

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ

на правах рукопису

УДК 524.3-85

Гнатик Богдан Іванович

НЕСТАЦІОНАРНІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ ПРОЦЕСИ ТА
УДАРНІ ХВИЛІ В КОСМІЧНІЙ ПЛАЗМІ

Спеціальність 01.03.02 - астрофізика, радіоастрономія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на одбуття вченого ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ - 1997

Дисертацією є рукопис.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761128 (P)

Робота виконана в Інституті прикладних
математики ім. Я.С.Піддубного НАН України.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук,
професор *Контарович Віктор Мойсеевич*
доктор фізико-математичних наук,
професор *Скульський Михайло Юліанович*
член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
професор *Фомін Петро Іванович*

Провідна організація (підприємство):

Астрономічна обсерваторія Національного університету
імені Т.Г.Шевченка, м. Київ

Захист відбудеться *"28" березня* 1997 р. на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д01.74.01 при Головній
астрономічній обсерваторії НАН України (252650, Київ-22,
Голосіїв), початок засідання о *9*... годині.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Головної
астрономічної обсерваторії НАН України
(252650, Київ-22, Голосіїв).

Автореферат розісланий *"12" лютого* 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

кандидат фізико-математичних наук

Гусева Н.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Визначальною рисою сучасних теоретичних моделей значної кількості астрофізичних явищ є динамічний стан речовини, в якій складається об'єкт. Фізичні процеси в космічній плазмі часто супроводжуються швидким локалізованим виділенням значної кількості теплової енергії, що приводить до виникнення інтенсивних рухів високотемпературної нестационарної плазми та породжує ряд характерних спостережуваних проявів таких явищ найрізноманітнішого масштабу - від сонячних спалахів до утворення великомасштабної структури Всесвіту. Тому від ступеня адекватності опису гідродинамічної частини моделі прямо залежить достовірність моделей в цілому.

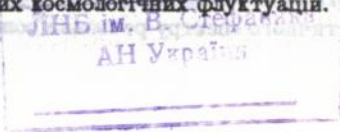
Важливою особливістю рівнянь космічної газодинаміки є їх нелінійність, що приводить до існування особливих (розривних) рівнів"язків - ударних хвиль, що переміщуються по необуреному газу з надзвуковою швидкістю. В типових астрофізичних умовах, які характеризуються, як правило, низькими густинами плазми і значними градієнтами температур та тисків, ударні хвилі виникають відносно легко і відовідальні за цілий ряд явищ - від обурень міжпланетної плазми до формування спіральних рукавів галактик та коміркової структури просторового розподілу галактик та скупчень галактик.

Таким чином, якісний рівень побудови самоуогоджених моделей багатьох астрофізичних явищ визначається якісним рівнем гідродинамічної частини моделі, так що прогрес в їх вивченні можливий тільки при відповідному розвитку гідродинамічної теорії. Тому

Метою нашої роботи є розробка теоретичних методів опису нестационарних високотемпературних процесів в космічній плазмі та їх застосування до побудови ударно-хвильових моделей астрофізичних явищ, що включає:

- побудову нових наближених аналітичних методів опису руху ударних хвиль в довільно неоднорідних середовищах;

- застосування розроблених методів до дослідження еволюції залишків наднових зір, релятивістських ударних хвиль в наднових зорях типу Ia та великомасштабних космологічних флуктуацій.



Методи дослідження

В роботі використані аналітичні та чисельні методи дослідження рівнянь космічної газодинаміки, математична теорія випадкових гаусівських флуктуацій та теорія обернених задач. Достовірність отриманих аналітичних результатів підтверджена узгодженістю в часткових випадках з відомими розв'язками, чисельних - тестуванням програм.

Наукова новизна:

- запропонована нова апроксимаційна формула для опису руху сильної адиабатичної довільно релятивістської ударної хвилі в середовищі з довільним розподілом густини;

- на її основі розраховано енергетичний спектр частинок плазми, гідродинамічно прискорюваних релятивістськими ударними хвилями (механізмом Колгейта);

- здійснена модифікація наближеного аналітичного методу Лоумбаха - Пробетіна;

- запропоновано новий наближений аналітичний метод повного тривимірного гідродинамічного опису миттєвого вибуху в середовищі з довільним розподілом густини;

- знайдено нові аналітичні розв'язки рівнянь динаміки оболонки, що віддувається зоряним (галактичним) вітром в акреційному потоці;

- проаналізовано еволюцію видимої форми залишків Наднових в різних типах неоднорідності міжзоряного середовища і показано, що вона не є достатнім аргументом для оцінки ступеня ізотропності вибуху та однорідності навколосоряного середовища;

- знайдено аналітичний розв'язок задачі про еволюцію форми залишку при спалаху Надрової біля границі розділу фаз міжзоряного середовища;

- вперше проведено моделювання еволюції поверхневої яскравості неферичних залишків Наднових в різних енергетичних інтервалах рентгенівського діапазону при спалахах Наднових в міжзоряному середовищі з великомасштабним градієнтом густини;

- отримано нові, більш коректні характеристики релятивістської ударної хвилі в момент її виходу на поверхню білого карлика при спалаху Надрової типу Ia та розраховані спостережувальні характеристики зумовленого виходом спалаху гамма - випромінювання;

- отримано нові, більш коректні оцінки загальної кількості та енергетичного спектру речовини зовнішніх шарів білого карлика, гід-

родинамічно прискореної до релятивістських швидкостей, що дає нову верхню межу на ефективність механізму Колгейта в прискоренні космічних променів;

- запропоновано новий механізм генерації потужних спадхів гамма - випромінювання як результату непружних нуклон-нуклонних взаємодій між прискореними частинками оболонки зорі і частинками-мішенями навколосоряного середовища та подальшого розпаду породжуваних при зіткненнях нейтральних піонів;

- показано, що особливість великомасштабного поля пекулярних швидкостей галактик в околі Місцевої групи - Великий атрактор - найбільш природньо пояснюється результатом еволюції рідкісного великомасштабного високоамплітудного піку в випадковому гаусівському полі первісних космологічних флуктуацій густини;

- розраховано інші (крім кінематичних) спостережувальні прояви існування атракторо-подібних флуктуацій, зокрема зумовлювані ними флуктуації температури реліктового випромінювання, та показано, що останні можуть служити новим ефективним тестом існуючих космологічних моделей;

- вперше розглянута та в першому наближенні розв'язана "обернена задача космології" про відтворення спектру початкових (після рекомбінаційних) флуктуацій густини на основі всієї сукупності даних щодо великомасштабної структури Всесвіту;

- запропонована нова модель великомасштабного поля пекулярних швидкостей галактик в околі Місцевої групи як результат спільної дії гравітаційного поля надскупчення Гідра-Кентавр та великомасштабної флуктуації швидкості.

Наукова і практична значимість роботи.

1. Запропонований наближений аналітичний метод, який дозволяє з високою точністю описати повну гідродинамічну картину миттєвого вибуху в довільно неоднорідному середовищі, може бути використаний в широкому класі одно-, дво- та тривимірних неавтономних задач.

2. Проведене узагальнення гідродинамічного механізму прискорення частинок плазми до релятивістських швидкостей (механізму Колгейта) на випадок руху релятивістської ударної хвилі в середовищі з довільним достатньо швидким падінням густини дозволяє проводити оцінки його ефективності в різних астрофізичних умовах - оболонках нейтронних зір, ядрах активних галактик тощо.

3. Передбачений в роботі спалах гамма-випромінювання, що супроводжує явище Надвоєї типу Ia, може бути використаний в цілях патрульних спостережень за якнайранішим виявом початку спалаху Надвоєї в нашій Галактиці та в її найближчих сусідах.

4. Результати розрахунку еволюції залишків наднових зір в неоднорідних середовищах дають теоретичну базу для інтерпретації спостережуваних даних про особливості розподілу рентгенівської поверхневої яскравості анізотропних залишків, отриманих на працюючих чи планованих до запуску орбітальних рентгенівських обсерваторій (ROSAT, СМЕКТР-РГ та ін.).

5. Відтворений в роботі по сукупності спостережуваних даних феноменологічний спектр потужності початкових флуктуацій густини та розраховані очікувані флуктуації температури реліктового випромінювання, викликані атракторо-подібними флуктуаціями, можуть служити новими тестами існуючих космологічних моделей.

6. Розроблений комплекс програм чисельного дослідження динамічних процесів в двокомпонентному середовищі з гідродинамічним описом баріонного газу та N-тільним описом беззіткювальної темної матерії може бути застосований до дослідження широкого класу задач космології (еволюція надскупчень та скупчень галактик, об'єктів масштабу Великого атрактора тощо) та космогонії (взаємодія воряного (пульсарного, галактичного вітру) з оточуючим середовищем, колапс протозоряних (протогалактичних) хмар тощо).

Основні положення, що виносяться на захист.

1. Новий наближений аналітичний метод повного гідродинамічного опису миттєвого вибуху в довільно неоднорідному середовищі.

2. Дослідження еволюції несферичних залишків наднових зір в середовищі з великомасштабним градієнтом густини.

3. Новий механізм генерації спалахів гамма - випромінювання, зв'язаний з виходом релятивістської ударної хвилі на поверхню білого карлика - попередника Надвоєї типу Ia та непружною взаємодією гідродинамічно прискореної речовини з навколозоряним газом.

4. Гідродинамічна модель Великого атрактора як великомасштабного великоамплітудного піка у випадковому гаусівському полі космологічних флуктуацій густини.

5. Нова модель поля великомасштабних пекулярних швидкостей галактик в околі Місцевої групи.

Особистий вклад автора. Основні результати, викладені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. В дослідженнях, виконаних в співавторстві, авторові належать постановки задач та рівна участь в їх розв'язанні чи формулювання та дослідження гідродинамічного аспекту проблеми.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідались на засіданні робочої групи "Фізика міжзоряного середовища" (Москва, 1986, 1988), на Всесоюзній гравітаційній конференції (Москва, 1986), на XX Міжнародній конференції по фізиці плазми (Київ, 1987), на Всесоюзній конференції "Фізика міжзоряного середовища та туманностей" (Дрогобич, 1987), на Італійсько-радянському симпозіумі по космології та релятивістській астрофізиці (Тиравере, Естонія, 1989), на II Всесоюзній робочій нараді "Релятивістська астрофізика і космологія" (Київ, 1988), на нараді по релятивістській астрофізиці та космології, присвяченій пам'яті В.М. Шварцмана (САО РАН, Нижній Архиз, Росія, 1991), на XIII Краківській літній школі з космології (Лодзь, Польща, 1992), на II з'їзді Європейської Астрономічної Спільноти (Торунь, Польща, 1993), на Міжнародному симпозіумі "Спостережувальна космологія" (Мілан, Італія, 1992), на Міжнародній конференції "Фізика в Україні" (Київ, 1993), на об'єднаному астрофізичному семінарі ІТФ, ГАО та КДУ (Київ, 1982), на астрофізичних семінарах ГАО НАН України (1994), ІТЕФ (Москва, 1982), ІКД РАН (Москва, 1988, 1991, 1992), ДАНІ (Москва, 1990), ФІАН (Москва, 1990), Національної лабораторії в Гран Сассо (Асєрджі, Італія, 1994, 1995, 1996).

Структура роботи. Робота складається із вступу, шістьох розділів, висновків та двох додатків. Загальний об'єм дисертації складає 295 сторінок, включаючи 68 малюнків, 15 таблиць і список використаних літературних джерел з 290 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У Вступі обґрунтована актуальність проблеми, вказана мета роботи та перелічені основні кроки, зроблені в роботі для її реалізації, відмічена наукова новизна отриманих результатів, сформульовані положення, що виносяться на захист.

В Розділі 1, який носить оглядовий характер, приведені результати досліджень скачків параметрів на фронті сильних адіабатичних

ударних хвиль, на яких ґрунтуються дослідження, викладені в наступних розділах.

В §1.1 приведені термодинамічні характеристики космічної плазми та умови на фронті ударної хвилі.

В §1.2 розглянуті скачки параметрів на фронті ударних хвиль в випромінюванням.

В §1.3 приведені параметри іонізаційно-дисоціативних ударних хвиль.

В §1.4 проаналізоване використання показників адіабати недосконалого газу в теорії ударних хвиль.

В §1.5. оцінена роль теплових хвиль як альтернативного до гідродинамічного (ударно-хвильового) механізму переносу енергії при нестационарних процесах.

В Розділі 2 досліджені закономірності руху сильних адіабатичних ударних хвиль в неоднорідних середовищах.

В §2.1 приведено огляд робіт, присвячених знаходженню аналітичних розв'язків рівнянь космічної газодинаміки стосовно поширення сильних адіабатичних ударних хвиль в неоднорідних середовищах. Показано, що як точні (автомодельні) розв'язки у випадку степеневого (включаючи однорідний) (Седов, 1981), експоненційного (Райсєр, 1964) та політропного розподілів (Сакураї, 1960), так і наближені аналітичні методи Брінклі-Кірквуда, 1947 та Чіззела-Уїзема, 1977 приводять до степеневої залежності швидкості ударної хвилі від густини навколишнього середовища $\rho^o(r)$ та координати фронту r плоскої ($N=0$), циліндричної ($N=1$) чи сферичної ($N=2$) хвилі. Проаналізована формула Каплана, 1967 $D(r) \sim (\rho^o(r)r^N)^{-1/4}$, що апроксимус згадані вище розв'язки, отримані наближеними аналітичними методами, на довільний розподіл густини та відмічена її незастосовність до ряду астрофізично важливих випадків, зокрема до слабо неоднорідних середовищ.

В §2.2 приведені результати досліджень закономірностей руху сильних ударних хвиль в неоднорідних середовищах, що мали на меті знаходження такої апроксимації для опису швидкості ударної хвилі, яка б володіла достатньою точністю у випадку довільного (звичайно, достатньо гладкого) розподілу густини i , в той же час, узгоджувалася з автомодельними розв'язками в межах їх застосовності. Запропо-

нована нами з І.А.Климишиним, 1984 апроксимаційна формула

$$D(r) = \text{const}(\rho^{\circ}(r)r^{N+1})^{-k}, \quad \frac{dD}{D} = -k\left(\frac{d\rho^{\circ}}{\rho^{\circ}} + (N+1)\frac{dr}{r}\right),$$

де

$$k = \begin{cases} 1/2 & m^*(r) \leq N+1, \\ 1/5 & m^*(r) > N+1, \end{cases}$$

$m^*(r) = -d \ln \rho^{\circ}(r) / d \ln r > N+1$, узагальнена на випадок переходу ударної хвилі в режим прискорення до сповільнення (Надьожін, 1981, Шевальє, 1982), коли перебудова фронту призводить до значення параметра $k \sim 0.2$, характерного для хвиль що прискорюються. Перехідний режим сповільнення з $k \approx 0.2$ триває деякий час, доки швидкість ударної хвилі не зрівняється з Седовським значенням D_A і вже далі сповільнення описуватиметься значенням $k = 0.5$:

$$k = 1/5, \quad \text{якщо} \quad m^*(r) \leq N+1; \quad D(r) < D_A.$$

Таке розширення дозволяє застосовувати апроксимаційну формулу навіть у випадку розривних розподілів початкової густини, як, наприклад, для дослідження спалаху Надпової біля границі двох фаз міжзоряного середовища (§4.3).

В §2.3 швидкість ударної хвилі виражена через енергію вибуху та густину навколишнього середовища.

В §2.4 проаналізовані закономірності руху ультрарелятивістських ударних хвиль, отримані аналітичними та чисельними методами. Вказано на існування тісної аналогії між закономірностями руху нерелятивістських та ультрарелятивістських ударних хвиль, що дозволяє узагальнити запропоновану вище апроксимаційну формулу на випадок довільно релятивістських ударних хвиль, що рухаються в початково нерелятивістській плазмі з довільним розподілом густини $\rho^{\circ}(r)$:

$$\Gamma\beta = \text{const} \cdot (\rho^{\circ}(r) \cdot r^{N+1})^{-k},$$

де $\beta = D/c$, c - швидкість світла, $\Gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$. Для випадку утворення ударної хвилі при миттєвому вибухові постійна в апроксимаційній формулі виражена через енергію вибуху E_0 на основі автономного розв'язку Блендфорда та МакКі, 1976 для ультрарелятивістської ударної хвилі $\text{const} = (2/(3+N))\sqrt{E_0/\alpha_A c^2}$. Відмічено, що запропонована апроксимаційна формула співпадає з автономними розв'язками та близька до результатів чисельних і аналітичних

досліджень в двох крайніх границях нерелятивістських і ультрарелятивістських ударних хвиль. Тому її можна використовувати для розрахунку руху довільно релятивістських ударних хвиль, в тому числі і для опису переходу між релятивістським та нерелятивістським режимами руху.

Запропонована апроксимація використана для оцінки енергетичного спектру речовини, гідродинамічно прискореної ультрарелятивістською ударною хвилею. Показано, що гідродинамічний механізм прискорення космічних променів, запропонований Колгейтом та Джонсоном, 1960 для випадку руху релятивістської ударної хвилі в політропній оболонці білого карлика-попередника Надвоєї Ia, має універсальний характер: при будь-якому достатньо швидкому падінні густини спектр має степеневий характер з близьким до спостережуваного в космічних променях значенням γ і слабо залежить від конкретного початкового розподілу густини - тільки через $m(r)$:

$$N(E) \sim E^{-\frac{4+\gamma}{b}} (m(r))^{-1} \sim E^{-\gamma},$$

де $\gamma = \gamma' + \gamma''$, $\gamma' = (kb + 1)/kb$, $\gamma'' = d \ln m/d \ln E$, $b = 2.0(2.73)$ при плоскому (сферичному) розширенні в вакуум прискореної речовини.

В Розділі 3 розроблено ряд наближених аналітичних методів опису нестационарних вибухоподібних процесів в космічній плазмі.

В §3.1 та §3.2 приведено огляд робіт, присвячених побудові наближених аналітичних методів опису руху ударних хвиль в неоднорідному середовищі. Проаналізовані точність та модифікації наближених аналітичних методів Брінклі-Кірквуда, 1947 та Чізела-Уїгема, 1977.

В §3.3 здійснено узагальнення методу Лоумбаха-Пробстїна, 1968, єдиного з наближених аналітичних методів, що дозволяє розраховувати не тільки траєкторію ударної хвилі, але й термодинамічні та кінематичні характеристики газу у всій обуреній області, використовуючи секторне наближення для траєкторій елементів газу. Для цього запропонована процедура розрахунку вищих поправок в розкладах функцій в ряди біля фронту ударної хвилі та дано повний аналітичний опис квадратичного наближення. Крім цього, для покращення точності методу закон руху ударної хвилі запропоновано розраховувати на основі обговорюваної вище апроксимаційної формули. Проведено тестування запропонованих модифікацій, яке показало, що у випадку точкового вибуху в експоненційній атмосфері лінійне та квадратичне наближення з використанням апроксимацій-

ної формули для розрахунку траєкторії фронту володіють точністю, близькою до точності чисельного методу на практично важливому інтервалі перепаду густини.

В §3.4 запропоновано новий метод повного гідродинамічного опису миттєвого вибуху в середовищі з довільним достатньо гладким розподілом густини, який ґрунтується на поєднанні переваг двох існуючих підходів при побудові наближених методів: розрахунок невідомих характеристик течії в околі фронту ударної хвилі здійснюється аналогічно до методу Лоумбаха-Пробстїна, а в центральній області - аналогічно до методу тонкого шару (Чорний, 1957, Компанієць, 1960). В запропонованому методі повний опис миттєвого вибуху в довільно неоднорідному середовищі включає два етапи. Перший включає розрахунок еволюції фронту ударної хвилі за допомогою апроксимаційної формули в рамках секторного наближення. Другий етап відповідає за визначення параметрів газу всередині збуреної області. Він ґрунтується на використанні знайденого на попередньому етапі закону руху ударної хвилі в даному секторі. Шукані функції розкладаються в ряди в околі фронту та в околі центру вибуху, і відтак здійснюється зшивання обидвох розкладів. Коефіцієнти розкладів біля фронту визначаються законом руху ударної хвилі в даному секторі, а в околі центру вибуху - умовою постійності (відсутності просторового градієнта) тиску.

Важливим новим моментом є те, що величина тиску в центральних областях приймається однаковою для всіх секторів та визначається з умови, що відношення η тиску в центрі вибуху $P(0, t)$ до середнього значення густини енергії у збуреній області $E_0/V_{tot}(t)$ не змінюється з часом та рівне автомодельному значенню цього відношення для однорідного середовища $\eta \equiv P(0, t)V_{tot}(t)/E_0 = \eta_A$. В результаті цього ми виходимо за межі секторного наближення при розрахунку параметрів газу всередині збуреної області і наближено враховуємо перерозподіл енергії між секторами у випадку анізотропного вибуху чи неоднорідного середовища.

В §3.5 представлені результати аналітичного дослідження гідродинамічної моделі широкого класу астрофізичних задач, зв'язаних з походженням оболонкових структур навколо центральних об'єктів (планетарні туманності, оболонки навколо OB-зір, залишки наднових з активним пульсаром в центрі, оболонки навколо E-галактик, коміркова (чарункова) структура Всесвіту у вибуховій моделі тощо), в якій зовнішнє середовище взаємодіє з речовиною, що неперервно

витає в центрального об'єкта (модель вітру в центрального джерела) (Лозинська, 1986, Біснатовий-Коган і Силич, 1995). В наближенні тонкого шару модель взаємодії вітру з оточуючим середовищем узагальнена на врахування динамічного стану (нестационарності) та негомогенності (фрагментарності) оточення, а також багатокompонентності гравітаційного поля (баріонна складова, темна матерія тощо.) Показано, що рівняння динаміки оболонки в стаціонарному акреційному потоці допускають в ряді випадків існування автономних (степеневих) розв'язків. При цьому степеневі розв'язки рівнянь стаціонарної акреції узагальнюють адіабатичну акрецію Бонді, 1952 на випадок просторового розподілу гравітаційної маси (так що $M(r) = M_0 r^{-m}$) та врахування охолодження газу внаслідок втрат на випромінювання, але досягається це ціною значного обмеження на допустимі параметри вихідної моделі. Рівняння руху підтримуваної вітром оболонки в такому акреційному чи вітровому потоці також мають степеневі розв'язки $R_0 \sim t^{2/(3-m)}$, якщо потужність вітру змінюється по закону $L_W \sim t^{\frac{2(m-1)}{3-m}}$.

В Розділі 4 досліджена еволюція несферичних залишків наднових вір в середовищі з великомасштабним градієнтом густини.

В §4.1 приведені спостережувальні дані щодо видимої форми залишків наднових вір, які свідчать про їх переважну несферичність. Розглянуто сучасний стан теоретичного моделювання еволюції двох- та тривимірних залишків, відмічені обчислювальні труднощі прямого 2D- та 3D-моделювання при відсутності іонізаційної та теплової рівноваги, які роблять актуальним використання достатньо точних наближених методів розрахунку гідродинамічної частини моделі.

В §4.2 за допомогою запропонованого в §3.4 методу досліджена еволюція форми залишку при спалаху Надрової в середовищі з великомасштабним градієнтом густини. Виявлено співіснування майже сферичної видимої форми залишку з різкою анізотропією розподілу параметрів всередині залишку і, зокрема, вздовж його краю. Так, навіть тоді, коли розміри залишку в експоненційній атмосфері сягають 4.6 масштабів висоти, що відповідає перепаду початкової густини в 100 разів, відхилення видимої форми залишку від сферичної складає всього біля 5%. При цьому ефекти проєкції на картинну площину можуть тільки зменшити несферичність.

Показано, що найбільше анізотропія проявляється в розподілі рентгєнівської поверхневої яскравості, в меншій мірі - в розподілі густини.

ни, ще меншій - температура і найменше - в швидкостях ударної хвилі D та газу на фронті V_2 : $D \sim V_2 \sim \sqrt{T_2}$. Тому контраст рентгенівської поверхневої яскравості (звичайно, з врахуванням можливих відхилень від ЛТР та інших факторів) може служити найбільш адекватним критерієм неоднорідності середовища в околі залишку.

В §4.3 в рамках запропонованої апроксимації руху сильної ударної хвилі в неоднорідному середовищі знайдено аналітичний розв'язок задачі про спалах Надшової біля границі розділу фаз міжзоряного середовища.

В §4.4 розраховано рентгенівське випромінювання несферичних залишків надшових в середовищах з різним початковим розподілом густини. Оскільки метою було оцінити очікувані контрасти поверхневої яскравості, зумовлені неоднорідністю середовища, розглядався випадок існування теплової та іонізаційної рівноваги всередині залишку, хоча запропонований метод, який ґрунтується на використанні загальних змінних, дозволяє прослідкувати еволюцію кожного елемента газу всередині залишку і, тим самим, провести розрахунки для загального випадку відсутності теплової та іонізаційної рівноваги.

Показано, що контраст поверхневої яскравості в рентгенівському діапазоні > 0.1 кеВ, зумовлений неоднорідністю середовища, може коливатися в межах від ≈ 2 (масштаб висот $H = 150$ пк, енергія спалаху $E_0 = 10^{51}$ ерг, концентрація частинок МЗС $n_0 = 1 \text{ см}^{-3}$, вік залишку $t = 16500$ років) для випадку галактичного диску до $\approx 10^7$ ($H = 30$ пк, $E_0 = 10^{51}$ ерг, $n_0 = 0.5 \text{ см}^{-3}$, $t = 40800$ років) для локальної неоднорідності, що значно перевищує діапазон зміни яскравості (≤ 10), обумовленої нерівноважною іонізацією у випадку однорідного середовища. При цьому різні енергетичні діапазони виявляють різну залежність випромінюючої здатності від характеристик гарячого газу, що дає змогу використати карти поверхневої яскравості в різних діапазонах для діагностики характеру вибуху та неоднорідності середовища.

В Розділі 5 результати досліджень закономірностей руху релятивістських ударних хвиль, приведені в §2.4, застосовуються до вивчення фізичних явищ, зв'язаних з виходом релятивістської ударної хвилі на поверхню білого карлика в подвійних системах - предтечах Надшових зір типу Ia, зокрема, з генерацією потужного спалаху гамма-випромінювання.

В §5.1 приведено огляд гідродинамічного механізму прискорення космічних променів, зв'язаного з виходом релятивістської ударної хвилі на поверхню білого карлика (Колгейт і Джонсон, 1960) та показано, що основні спостережувальні прояви такого прискорення слід очікувати від взаємодії прискорених частинок з навколосоряною речовиною.

В §5.2 приведена гідродинамічна модель акреційного потоку на білий карлик в подвійній системі - попереду Наднової типу Ia. Розглянуто випадок вітрової акреції, коли білий карлик акретує газ з зоряного вітру вторинного компаньйона (Кейпон та ін., 1993). В цьому режимі акреції вибух можливий у випадку початкової маси вуглецево - кисневого білого карлика $0.5 - 1.3 M_{\odot}$ і темпу акреції гелієвого газу $\dot{M}_a \leq 4 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{рік}$.

В пропонованій моделі акрецію із зоряного вітру описано класичною теорією Гойла і Літлетона, 1939, чисельні значення параметрів в якій брались з врахуванням результатів чисельних розрахунків вітрової акреції Тама та ін., 1991.

В §5.3 розглянуто вихід релятивістської ударної хвилі на поверхню зорі та зв'язаний з ним спалах гамма - випромінювання (гамма - провідник). Чисельні розрахунки термоядерного горіння при спалаху Наднової (Хохлов та ін., 1993) вказують на ефективне прискорення виникаючої при цьому нерелятивістської ударної хвилі в зовнішніх шарах білого карлика внаслідок швидкого падіння густини. Розгляд релятивістської стадії руху хвилі проведено з використанням апроксимаційної формули $\Gamma_{sh}\beta_{sh} = const \cdot \rho^{-k}$, $0.2 < k < 0.232$ та початкових нерелятивістських значень швидкості, взятих з чисельних розрахунків. При цьому максимальне значення $\Gamma_{sh}\beta_{sh}$ відповідатиме мінімальному значенню ρ , при якому ударна хвиля все ще існує в зовнішніх шарах. Знайдено, що для моделі компактного білого карлика з $M_S = 1.4M_{\odot}$, $R_S = 1 \times 10^9 \text{ см}$ $(\Gamma_{sh}\beta_{sh})_{max} = 9.0$ і 20 для $k = 0.2$ та $k = 0.232$, відповідно. Для моделі протяжного білого карлика з $M_S = 1.0M_{\odot}$, $R_S = 1 \times 10^{10} \text{ см}$ $(\Gamma_{sh}\beta_{sh})_{max} = 4.3$ і 8.8 для $k = 0.2$ та $k = 0.232$, відповідно. Ці значення є суттєво меншими від отриманих в розрахунках Колгейта, 1984.

Після проходження елемента газу через фронт він отримує швидкість, дещо меншу від швидкості хвилі, та нагрівається до високої температури. Таким чином відбувається перша стадія гідродинамічного прискорення. У випадку компактної моделі $T_2^{sur} = 4.9 \times 10^8 (7.4 \times 10^8) \text{ K}$ для $k = 0.2(0.232)$ тоді як для протяжної моделі $T_2^{sur} = 1.6 \times$

$10^8(2.2 \times 10^8)K$ для $k = 0.2(0.232)$.

Момент виходу ударної хвилі на поверхню зорі супроводжується спалахом гамма - випромінювання, коли енергія радіації, що міститься в перехідній зоні фронту хвилі, виноситься фотонами крізь прозорі зовнішні шари зорі. Характерна температура випромінювання близька до температури суміші газу і випромінювання на фронті ударної хвилі. Тривалість спалаху для віддаленого спостерігача визначається релятивістською затримкою приходу сигналу в різних областях фронту: $\Delta t_{obs} = 4 \times 10^{-5}(7 \times 10^{-6})s$ для $k = 0.200(0.232)$. Проінтегрований в часі потік енергії на віддалі $r = 10$ кпк від джерела рівний $\sim 2 \times 10^{-8} \text{erg/cm}^2$ в компактній моделі з $k = 0.2$. Для протяжної моделі потік в $\sim 10^2$ разів більший. Типова енергія фотонів в спалаху $E_\gamma \sim \Gamma_2^{max} k T_2^{sur} \sim 300(1000) \text{keV}$ для випадку компактно моделі з $k = 0.2(0.232)$. Тому існує можливість детектування такого гамма - провідника спалаху Наднових Ia типу в нашій Галактиці, оскільки BATSE - детектор Комптонівської гамма - обсерваторії (CGRO) має поріг детектування проінтегрованого по часі потоку $\sim 10^{-7} \text{erg/cm}^2$.

В §5.4 досліджено додаткове гідродинамічне прискорення зовнішніх шарів зорі при їх подальшому розширенні "в вакуум" - в навколосоряному середовищі, коли тепла енергія релятивістської плазми та робота внутрішніх шарів по розширенню трансформується в додаткову кінетичну енергію релятивістських частинок. В ультра-релятивістському випадку кінцевий фактор Лоренца частинок Γ_f є степеневою функцією його ж в момент виходу ударної хвилі на поверхню: $\Gamma_f = \Gamma_2^b$, де $b = 2.73(2.0)$ для плоского (сферичного) розширення (Ельтрот, 1972). Це приводить до формування степеневого енергетичного спектру прискорених частинок $N(> E) = KE^{-\gamma_f^{int}}$, де $\gamma_f^{int} = 3.3$ для $k = 0.2$ та $b = 2.0$, і $\gamma_f^{int} = 2.1$ для $k = 0.232$ і $b = 2.73$. Показано також, що у випадку компактно моделі фактор Лоренца прискорених ядер досягає значень $\Gamma_f \sim 100 - 1000$, тоді як для протяжної моделі максимальне значення факторів Лоренца менше, $\Gamma_f \sim (10 - 100)$. Доля $10^{-9} - 10^{-10}$ загальної маси зорі прискорюється до $\Gamma_f \geq 2$. Повна кінетична енергія цих частинок досягає $10^{44} - 10^{45}$ ерг. Кінетична енергія субрелятивістських частинок з $E_K > 500 \text{MeV/нуклон}$ рівна $10^{45} - 10^{46}$ ерг.

В §5.5 досліджується взаємодія прискорених ударною хвилею частинок оболонки білого карлика з навколосоряним газом та генерування головного гамма-спалаху внаслідок розпаду нейтральних піонів, породжуваних при непружних розсіяннях $pp \rightarrow \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$. Розрахун-

ки генерації гамма - фотонів виконані для двох енергетичних діапазонів: $E_K^{\min} \leq E_K \leq E_c$ і $E_K > E_c$, де $E_K^{\min} = 0.4 \text{ Гев/нуклон}$ та $E_c = 10 \text{ Гев/нуклон}$. Для області низьких енергій $0.4 - 10 \text{ Гев/нуклон}$ розрахована загальна кількість фотонів N_γ з використанням параметризації експериментальних даних для перетину процесу $p+p \rightarrow \pi^0 + \text{all}$, запропоновану Дермером, 1986. Для енергій $E > 10 \text{ Гев/нуклон}$ використано масштабну апроксимацію для перетину та розраховано диференціальний спектр генерованого гамма - випромінювання. Показано, що в області енергій вище 1 Гев спектр дуже крутий; на високих енергіях він характеризується таким же показником, $\gamma_{rel}^{int} + 1$ як диференціальний спектр прискорених нуклонів. Низькоенергетична частина спектру має приблизно симетричну форму з максимумом на 67 MeV .

Загальне число випромінених фотонів міняється від $N_\gamma \sim 4.5 \times 10^{47}$ (для компактної моделі) до $N_\gamma \sim 3.5 \times 10^{45}$ (для протяжної моделі). Відповідний проінтегрований в часі потік рівний $3 \times 10^{-1} - 4 \times 10^1 \text{ фотонів см}^{-2}$ для віддалі 10 кпк .

Тривалість спалаху очікується різною в різних енергетичних діапазонах. Для фотонів з $E_\gamma \sim 100 \text{ MeV}$ $(\Delta t)_{obs} = 0.1(1.0) \text{ с}$ для компактної (протяжної) моделі. Для фотонів з $E_\gamma \sim 1 \text{ Гев}$ $(\Delta t)_{obs} = 5 \cdot 10^{-4}(1 \cdot 10^{-3}) \text{ с}$ для компактної (протяжної) моделі.

Таким чином, головний гамма-спалах найкраще детектуватиметься на енергіях $E_\gamma \sim 100 \text{ MeV}$, де EGRET-детектор на CGRO - обсерваторії має чутливість $\sim 10^{-2} \text{ фотонів см}^{-2}$. Однак, при $E_\gamma \geq 1 \text{ Гев}$ величина сигналу також виявляється достатньою для детектування. Зокрема, очікуваний спалах гамма - випромінювання можна легко зареєструвати, якщо Наднова спалахне в нашій Галактиці. З віддалі 10 кпк від Землі типовий спалах матиме наступні характеристики. Він починається з короткого (до 10^{-3} с) спалаху $100 - 1000 \text{ кеВ}$ - ного випромінювання з ймовірно нетепловим спектром та з пом"якшенням випромінювання з часом відповідно до ефектів затримки часу (з впливом часу ми детектуємо випромінювання із все віддаленіших районів із все меншою проекцією швидкості на промінь зору). Очікуваний потік від провісника порядку $10^{-9} - 10^{-5} \text{ ерг см}^{-2}$, тоді як мінімальна чутливість детектора BATSE біля $10^{-7} \text{ ерг см}^{-2}$.

Практично безпосередньо після спалаху в кеВ - ному діапазоні слідує $100 \text{ MeV} - 100 \text{ Гев}$ - ний спалах з тривалістю $\Delta t \sim 1 \text{ с}$ і потоком до $\sim 10 \text{ фотонів см}^{-2}$ що в 10^3 разів перевищує чутливість детектора EGRET. Аналогічно до першого спалаху ми очікуємо пом"якшення

спектру на протязі спалаху, оскільки для високоенергетичних фотонів з $E_\gamma \geq 10$ GeV тривалість спалаху скорочується до $\sim 10^{-5}$ с.

Обґрунтована можливість того, що гідродинамічний механізм генерації гамма - спалахів, який тут розглянутий на прикладі спалаху Надшової I типу, працюватиме і в інших об'єктах, де наявний значний градієнт густини (зумовлений акрецією колапс білого карлика до нейтронної зорі, вибух нейтронної зорі мінімальної маси тощо.) Зроблено порівняння розглянутого тут типу гамма - спалахів з відомими явищами гамма - астрономії і показано, що перші якісно подібні до класичних гамма - спалахів, причому головна відмінність полягає в різній тривалості спалахів. Більш детальна розробка даної моделі необхідна для відповіді на питання, чи хоча б деякі з класичних гамма - спалахів можуть генеруватись запропонованим тут механізмом.

В §5.6 розглянуто особливості взаємодії прискорених частинок з навколишнім середовищем у випадку замагніченого білого карлика. Показано, що головною мішенню для прискорених ударною хвилю релятивістських частинок далі залишається акреційний потік, але з модифікованою магнітним полем структурою. В той же час, на до-МГД стадії замагнічена оболонка виконуватиме роль рухомої релятивістської магнітної стінки, при відбиванні від якої надтеплові частинки прискорюватимуться до значних факторів Лоренца.

В Розділі 6 досліджено комплекс проблем, зв'язаних з поясненням спостережуваних даних щодо великомасштабних пекулярних швидкостей галактик, а також запропонована нова модель поля пекулярних швидкостей в околі Місцевої групи галактик.

В §6.1 представлено огляд експериментальних та теоретичних робіт, присвячених виявленню та інтерпретації поля великомасштабних пекулярних швидкостей галактик в околі Місцевої групи. Детально розглянута модель Великого атрактора (ВА) - гігантського гравітаційного центру, (надлишок маси $\Delta M \approx 3 \cdot 10^{16} h^{-1} M_\odot$) відповідального за спостережуваний великомасштабний об'їжний потік галактик, в якому Місцева група, яка перебуває на віддалі від центру атрактора $r_{LG} = 42 h^{-1} \text{Mpc}$, має пекулярну швидкість $U_{LG} = 535 \text{ km/s}$ (Дреслер та ін., 1987, Лінден-Бел та ін., 1988). Проаналізовані труднощі інтерпретації такого потоку в рамках стандартної теорії походження великомасштабної структури внаслідок гравітаційного росту первісних (післяінфляційних) випадкових флуктуацій густини. Показано, що спостережувані дані щодо явища ВА чи подібних йому флуктуацій можуть служити новим ефективним тестом

космологічних моделей.

В §6.2 побудована математична модель еволюції космологічних збурень масштабу ВА в двокомпонентному середовищі. Вона описує еволюцію наростаючої моди адіабатичного сферично - симетричного великомасштабного збурення у плоскому $\Omega_{tot} = 1$ Фрідманівському Всесвіті з домінуванням холодної темної матерії $\Omega_{CDM} \gg \Omega_b$ і включає гідродинамічний опис динаміки газової баріонної складової та N - тільне наближення для опису беззіткнувальної динаміки частинок темної матерії.

Параметри газу розраховувались з рівнянь газової динаміки, де гравітаційне прискорення $GM_{tot}(r)/r^2$ на віддалі r від центру збурення визначається повною масою речовини (баріонної та небаріонної) в кулі радіуса r , функція нагріву приймалась рівною нулеві $\Gamma = 0$, а функція висвічування Λ та іонізаційний стап речовини розраховувались на основі розв'язку рівнянь нестационарної кінетики для газу з первинним хімічним вмістом. Динаміка темної матерії розраховувалась в N - тільному наближенні: неперервний розподіл її апроксимувався N_{CDM} дискретними сферично - симетричними шарами однакової маси. Швидкість V_i та координата r_i для i - того шару знаходились з рівняння руху.

Сумісні рівняння динаміки баріонної та темної матерії розв'язувались чисельно методом скінчених різниць з використанням штучної "в'язкості" для розрахунку динаміки ударних хвиль. Початкові профілі збурень вибирались згідно статистичної теорії піків випадкових гаусівських полів (Бардін та ін., 1986) та задавались на момент часу, що відповідає червоному зміщенню $z_0 = 10$, коли збурення густини масштабу ВА ще малі, а темна матерія і газ еволюціонують однаково.

В §6.3 приведені результати чисельного дослідження гідродинамічної еволюції збурень масштабу ВА в космологічних моделях з холодною темною матерією: класичній (CDM) та з надлишковою потужністю в спектрі флуктуацій на великих масштабах (CDM+X) (Бардін та ін., 1987). Показано, що пояснення обіжного потоку галактик в області ВА представляє значно складнішу проблему, ніж пояснення середньої некулярної швидкості (~ 600 км/с) в масштабі $\approx 50 h^{-1}$ Мпк. Таке поле некулярних швидкостей може бути результатом росту початково малого збурення густини з амплітудою $\delta(z) \approx (1 \div 2)(z+1)^{-1}$ та характерним масштабом $R_{\delta, 1/2} \approx (10 \div 20)(z+1)^{-1} h^{-1}$ Мпк при $z \gg 1$, що в багато разів перевищує очікувані в реалістичних кос-

мологічних моделях середні квадратичні флуктуації густини в цьому масштабі. Тому в рамках теорії випадкових гаусівських флуктуацій ВА може бути рідкісним піком великої амплітуди.

В рамках CDM - моделі піки ρ середніми для даного масштабу профілями відносно компактні; вони забезпечують крутий профіль пекулярної швидкості в ВА, однак необхідні амплітуди піків виявляються пересильно великими в порівнянні з очікуваними середніми квадратичними флуктуаціями густини в даному масштабі. В CDM+X - моделі піки дістають широкі крила та, одночасно, збільшуються середні квадратичні флуктуації густини, що приводить до суттєвого зменшення відносної амплітуди піків. Однак ймовірність реалізації необхідних піків навіть в CDM+X - моделі залишається ще дуже низькою.

Для типових піків-попередників ВА в CDM моделі характерним є колапс їх внутрішніх областей до теперішнього моменту часу, який може супроводжуватись бурхливою динамікою баріонного газу - виникненням ударних хвиль, високотемпературного газу, рентгенівського випромінювання тощо. Відсутність помітного спостережуваного потоку рентгенівського випромінювання з області ВА в рамках CDM моделі накладає обмеження на густину міжгалактичного газу $\Omega_{IGG} \leq 0.01$ або вказує на те, що такий газ не забезпечує неперервного акреційного потоку на центр ВА внаслідок наявності там галактик та їх скупчень.

Зроблено висновок, що найбільш сприятливими для утворення об'єктів типу ВА повинні бути спектри, аналогічні спектру CDM+X - моделі, але з додатковою потужністю на менших масштабах $k^{-1} \sim (2 - 50) h^{-1} \text{Mpc}$.

В §6.4 адійснено відтворення спектру потужності початкових флуктуацій густини на основі нових спостережуваних даних щодо поля пекулярних швидкостей галактик. Для цього розв'язувалась обернена задача - із сукупності спостережуваних даних щодо великомасштабної структури Всесвіту, включаючи дані щодо великомасштабних пекулярних швидкостей, шукався феноменологічний "спостережуваний" спектр, який би найкраще угоджувався із сукупністю спостережуваних даних і, разом з тим, був би найбільш сприятливим для існування структур типу ВА. На відміну від відомих теоретичних спектрів, розрахованих для конкретного типу частинок темної матерії, частки баріонної речовини тощо такий феноменологічний спектр слід розглядати як "експериментальний результат",

якщо вірна теорія утворення структури шляхом розвитку гравітаційної нестійкості у випадковому гаусівському полі флуктуацій густини. Показано, що для того, щоб пояснити сукупність спостережуваних даних щодо кореляційних функцій галактик та скупчень, великомасштабних потоків галактик, існування об'єктів типу ВА та, разом з тим, не вийти за рамки обмежень на флуктуації температури реліктового випромінювання, спектр в області $k^{-1} = (3 \div 100) h^{-1} \text{Мпк}$ повинен мати вигляд $P(k) \sim k^{-1}$, в області $k^{-1} > 100 h^{-1} \text{Мпк}$ - бути достатньо пологим щоб забезпечити необхідні великомасштабні пекулярні швидкості, в області $k^{-1} > 1000 h^{-1} \text{Мпк}$ - вийти на спектр Зельдовича-Гарісона $P(k) \sim k$. Для побудови такого спектру ми відштовхнулися від CDM-спектру, вивісни до нього поправочну функцію з невідомими параметрами, підбором яких можна було задовільнити сформульовані вище вимоги до спектру. В результаті здійснення такої процедури оптимізації отримано наступний аналітичний вираз для шуканого феноменологічного т.зв. CDM+Z спектру:

$$P(k) = \frac{Ak}{(1 + C_1 k + C_2 k^{1.5} + C_3 k^2)^2} (1 + \Psi(k)).$$

де $\Psi(k) = 0.055[(k_1/k)^2 - 1]$ якщо $k_2 \leq k \leq k_1$ і $\Psi(k) = \Psi(k_2)(k/k_2)^2$, якщо $k \leq k_2$, $k_1^{-1} = 3 h^{-1} \text{Мпк}$, $k_2^{-1} = 100 h^{-1} \text{Мпк}$, $C_1 = 1.7/(h^2 \Omega_{nr})$, $C_2 = 9.0/(h^2 \Omega_{nr})^{1.5}$, $C_3 = 1.0/(h^2 \Omega_{nr})^2$.

В §6.5 запропонована нова модель поля пекулярних швидкостей галактик в околі Місцевої групи. Приведено огляд найновіших спостережувальних робіт, які вказують на значно більший масштаб когерентності великомасштабного поля швидкостей та на можливу відсутність падіння галактик на протилежному боці ВА. Так Кюрто та ін., 1993 виявили великомасштабний потік галактик з амплітудою $\sim 400 \text{ км/с}$ і протилежній до ВА частині неба - в надскупченні Персей-Рибв - на відстанях до $\sim 80 h^{-1} \text{Мпк}$. Таким чином, масштаб об'ємного потоку галактик може перевищувати $140 h^{-1} \text{Мпк}$. Враховуючи також відмічені вище труднощі з поясненням існування ВА, пропонується нова двокомпонентна модель великомасштабного потоку галактик в околі Місцевої групи - модель "малого атратора на великомасштабному фоні", в якій спостережуваний розподіл пекулярних швидкостей є суперпозицією приблизно сферично-симетричного падіння на надскупчення Гідра - Кентавр та великомасштабної фоновій пекулярної швидкості з масштабом когерентності $L \geq 130 h^{-1} \text{Мпк}$ або довжиною хвилі $\lambda \geq 260 h^{-1} \text{Мпк}$. Великомас-

штабна флуктуація повинна забезпечити приблизно постійну складову поля пекулярних швидкостей з амплітудою ~ 300 км/с в області, яка включає надскупчення Персей - Риби, Місцеву групу та надскупчення Гідра - Кентавр. Надскупчення Гідра - Кентавр (під ним ми розумітимемо концентрацію галактик в центрі Великого атрактора з масою, в декілька разів меншою, ніж вважалось раніше) дає вклад в пекулярну швидкість Місцевої групи ≈ 200 км/с, а в пекулярну швидкість скупчення Кентавр-30 - 300 км/с.

Суперпозиція обидвох джерел природно пояснює спостережувані дані - пекулярну швидкість Місцевої групи ~ 500 км/с, наростання пекулярної швидкості в напрямку на центр атрактора до величини $600 \div 700$ км/с в районі скупчення Кентавр-30, відсутність помітної кількості галактик, які б падали на ВА з протилежного боку, неовачну пекулярну швидкість за його центром на віддалі $\sim 55h^{-1}$ Мпк (область взаємного погашення швидкостей), та позитивну швидкість на більших відстанях.

В запропонованій моделі "малий атрактор" - надскупчення Гідра-Кентавр - типове надскупчення з масою $\sim 10^{16} M_{\odot}$. Більш проблематичною є реалізація великомасштабних пекулярних швидкостей з середньою квадратичною амплітудою $V_{rms} \approx 300$ км/с. Для цього потрібна додаткова потужність в спектрі флуктуацій густини в порівнянні з стандартною CDM - моделлю на масштабах $\lambda \geq 300h^{-1}$ Мпк. Останні результати щодо великомасштабного скупчування галактик та скупчень підтверджують існування такої потужності.

В §6.6 розрахована анізотропія температури реліктового випромінювання, викликана атракторо-подібними флуктуаціями. Показано, що на карті розподілу по небу температури реліктового випромінювання повинні існувати гарячі плями на масштабі $\theta_{CA} = 2\tau_{CA}/105 h^{-1}$ Мпк градусів як результат перетину піків - попередників таких флуктуацій сферою останнього розсіювання. На основі отриманих раніше характеристик флуктуацій розрахована генерована ними анізотропія температури реліктового випромінювання з врахуванням всіх суттєвих вкладів: ефектів Сакса - Вольфа, Доплера та Сілка. Знайдено, що очікуване число придатних до детектування плям N_{sp} для яких $\Delta T/T$ перевищує рівень випадного виявлення $3\sigma_T$, як і загальна кількість атракторів в межах горизонту N , є різним для різних космологічних моделей. Так, у випадку CDM спектру з Q_{rms} - нормуванням очікується $\sim 0.02 \cdot N \approx 170$ гарячих плям на всьому небі, для яких $\Delta T/T \geq 3\sigma_T$, або одна така пляма на ділянці $16^{\circ} \times 16^{\circ}$.

Таке ж число холодних плям дадуть піки з від'ємною флуктуацією густини. Найбільш оптимістичний результат дає CDM+Z спектр: біля 1700 плям на всьому небі чи одна пляма на ділянці $5^\circ \times 5^\circ$.

Тому вивчення карт $\Delta T/T$ на предмет встановлення спостережуваної кількості таких плям дасть винятково важливу інформацію про спектр первісних флуктуацій густини, тобто, послужить додатковим тестом на можливі космологічні моделі.

У Висновках приведені основні результати роботи, вказана їх наукова та практична цінність.

В Додатках приведені перші та другі похідні від функцій розподілу параметрів газу на фронті ударної хвилі (Додаток А) та дана аналітична апроксимація параметрів газу при миттєвому вибуху в середовищі зі степеневим законом розподілу густини (Додаток Б).

Висновки.

В роботі представлені нові теоретичні методи опису нестационарних високотемпературних процесів в космічній плазмі та, на їх основі, побудовані ударно-хвильові моделі ряду астрофізичних явищ та об'єктів: залишків наднових вір в середовищах з великомасштабним градієнтом густини, релятивістських ударних хвиль в оболонках білих карликів та космологічних флуктуацій масштабу Великого атрактора. Отримані в роботі нові науково обґрунтовані теоретичні результати дають вклад в розвиток теорії нестационарних вибухоподібних процесів в фізиці та гідродинаміці космічної плазми.

Цитована література.

Каплан С.А. К теории распространения сильных ударных волн в неоднородной космической среде // Астрон. Ж. -1967. -44, N2. -С. 384-386.

Кестенбойм Х.С., Росляков Г.С., Чудов Л.А. Точечный взрыв. Методы расчета. Таблицы. - М.: Наука, 1974. - 256 с.

Климишин И.А. Ударные волны в оболочках звезд. - М.: Наука, 1984. - 264 с.

Компанец А.С. Точечный взрыв в неоднородной атмосфере // Докл. АН СССР. - 1960. -130, N5. -С. 1001-1003.

Лозинская Т.А. Сверхновые звезды и звездный ветер: взаимодействие с газом Галактики. - М.: Наука, 1986 - 304 с.

Надежин Д.К. О начальной фазе взаимодействия разлетающейся оболочки звезды с окружающей средой // Препр. Ин-т теорет. и экперим. физ. -1981. -N1. - 44 с.

Райзер Ю.П. Распространение ударной волны в неоднородной атмосфере в сторону уменьшения плотности // Ж. прикл. мех. и техн. физ. - 1964. - N4. -С. 49-56.

Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. - М.: Наука, 1981. - 447 с.

Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. - М.: Мир, 1977. - 624 с.

Черный Г.Г. Задача о точечном взрыве // Докл. АН СССР. - 1957. -112, N1. - С. 213-217.

Bardeen J.M., Bond J.R., Efstathiou G. Cosmic fluctuation spectra with large scale power // Astrophys. J.- 1987. -321, N1, P1. -P. 28-33.

Bardeen J.M., Bond J.R., Kaiser N., Szalay A.S. The statistics of peaks of gaussian random fields // Astrophys. J. - 1986. -304, N1, P1. -P. 15-60.

Bisnovatyi-Kogan G.S., Silich S.A. Shock-wave propagation in the nonuniform interstellar medium // Space Sci. Rev.- 1995. -67, N 3. -P. 661-712.

Bondi H. On spherical symmetrical accretion // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. - 1952. -112, N1. -P. 195-209.

Brinkley S.R., Kirkwood J.G. Theory of the propagation of shock waves // Phys. Rev. -1947. -71, N9. -P. 606-611.

Chevalier R.A. Self-similar solutions for the interaction of stellar ejecta with an external medium // Astrophys. J. - 1982. - 258, N2, P1. -P. 790-797.

Colgate S.A. The supernova envelope shock origin of cosmic rays - a review // Adv. Space Res. - 1984. -4, N2-3. -P. 367-379.

Colgate S.A., Johnson N.H. Hydrodynamical origin of cosmic rays // Phys. Rev. Lett. - 1960. -5, N6. -P. 235-238.

Courteau S., Faber S.M., Dressler A., Willik J.A. Streaming motion in the local Universe: evidence for large scale, low amplitude density fluctuations // Astrophys. J. - 1993. -412, N2, P2. -P. L51-L54.

Dermer C.D. Binary collision rates of relativistic thermal plasmas. II. Spectra // Astrophys. J. - 1986. -307, N1, P1. -P. 47-59.

Dressler A., Burstein D., Davies R.L. et al. Spectroscopy and photometry of elliptical galaxies: a large-scale streaming motion in the local Universe // Astrophys. J. - 1987. -313, N2, P2. -P. L37-L42.

Eltgroth P.G. Similarity analysis for relativistic flow in one dimension. II. Nonplanar relativistic flow // *Phys. Fluids*. - 1972. -15, N12. -P. 2140-2144.

Kenyon S.J., Livio M., Mikolajewska J., Tout C.A. On symbiotic stars and Type Ia Supernovae // *Astrophys. J.* - 1993. -407, N2, P2. - P. L81-L84.

Khokhlov A., Müller E., Höflich P. Light curves of Type Ia supernova models with different explosion mechanisms // *Astron. and Astrophys.* - 1993. -270, N2. -P. 223-248.

Laumbach D.D., Probstein R.F. A point explosion in spherically symmetric exponential atmospheres // *Phys. Fluids*. - 1968. -11, N7. -P. 1466-1472.

Lynden-Bell D., Faber S.M., Burstein D. et al. Spectroscopy and photometry of elliptical galaxies. V. Galaxy streaming toward the new supergalactic center // *Astrophys. J.*- 1988. - 326, N1, P1. -P. 19-49.

Sakurai A. On the problem of a shock wave arriving at the edge of a gas // *Commun. Pure Appl. Math.* - 1960. -13, N3. -P. 353-370.

Taan R.E., Fu A., Fryxell B.A. Accretion in wind-driven X-ray sources // *Astrophys. J.* - 1991. -371, N2, P1. -P. 696-707.

Основні публікації по темі дисертації

1. Гнатык Б.И. О расчете скорости сильной ударной волны в неоднородной среде // *Астрономический циркуляр*. -1981. -N1195. -С. 4-5.

2. Гнатык Б.И. Закон движения сильной релятивистской ударной волны в неоднородной среде и энергетический спектр космических лучей. Тезисы докл. Всесоюз. конф. "Соврем. теор. и эксперим. проблемы теории относит. и гравит." (3-5 июля 1984 г.) М., 1984. -С. 159-160.

3. Гнатык Б.И. Закономерности движения релятивистских ударных волн в неоднородных средах // *Письма в Астрон. Ж.* -1985. -11, N10. -С. 785-788.

4. Гнатык Б.И., Кроль В.А. Ударный механизм формирования оболочечно-подобных структур в эллиптических галактиках // *Астрофизика*. -1987. -27, N3. -С. 571-586.

5. Гнатык Б.И. Сильные адиабатические ударные волны в произвольно неоднородной среде. Аналитический подход // *Астрофизика*. -1987. -26, N1. -С. 113-128.

6. Гнатык Б.И., Кроль В.А. Ударно-ветровой механизм формирования оболочечной структуры в NGC 5128. Численное моделиро-

вание динамики оболочки // Кинемат. и физ. небес. тел. -1988. -4, N3. -С. 44-54.

7. Гнатык Б.И. Эволюция остатков вспышек сверхновых звезд в межзвездной среде с крупномасштабным градиентом плотности // Письма в Астрон. Ж. -1988. -14, N8. -С. 725-736.

8. Гнатык Б.И., Кроль В.А. Аккреционный механизм формирования оболочечных структур в астрофизических системах с источником вострой активности // Физика многочастичных систем. -1990. -17. -С. 77-87.

9. Гнатык Б.И., Лукаш В.М., Новосядлый Б.С. Великомасштабная структура Всесвіту, Великий аттрактор і спектри збурень // Кинемат. и физ. небес. тел. -1991. -7, N6. -С. 48-61.

10. Гнатык Б.И., Лукаш В.Н., Новосядлый Б.С. Великий аттрактор как крупномасштабный пик флуктуации плотности во Вселенной // Письма в Астрон. Ж. -1991. -17, N3. -С. 213-228.

11. Гнатык Б.И., Лукаш В.Н., Новосядлый Б.С. Крупномасштабные неоднородности во Вселенной и спектры возмущений // Письма в Астрон. Ж. -1991. -17, N9. -С. 659-670.

12. Новосядлый Б.С., Гнатык Б.И. Великий аттрактор и проблема происхождения крупномасштабной структуры Вселенной.-Львов, 1991 / Препринт ИППММ N9-91. - 63 с.

13. Гнатык Б.И., Кроль В.А. Динамика выдуваемой ветром оболочки в стационарном аккреционном потоке. Автомодельный случай // Письма в Астрон. Ж. -1992. -18, N3. -С. 228-233.

14. Гнатык Б.И., Лукаш В.Н., Новосядлый Б.С. О возможности регистрации флуктуаций температуры реликтового излучения, вызванного возмущениями масштаба Великого аттрактора // Письма в Астрон. Ж. -1992. -18, N7. -С. 563-569.

15. Гнатык Б.И. О возможной природе пятен в распределении температуры реликтового излучения. "Теорет. и эксперим. пробл. теории гравитации". Тезисы докл. 8 Рос. гравит. конф. -Пущино, 25 - 28 мая 1993. -С. 111.

16. Гнатык Б.И. Великомасштабні пекулярні швидкості та первісний спектр збурень // Кинемат. и физ. небес. тел. -1994. -10, N1. -С. 9-12.

17. Гнатык Б.И., Петрук О.Л. Новий наближений метод розрахунку точкового вибуху в неоднорідному середовищі та його застосування до моделювання рентгенівського випромінювання тривимірних залишків наднових зір // Кинемат. и физ. небес. тел. -1996. -12,

N3. -C. 44-64.

18. Hnatyk B.I. The motion of strong relativistic shock wave in nonuniform medium and energy spectrum of the cosmic rays / In: Abstracts of contrib. papers 11th Conf. on Gen. Rel. and Gravit. Stockholm, Sweden, July 6-12, 1986. -2. -P. 507.

19. Hnatyk B.I., Krol' V.A. An approach of infinitely thin layer at the investigation of shock wave dynamics in astrophysical systems / In: Int. Conf. on Plasma Phys. Proc. contrib. papers. Kiev, April 6-12, 1987. Kiev, Naukova Dumka, 1987. -4, -P. 249-252.

20. Novosyadlyj B.S., Hnatyk B.I., Lukash V.N. Great Attractors: observational displays and conditions of realizations // In: Observational cosmology, Int. Symp. Milano, Italy, 1992/ ed. G.Chincarini, 1993. -P. 219-221.

21. Hnatyk B.I. The large scale peculiar velocity field as a probe of power spectrum of density fluctuations / In: Abstracts. Astropys. and cosmology after Gamov. Conf. devoted 90th anniver. G. A. Gamov, Sep. 5-10, 1994, Odessa, Ukraine. M.: Космосинформ, 1994. -P. 14.

22. Hnatyk B.I., Lukash V.S., Novosyadlyj B.S. Great attractor-a new test for cosmological models // Bull. Spec. Astrophys. Obs. -1994. -N37. -P. 90-95.

23. Novosyadlyj B.S., Hnatyk B.I. Large-scale structure of the Universe and initial fluctuation spectra // Bull. Spec. Astrophys. Obs. -1994. -N37. -P. 81-89.

24. Hnatyk B.I., Lukash V.S., Novosyadlyj B.S. Great attractor-like fluctuations: observational manifestations and theoretical constraints // Astron. and Astrophys. -1995. -300, N1. -P. 1-12.

25. Berezinsky V.S., Blasi P., Hnatyk B.I. SNIa: A new mechanism of gamma-burst generation. I. Weak magnetic field // Astrophys.J. -1996. -469, N1 P1. -P. 311-321.

В роботах, виконаних в співавторстві, авторів належить:

- в [8,13,17] - постановка задачі, участь в побудові математичної моделі, проведенні розрахунків, аналізі отриманих результатів та написанні текстів статей;

- в [9,11,14,23] - постановка задачі, участь в побудові математичної моделі, аналізі отриманих результатів та написанні текстів статей;

- в [10,12,19,20,22,24,25] - участь в постановці задачі, участь в побудові математичної моделі, аналізі отриманих результатів та написанні текстів статей;

- в [4,6] - участь в побудові математичної моделі, проведенні розрахунків, аналізі отриманих результатів та написанні текстів статей.

Аннотация

Гнатюк Б.И. Нестационарные высокотемпературные процессы и ударные волны в космической плазме. Диссертация в форме рукописи на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия. Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, 1997.

Защищается 25 научных работ, посвященных разработке теоретических методов описания нестационарных высокотемпературных процессов в космической плазме и их применению к построению ударно-волновых моделей астрофизических явлений. Предложен новый приближенный аналитический метод полного гидродинамического описания мгновенного взрыва в произвольно неоднородной среде. На его основе исследована эволюция нефермиевских остатков сверхновых звезд в межзвездной среде с крупномасштабным градиентом плотности. Обоснован новый механизм генерации всплеск гамма-излучения при выходе релятивистской ударной волны на поверхность белого карлика-предшественника Сверхновой типа Ia. Проведено гидродинамическое моделирование эволюции космологических возмущений плотности масштаба Великого аттрактора и предсказаны новые наблюдательные проявления аттрактор-подобных флуктуаций. Предложена новая модель поля крупномасштабных peculiar скоростей галактик в окрестности Местной группы.

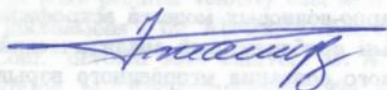
Abstract

Hnatyk B.I. Violent high-temperature processes and shock waves in cosmic plasma. Dissertation for Scientific Degree of Doctor of Sciences (Physics and Mathematics) in Speciality 01.03.02 - Astrophysics, Radioastronomy as a manuscript. Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1997.

Twenty five scientific publications devoted the development of the theoretical methods for describing a violent high-temperature processes in cosmic plasma and its application to the building of shock-wave models of astrophysical events are defended. A new approximate analytical method for total hydrodynamical description of point-like outburst in

arbitrary nonuniform medium is presented. At its base the evolution of nonspherical supernova remnants in interstellar medium with large-scale density gradient is investigated. The new mechanism for gamma-ray burst generation during the relativistic shock wave break out in the white dwarf-SNIa precursor is begrounded. The hydrodynamical modelling of evolution of cosmological density fluctuations with Great Attractor scale is carried out and the new observational signatures of attractor-like fluctuations are predicted. A new model of large-scale galaxy peculiar velocity field around the Local group is proposed.

Ключові слова: гідродинаміка, ударні хвилі, сори, наднові, ва-
лишки наднових, космологія, великомасштабна структура.



Зам. N 136

Формат 60 × 84/16

Ум.друк. арк. 1.5

Підписано до друку 24.01.1997

Тираж 100

Ротапринт ІНБ ім. В.Стефаника НАН України
290005 Львів-5, вул. Лермонтова, 15.

228

441433

AB 36.964