасних приймачів випромінювання дали можливість виявити у гравітуючих системах такі властивості, про які зовсім нічого не було відомо класикам. До таких характеристик належать: великомасштабні галактичні магнітні поля, масивні гравітуючі гало (корони), тривісність форм галактик. Тут потрібно додати ще те, що була відкрита активність ядер галактик, зареєстровано нестационарні похилі газопилові утворення в галактиках та виявлено явище протитечій речовини (обертання матерії у протилежних напрямках).

Зрозуміло, що для подальшого поступу у вивченні властивостей гравітуючих систем і пояснення нових фактів астрономічних спостережень необхідно врахувати вплив на еволюцію згаданих факторів. Виходячи з цього, **важливою і актуальною астрофізичною проблемою** є дослідження еволюційних особливостей гравітую-

чних систем, обумовлених магнітним полем, обертанням, в'язкістю і зовнішнім оточенням.

В останні десятиліття привертає до себе істотну увагу еволюція галактик, оскільки вважається, що глобальні еволюційні проблеми планет і зір уже більш-менш вивчені. Галактикам було присвячено немало наукових робіт та монографій [1,2,3,4], але залишилось ще багато невирішених питань. Практично не вивчений вплив магнітного поля і прихованої маси на утворення та еволюцію галактик. До кінця не усвідомлена дія активних процесів в ядрах на форму галактик і походження внутрішніх та зовнішніх газопилових галактичних утворень. Свого пояснення ще чекають: виникнення тривісності галактик, стійкість похилих газопилових дисків і кільця та походження протитечій речовини. Недостатньо досліджені також в'язкі процеси у галактиках, що сприяють перерозподілу кінетичного моменту і зумовляють формування дисипативних структур.

Мета роботи.

1. Вивчити особливості гравітаційних систем, спричинені вмороженням магнітним полем.
2. Дослідити вплив гравітаційної корони на порядок настання динамічних нестійкостей еліпсоїда.
3. Побудувати рівноважні конфігурації похилих газопилових утворень у прецесуючих галактиках.
4. Проаналізувати особливості динаміки газопилових частинок, які вносяться тривісністю галактик.
5. Виявити еволюційні особливості в'язкого газопилового диску.

Наукова і практична цінність. У дисертації виріше-

на важлива астрофізична задача. Результати дослідження є вагомим внеском у поглиблення знань про особливості еволюції гравітуючих систем. Вивчено вплив магнітного поля та масивних корон на стійкість гравітуючих систем по відношенню до рівних збурень. Запропонована і розроблена гіпотеза формування похилих газопилових структур у прецесуючих галактиках. Виявлено, що локальні протитечі речовини можуть виникати внаслідок аккреції в тривісних галактиках, які мають власне обертання. Знайдено частинні аналітичні рішення еволюційного рівняння в'язкого газопилового диску. Застосовані ідеї та методи дослідження можуть використовуватись у суміжних галузях науки.

Нові наукові результати, отримані вперше, автор вносить на захист:

1. Визначення рівноважної форми шарів речовини та дослідження їх стійкості з врахуванням магнітного поля і гравітації.
2. Знаходження порядку настання динамічних нестійкостей однорідного самогравітуючого еліпсоїда з азимутальним магнітним полем.
3. Визначення точки початку вікової нестійкості самогравітуючого еліпсоїда з азимутальним внутрішнім магнітним полем.
4. Виявлення зміни порядку настання динамічних нестійкостей самогравітуючого еліпсоїда при наявності гравітуючої корони (гало).
5. Пояснення формування у прецесуючих галактиках похилих газопилових структур.

6. Знаходження умов розділення зон гідродинамічної та гравітаційної нестійкості в газопилових самогравітуючих кільцевих структур з диференціальним обертанням, що знаходяться у зовнішньому полі галактики.

7. Пояснення виникнення локальних протитечій речовини внаслідок аккреції в тривісних галактиках з власним обертанням.

Апробація роботи. Основні результати дослідження доповідалися на таких астрофізичних наукових нарадах: "Структура галактик і зіркоутворення" (Всесоюзна. 1983. Київ. Голосієво. ГАО НАН України); "Динамічні властивості галактик" (Всесоюзна. 1985. Тарту. Тиравере. ІАФА АН Естонії); "Спостерігальні докази активності галактик" (Міжнародна. Симпозіум МАС N 121. 1986. Вюракан. БАО АН Вірменії); "Галактики з активними ядрами" (Всесоюзна. 1987. Крим. Науковий. КрАО); "Кратні галактики і групи галактик" (Всесоюзна. 1988. С.-Петербург. РДПУ); "Кінематика і динаміка зіркових скупчень" (Всесоюзна. С.-Петербург. Пулково. ГАО РАН); "Фізика активних процесів в ядрах галактик" (Всесоюзна. 1989. Київ. Феюфанія, ІТФ НАН України); "Проблеми фізики міжзоряного середовища" (Всесоюзна. 1990. Ростов-на-Дону. Цей. РДУ); "Сучасні проблеми астрофізики" (Всесоюзна. 1991. Нижній Новгород. РФІ РАН); "Проблеми гравітації і космічної гаодинаміки" (Всеукраїнська. 1992. Львів. ІППМ НАН України); "Математичні методи в дослідженні структури і динаміки гравітуючих систем" (Міжнародна. 1993. Петроаводськ. Карелія. ЦДУ); "Астрофізика і космологія

після Гамова" (Міжнародна. 1994. Одеса. Чорноморна. АО ОДУ); "Конференція, присвячена 225-ї річниці заснування АО ЛДУ" (Всеукраїнська. 1994. Львів. АО ЛДУ), а також на семінарах АО С.-Петербурзького університету, АО Львівського університету, ДАІШ Московського університету, Тартуської обсерваторії, ШАО АН Азербайджану, ГАО НАН України, ІТФ НАН України, УДПІ.

Об'єм і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти глав, висновків і списку використаної літератури, що налічує 211 періоджерел. Загальний об'єм дисертації становить 203 сторінки, включаючи 22 малюнки.

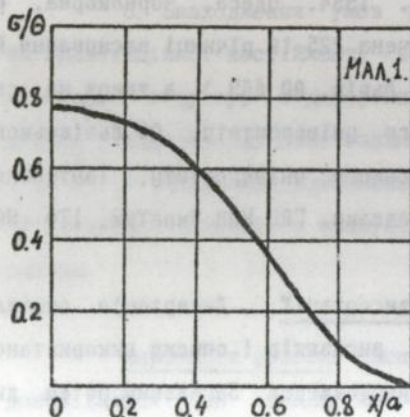
ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обгрунтовано актуальність дослідження, сформульовано основні задачі та методи їх вирішення. Дано також загальну характеристику отриманих результатів.

У першій главі вивчається вплив магнітного поля на рівновагу і стійкість гравітуючих систем. Спочатку розглянуто двовимірну конфігурацію речовини у вигляді шару, що означає одночасно дію магнітного поля і гравітації. Знайдено закон зміни поверхневої густини $\sigma(x)$ рівноважного шару. Він виявився однаковим як у випадку самогравітації, так і у випадку зовнішнього гравітаційного поля, і має вигляд:

$$\sigma(x) = \Theta(\vec{H}) \int_x^a (a^2 - t^2)^{-1/2} \sin[k(t-x)] dt$$

де a - півширина шару, величини Θ і k залежать від напруженості магнітного поля \vec{H} . Як видно з мал.1, де подано



обчислену поверхневу густину шару у відносних одиницях, існує лише один максимум при $x = 0$. Це пояснюється тим, що самогравітація прагне стягнути речовину до центру шару, а у випадку зовнішнього гравітаційного поля максимум виникає за рахунок стікання речовини в яму

вздовж магнітних силових ліній. Енергетичним методом проведено дослідження стійкої знайденої конфігурації. Виявлено, що рівноважний шар стійкий у двох згаданих випадках. З цього випливає мінімум повної енергії знайденої рівноважної конфігурації. При відповідних умовах такий шар може сформуватися у міжзоряному середовищі, яке зазнає впливу магнітного поля і гравітації.

Далі досліджувались особливості рівноваги самогравітаційного еліпсоїда з магнітним полем. Для цього використовувались рівняння магнітної гідродинаміки у системі координат, що жорстко зв'язана з еліпсоїдом, який обертається з кутовою швидкістю $\vec{\Omega}$:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nabla \Phi + \frac{1}{4\pi\rho} [\text{rot} \vec{H} \cdot \vec{H}] + [\vec{\Omega} [\vec{r}, \vec{\Omega}]] + 2[\vec{v}, \vec{\Omega}] \quad (1)$$

де \vec{v} - швидкість, ρ - густина, P - тиск, Φ - гравітаційний потенціал. До (1) додавалось ще рівняння Пуассона:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \Delta \Phi = -4\pi G \rho \quad (2)$$

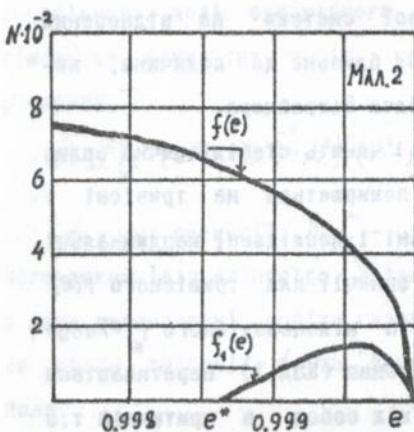
та граничні умови на поверхні еліпсоїда. Із врахуванням ві-

домого потенціалу однорідного еліпсоїда і азимутального вимороженого магнітного поля, знаходилось стаціонарне рішення (1), що відповідає рівноважній конфігурації.

Завдавши рівноважному еліпсоїду тривісні та кільцеподібні збурення, аналітично знайдено критерій його стійкості і порядок настання динамічних нестійкостей. Фігура буде стійкою, якщо виконуються нерівності:

$$H_0^2 (4\pi G \rho^2 a^2)^{-1} > f(e) ; H_1^2 (4\pi G \rho^2 a^2)^{-1} > f_1(e) \quad (3)$$

де a, e - велика піввісь і ексцентриситет еліпсоїда, $f(e)$, $f_1(e)$ - маржинальні функції відповідно для тривісних і кільцеподібних збурень (Мал.2). З критерія (3) випливає, що



магнітне поле стабілізує конфігурацію і без втрати динамічної стійкості еліпсоїд може перевищити критичне значення ексцентриситету

$$e > e_{кр} = 0.95285,$$

відоме з класичної теорії рівноважних фігур. Графічне зображення маржинальних функцій $f(e)$,

$f_1(e)$ свідчить про те, що магнітне поле не змінить порядку настання динамічних нестійкостей (тривісність настає раніше, ніж відокремлення кільця). Цей результат відбиває глобальні особливості протогалактик з магнітним полем, що зазнають стискання. Під час еволюції магнітне поле не в змозі переходити виникнення тривісності галактик.

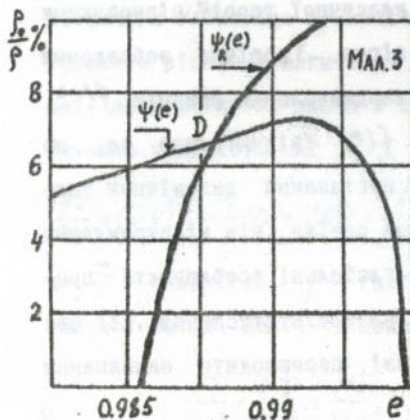
Виявлено також таку особливість, що точка початку

вікової нестійкості при стисканні еліпсоїда не залежить від величини вмороженого в нього магнітного поля.

Друга глава присвячена дослідженню особливостей стійкості еліпсоїдальної ізотропної зіркової системи, а також впливу гравітаційного гало (корони) на стійкість сфероїда.

Показано, що така еліпсоїдальна система без врахування зіркових зіткнень нестійка по відношенню до кільцеподібних збурень, якщо її ексцентриситет $e > e_R \approx 0.993$. Порівняння різних видів нестійкості вказує на те, що тривісність при стисканні системи настає раніше, ніж відокремлення кільця. Критичне зниження ексцентриситету, при якому настає нестійкість такої зіркової системи по відношенню до тривісних збурень $e_T \approx 0.866$, близьке до величини, визначеної з відомого критерія Піблса-Острайкера.

Гравітаційна корона (гало) чинить стабілізуючий вплив на еліпсоїд. Явище стабілізації поширюється на тривісні і кільцеподібні збурення. Побудовані і досліджені маргінальні



функції для тривісного $\Psi(e)$

та кільцеподібного $\Psi_R(e)$ збурення (Мал.3) перетинаються між собою в критичній т. D

(0.98598, 0.065). Саме в цій точці, коли відношення густини корони і сфероїда

$\frac{\rho_0}{\rho} \approx 6.5x$, відбувається зміна порядку настання не-

стійкостей, тобто спочатку виникає нестійкість по відношенню до кільцеподібних збу-

рень, а потім до тривісних. Отримані результати з космологічної точки зору трактується наступним чином. Під час стиснення на ранніх стадіях еволюції у присутності гравітаційної корони (гало) можливе відокреплення речовини від екватора центрального тіла. Таке походження можуть мати зовнішні газопилові утворення в галактиках.

У третій главі досліджуються особливості динаміки газопилових частинок у прецесуючих і тривісних галактиках, а також вивчається вплив диференціального обертання на закони руху та стійкість галактичних кільцевих галактичних структур.

Використавши (1) в точковому наближенні, знайдено у внутрішньому полі однорідного прецесуючого еліпсоїда три сімейства замкнутих орбіт, що задовольняють дисперсійне рівняння:

$$1 + \Omega^2 [1 - (\omega^2 - A + \Omega^2)^{-1} \omega^2] [(\omega^2 - A)^{-1} \sin^2 \alpha + (\omega^2 - C)^{-1} \cos^2 \alpha] = 0 \quad (4)$$

де α - кут прецесії; A, C - сталі коефіцієнти гравітаційного потенціалу еліпсоїда. Згідно (4), кут нахилу площин φ , в яких розташовані орбіти газопилових частинок, визначається кутом прецесії α та характеристиками гравітаційного поля.

Для реалізації отриманих еліптичних замкнутих орбіт, в якості похилих газопилових структур у галактиках, необхідна їх стійкість по відношенню до незворотних дисипативних впливів. Повна енергія газопилових дисків (кілець) E та кінетичний момент \vec{K} не зберігається у прецесуючій галактиці. Змін не зазнає лише їх комбінація:

$$P = E - \vec{\Omega} \cdot \vec{K} = E - \Omega (K_x \cos \alpha + K_z \sin \alpha)$$

Незворотні процеси повинні приводити газопилові диски у стан з мінімальним значенням Π . Після складання функціоналу, була поставлена і вирішена варіаційна задача на його мінімум, при умовах збереження маси диску та циркуляції швидкості вдовж контура диску.

Виявилось, що лише одна із визначених орбіт відповідає мінімуму функціоналу і є стійкою до збурень. Під час еволюції речовина міжзоряного середовища буде осідати у площину стійкої орбіти, формуючи в галактиках похилі газопилові структурні. Таким чином, прецесія галактик може спричиняти виникнення похилих і стійких галактичних газопилових утворень. Розглянуті випадки сплюснених і видовжених галактик.

Подальше дослідження руху газопилових частинок зв'язано з розглядом їх аккреції у тривісній галактиці з повільним обертанням, що має форму тривісного еліпсоїда. В точковому наближенні для аккреції речовини аналітично вирішено (1) методом послідовних наближень. Із врахуванням початкових умов, отримане рішення засвідчує те, що аккреція газопилових частинок у галактиці з повільним обертанням спричиняє формування похилих нестационарних дисків, які мають еліптичну форму. Знайдене поле швидкості в полярних координатах (R, φ) має вигляд:

$$\begin{cases} v_R = \frac{\gamma C^2 R}{\beta} [(c' - b') \cos^2 \varphi + (c' - a') \sin^2 \varphi] , \\ v_\varphi = \frac{C^2 R}{\beta} [\gamma (b' - a') \sin \varphi \cos \varphi + \Omega] \end{cases} \quad (5)$$

де a', b', c' - збурені піввісі еліпсоїда. Через γ і β - значені величини:

$$\gamma = \frac{4}{5} \pi G \rho_0 t_0 r_0^{-2} ; \quad \beta = \gamma^2 (a' - c') (b' - c') + \Omega$$

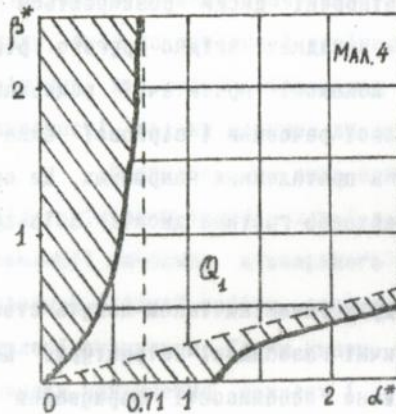
З системи (5) випливає, що утворені диски розширюються і швидко обертаються. В окремих випадках, згідно другого рівняння (5), можуть виникати локальні протитечі речовини, тобто коли обертання газопилової речовини і зіркової складової галактики відбувається в протилежних напрямках. Це одне особливиств є те, що поверхнева густина дисків збільшується від їх центра до краю.

Активні процеси в ядрах галактик також можуть створювати нестаціонарні галактичні газопилові структури. Для вивчення цього було досліджено особливості формування і розширення газопилового кільця під дією променевого тиску, враховуючи нагрівання речовини та диференціальне обертання галактики. Отримано аналітичне рішення динамічних рівнянь і проведено його порівняння з даними спостережень внутрішніх газопилових кілець у галактиках. Установлено, що активність ядер галактик може спричиняти формування внутрішніх кільцевих структур та істотно впливати на перерозподіл кінетичного моменту міжзоряної речовини.

Утворившись певним чином, кільцева структура в галактиках повинна бути достатньо стійкою, щоб протидіяти різним руйнівним факторам. Наприклад, диференціальна течія може спричинити розиття і змішування кільця з оточуючим середовищем, а його гравітація - до розпаду на окремі згустки, що врешті-решт приведе до зникнення кільцевої структури.

Виходячи з цього, виникла необхідність дослідити стійкість газопилових кілець у галактиках. Дослідження стійкості самогравітаційного кільця зроблено в лінійному наближенні. Використовувались для цього (1) і (2), без враху-

вання магнітного поля, в локальній системі координат. Ви-



значено, що двовірна кільцева структура з диференціальним обертанням у гравітаційному полі галактики підвладна гідродинамічній та гравітаційній нестійкостям. Аналіз знайденого дисперсійного рівняння вказує на те, що відбувається розмежування гравітаційної і гідродина-

мічної нестійкості (Мал.4). Збільшення вкладу самогравітації, що рівнозначне зростанню β^* , пов'язане з виникненням додаткової зони стійкості: динаміська і гідродинамічна нестійкості, змагавшись у цій зоні Q_1 , виключають одна одну (заштриховані зони є областями нестійкості). Загальне обертання чинить стабілізуючий вплив на газопилове кільце, завдяки чому воно може бути стійким в галактиках.

У ч е т в е р т і й г л а в і знайдені основні особливості руху газопилових частинок навколо тривісних галактик, що повільно обертаються. В наближенні малої тривісності отримано сімейства зовнішніх замкнених орбіт і досліджено їх на стійкість.

Рух частинок у полі тяжіння тривісної галактики має ряд особливостей порівняно з випадком ротаційної симетрії тому, що уже зберігається з двох класичних інтегралів (моменту і енергії) лише один, закон збереження енергії. Зменшення кількості інтегралів тягне за собою збільшення розмаїття хаотичних та регулярних орбіт частинок. Скорис-

тавшись (1), навколо тривісного еліпсоїда знайдено чотири сімейства орбіт прямим і енергетичним методами. За розташуванням у просторі замкнені орбіти частинок поділяються на екваторні і похилі, а за формою - на колові та еліптичні.

До першого сімейства належать колові екваторіальні орбіти довільного радіусу. Друге сімейство охоплює еліптичні екваторіальні орбіти. Основні їх елементи a_0 - велика піввісь та ексцентриситет e - зв'язані співвідношенням:

$$\Omega = -\frac{g}{10} c' r_0 a_0^2 (1-e^2)^{-2} \left(\frac{GM}{a_0^3}\right)^{1/2} \cos i \quad (6)$$

де Ω - кутова швидкість обертання галактики, r_0 - середній розмір галактики, i - кут нахилу до площини ОХУ.

Третє сімейство утворюють колові похилі орбіти. Це сімейство поділяється на два підсімейства залежно від того, проходить їх площина через вісь ОХ чи через вісь ОУ. Залежність кута нахилу від радіуса орбіт R_0 має вигляд:

$$i = \arccos \frac{5R_0^2 \Omega}{3r_0(c'-\delta')} \left(\frac{GM}{R_0^3}\right)^{-1/2} \quad (7)$$

Для цих орбіт існує максимальний їх радіус, при якому вони зливаються з орбітами першого сімейства:

$$R_{\max} = \left[\frac{9GM}{25\Omega^2} r_0^2 (c'-\delta')^2 \right]^{1/7} \quad (8)$$

Друге підсімейство відрізняється лише заміною δ' на a' у формулах (7) і (8). Рух по орбіті частинок є прямим, якщо $\delta' < c'$ для першого підсімейства і якщо $a' < c'$ для другого підсімейства. У протилежному випадку рух частинок зворотний по відношенню до обертання галактики.

До четвертого сімейства відносяться похилі еліптичні замкнені орбіти. Площина їх знову проходить через вісі OX чи OY , що дає два підсімейства. У першого підсімейства кут нахилу і умови існування відповідно визначаються:

$$i = \arctg\left(\frac{2}{3} - \frac{5}{3} \frac{c'}{b'}\right)^{1/2}; \quad \frac{c'}{b'} < \frac{2}{5} \quad (9)$$

Зв'язок між a_0 і e для цих орбіт має вигляд

$$\Omega = -\frac{3}{5} \Gamma_0 \bar{\alpha}_0^2 (b' - c') (1 - e^2)^{-2} \left(\frac{GM}{a_0^3}\right)^{1/2} \cos i \quad (10)$$

Коли α_0 зменшують до критичного значення:

$$(\alpha_0)_{\min} = \left[\frac{27 GM}{125 \Omega^2} \Gamma_0^2 b' (b' - c') \right]^{1/7}$$

тоді орбіти частинок зливаються з орбітами третього сімейства. Друге підсімейство також відрізняється від першого значенням у (9) і (10) b' на a' . Рух частинок по орбіті відбувається, як і в третьому сімействі.

Згідно (10), навколо тривісних галактик, що мають власне обертання, не існують замкнені еліптичні і кругові орбіти, які точно лежали б у меридіальній площині галактик. Пояснюється це тим, що їх площина підвладна дії сил Коріоліса, що обертають площину орбіти навколо полярної вісі.

Наші дослідження установили нестійкість екваторіальних орбіт поблизу тривісних галактик, що мають власне обертання. Якщо переважає асиметрія вісей OX і OY , то існує кругова зона нестійкості екваторіальних орбіт. Навпаки, коли на перший план виступає видовженість чи сплюсненість галактик, то зона нестійкості стає кільцеподібною. З фізичної точки зору це означає, що під час еволюції навколо галактики

в екваторіальній площині можливе виникнення порожнин у областях нестійкості орбіт частинок. Що стосується похилих орбіт, то для них критерій стійкості $a' - \beta' > 0$. Стійкими є орбіти із зворотним рухом, що проходять через вісь ОХ, або з прямим рухом, що проходять через вісь ОУ. Критерій стійкості однаковий для еліптичних і колових похилих орбіт і не залежить від кута нахилу та середнього радіусу, а визначається повністю тривісністю галактик.

Таким чином виявлено, що навколо тривісних галактик можуть існувати похилі стійкі орбіти і рух по них частинок може бути протилежним обертанню галактик. Під час еволюції газопилові частинки накопичуються у зонах стійкості орбіт, формуючи газопилові структури.

У п'ятій главі розглянуто особливості еволюції газопилового диску, частинки котрого рухаються в зовнішньому гравітаційному полі майже по колових орбітах, зазнаючи взаємного тертя. В наближенні сталого коефіцієнта кінематичної в'язкості отримано частинні аналітичні рішення системи еволюційних рівнянь в'язкого диску зі сталю лінійною швидкістю обертання та з кеплеровим обертанням.

В еволюції в'язких газопилових дисків виділено два крайні випадки. У першому випадку процеси в центрі не спричиняють зміну маси диска, обов'язково реалізуються з потоком кінетичного моменту з центрального тіла в диск. У галактиках це може бути зв'язано з наявністю в центральній області компактного бару. Неперервне надходження кінетичного моменту зумовлює розширення газопилового диску.

У другому випадку зберігається кінетичний момент диску, відбувається аккреція речовини на центр, що змен-

ІНСТИТУТ ФІЗИКИ
АН України

ше масу диску. Для космогонії Сонячної системи важливий цей випадок, оскільки маса центрального тіла зростає, а кінетичний момент диску зберігається. Під час еволюції цей кінетичний момент можуть успадкувати планети. Зменшення маси диску не протирічить збереженню кінетичного моменту, оскільки середній питомий момент збільшується за рахунок розширення диску.

Встановлено, що тільки аккреція можлива як стаціонарний процес, якщо вона забезпечується притоком маси з периферії системи. Для стаціонарного рівняння знайдено розподіл густини в диску при будь-якому законі обертання.

У висновках стисло дано основні результати, що отримані в дисертації, та намічені перспективні проблеми розвитку подальшого дослідження.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Визначена рівноважна форма шару речовини і досліджено її стійкість із врахуванням магнітного поля і гравітації.
2. Знайдено порядок настання динамічних нестійкостей однорідного еліпсоїда з азимутальним магнітним полем.
3. Визначена точка початку вікової нестійкості еліпсоїда з внутрішнім азимутальним магнітним полем.
4. Знайдено порядок настання динамічних нестійкостей еліпсоїда у присутності зовнішньої гравітаційної корони.
5. Побудовано стійкі похилі газопилові структури у прецесуючих галактиках.
6. Знайдено умови виникання локальних протитечі у тривісних галактиках.

7. Отримано важливі результати руху нестационарного газопилового кільця в галактиці з диференціальним обертанням, враховуючи нагрібання речовини.

8. Виявлено розділення областей гідродинамічної і гравітаційної нестійкості в кільцевому газопиловому утворенні з диференціальним обертанням, що знаходиться у зовнішньому полі галактики.

9. Дано пояснення існування похилих газопилових структур навколо галактик як стійких стаціонарних замкнутих орбіт частинок у зовнішньому полі тривісного еліпсоїда, що має власне обертання.

10. Знайдено частинні аналітичні рішення еволюційних рівнянь газопилового диска зі сталим коефіцієнтом кінематичної в'язкості.

Публікація результатів. Основні результати дослідження надруковані у 22 наукових статтях:

1. Антонов В.А., Железняк О.А. Устойчивость самогравитирующего однородного сфероида с магнитным полем // Астрофизика.- 1987.- Т.27.- N 1.- С.111-116.
2. Антонов В.А., Железняк О.А. Расширение кольцевых структур в галактиках // Астрофизика.- 1988.- Т.29.- N 1.- С.178-189.
3. Антонов В.А., Железняк О.А. Формы эллиптических орбит и устойчивость газопылевых колец в прецессирующих галактиках // Кинематика и физика неб. тел.- 1988.- Т.4.- N 8.- С.66-72.
4. Железняк О.А. Замечание к проблеме происхождения кольцевых структур в галактиках // Астрон.Циркуляр. ВАС АН

- СССР.- 1989.- N 1536.- С.11.
5. Антонов В.А., Железняк О.А. Устойчивость самогравитирующей кольцевой полосы в дифференциально вращающейся галактике // Кинематика и физика неб. тел.- 1989.- Т.5.- N 4.- С.81-87.
 6. Антонов В.А., Железняк О.А. Устойчивость самогравитирующего вязкого сфероида с магнитным полем // Кинематика и физика неб.тел.- 1989.- Т.5.- N 5.- С.43-46.
 7. Антонов В.А., Железняк О.А. Устойчивость самогравитирующего однородного сфероида с азимутальным магнитным полем. II. // Астрофизика.- 1989.- Т.30.- N 3.- С.635-642.
 8. Железняк О.А. О происхождении наклонных газопылевых образований в вытянутых галактиках // Астрон. Циркуляр. БАС АН СССР.- 1989.- N 1536.- С.9-10.
 9. Антонов В.А., Железняк О.А. Сравнение различных типов неустойчивости в однородных эллипсоидных звездных системах // Кинематика и физика неб. тел. - 1990. - Т.6. - N 6, С.65-72.
 10. Антонов В.А., Железняк О.А. Равновесные конфигурации слоев межзвездной среды при учете магнитного поля и гравитации // Астрон.журн.- 1992.- Т.69.- N 6.- С.1136-1147.
 11. Железняк О.О. Про загальні властивості динамічних систем // Збірник наук.праць УДІІ.- 1992.- Вип.1.- С.282-294.
 12. Антонов В.А., Железняк О.А. О движении частиц вокруг трехосных вращающихся галактик // Кинематика и физика неб.тел.- 1993.- Т.9.- N 4.- С.79-85.
 13. Антонов В.А., Железняк О.А. Исследование устойчивости конфигурации межзвездной среды при учете магнитного

- поля и гравитации // Астрон. журн.- 1993.- Т.70.- N 3.- С.461-468.
14. Zheleznyak O.A. On the origin of galaxy chains // Astron. and Astrophys. Trans.- 1993.- V.4.- N 1.- P.45-46.
15. Zheleznyak O.A. The remarke on the problem of origin of counter-flows in the self-gravitating configurations insede the magnetic field // Astron. and Astrophys. Trans.- 1995.- V.7.- N 2/3.- P.215-217.
16. Антонов В.А., Железняк О.А. О движении газопылевых частиц в трехосных вращающихся галактиках // Астрон. журн.- 1994.- Т.71.- N 3.- С.377-382.
17. Antonov V.A., Zheleznyak O.A. On origin of gaseuos dust disk in elliptical galaxies // Astron. and Astrophys. Trans.- 1995.- V.7.- N 4.- P.284-285.
18. Железняк О.А. Особенности движения газопылевых частиц вокруг трехосных вращающихся галактик. Препринт / НАН Украины Институт теоретической физики; ИТФ-94.- 35P. -К., 1995.- 19 с.
19. Железняк О.А. Эволюционные особенности вяких газопылевых дисков. Препринт / НАН Украины Институт теоретической физики; ИТФ-95.- 15P. - К., 1995.- 15 с.
20. Железняк О.А. О происхождении противотоков вещества в центральных областях эллиптических галактик // Тезисы конференции "Астрофизика и космология после Гамова".- Одесса, 1994.- С.26.
21. Железняк О.О. Особливості динаміки газопилових частинок навколо тривісних галактик // Тези конференції.- Львів,- 1994.- С.31-32.
22. Железняк О.О. Вплив в'язкості на еволюцію газопилових

дисків // Теми конференції. Львів,- 1994.- С.44-45.

Примітка. У всіх роботах, надрукованих у співавторстві, дисертант брав рівноправну участь в постановці і розв'язанні задач. Наукові результати, які виносяться на захист, належать автору дисертації.

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Огородников К.Ф. Динамика звездных систем.- М.: Физматгиз, 1958.- 627 с.
2. Поляченко В.Г., Фридман А.М. Равновесие и устойчивость гравитирующих систем.- М.: Наука, 1976.- 447 с.
3. Горбачкий В.Г. Введение в физику галактик и скопление галактик.- М.: Наука, 1986.- 255 с.
4. Саслау У. Гравитационная физика звездных и галактических систем.- М.: Мир, 1989.- 542 с.

АННОТАЦИЯ

Железняк О.А. Особенности равновесия и динамики гравитирующих систем. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия. Главная астрономическая обсерватория НАН Украины. Киев. 1996.

Защищается 22 научных работы, которые содержат теоретические исследования особенностей гравитирующих систем. Найдена равновесная конфигурация слоя межзвездной среды, который находится во внешнем или собственном гравитационном поле и одновременно подвержен воздействию магнитного поля. Закон изменения поверхностной плотности в обоих случаях оказался одинаковым. Изгиб средней линии равновесной конфигурации во внешнем гравитационном поле следует синусоидальному закону.

Ключевые слова: гравитирующие системы, устойчивость систем, звездная динамика.

ABSTRACT

Zheleznyak O.O. Peculiarities of the equilibrium and dynamics of gravitating systems. This is the competition for doctor of physico-mathematical sciences, speciality 01.03.02 - astrophysics, radioastronomy. Main Astronomical Observatory of the Ukrainian National Academy of Sciences, Kyev, 1996.

The manuscript presents 22 scientific works, comprising theoretical investigations of the peculiarities of gravitating systems. The equilibrium configuration of the interstellar medium layer, which is in an external or its own gravitational field and is simultaneously subject to a force magnetic field been determined. The law of change of the surface density in both cases is identical. The bend of the equilibrium mean line in an external gravitational field follows the sinusoidal law.

Key words: gravitating systems, stability systems, stellar dynamics.

Зам.50 формат 60×84/ І6 Обл.вид.арк І.39
Підписано до друку 23.04.96. Тираж 100 .

Поліграфічна дільниця ІТФ ім.М.М.Боголюбова
Н А Н України .

438711

AB 35.324