

ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

На правах рукопису

АНДРОНОВ Іван Леонідович

**БУДОВА ТА ЕВОЛЮЦІЯ
МАГНІТНИХ ТІСНИХ ПОДВІЙНИХ СИСТЕМ**

Спеціальність 01.03.02 Астрофізика, радіоастрономія

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеню
доктора фізико-математичних наук

Київ - 1995



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеському державному університеті
ім. І.І.Мечнікова

Науковий консультант:

доктор фізико-математичних
наук, професор *Гнедін Юрій Миколайович*

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук,
професор *Гершберг Роальд Євгенович*

доктор фізико-математичних наук,
професор *Клімішин Іван Антонович*

доктор фізико-математичних наук,
професор *Черепашук Анатолій Михайлович*

Провідна організація:

Спеціальна Астрофізична Обсерваторія

Захист дисертації відбудеться 22 грудня 1995 року на засіданні спеціалізованої Ради Д 016.14.01. при Головній Астрономічній Обсерваторії НАН України (252650, Київ, Голосіїв, ГАО НАНУ, Великий конференцзал).

Початок засідання об 11 годині.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Головної Астрономічної Обсерваторії НАН України (252650, Київ, Голо-
ЛНБ ім. В. С. Стефаніка
АН України ГАО НАНУ).

Автореферат розісланий 17 листопада 1995р.

Вчений секретар спеціалізованої Ради,
кандидат фізико-математичних наук

Гусева Н.Г.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1. Актуальність проблеми. Одним з найважливіших напрямків сучасної астрофізики є дослідження будови та еволюції тісних подвійних систем. Інтерес до цієї проблеми значно виріс у останній час у зв'язку з розвитком рентгенівської астрономії на базі спеціалізованих космічних літальних апаратів.

Запропоновані з моменту відкриття в 1976 р. пекулярних властивостей систем типу АМ Геркулеса моделі показують, що об'єкти є ультра-короткоперіодичними подвійними системами з заповнюючому свою поверхню Роша невирожденим супутником та білим карликом. Наявність сильного магнітного поля компактного об'єкту (десятки та сотні МегаГаусс) є відзначальною властивістю цих систем, приводячи до якісно нових ефектів у порівнянні з іншими вибуховими змінними. Великий інтерес становить також порівняльний аналіз характеристик зірок типу АМ Геркулеса (полярів) та інших вибухових змінних, в яких менша напруга магнітного поля білого карлика не в змозі завадити утворенню акреційного диску.

Інтенсивні комплексні дослідження астрофізиків різних країн показали сильну змінність форми орбітальних кривих блиску та поляризації від довжини хвилі та часу, що стало вимагати подальшого розвитку оціночних або якісних уявлень про будову акреційного потоку в магнітних тісних подвійних системах (МТПС). Визначення фізичних характеристик цих систем є важливим як для астрофізики (теорія будови та еволюції подвійних зоряних систем), так і для фізики плазми (дослідження поведінки речовини в недосяжних для лабораторних досліджень умовах).

1.2. Мета дисертації:

- 1) Проведення регулярних спостережень обраних об'єктів для одержання статистично значущої інформації про зміни фазових кривих поляризації, блиску та характеристик швидкої змінності;
- 2) Розробка моделі руху плазми в подвійній системі за умови переважаючого впливу магнітного поля;
- 3) Дослідження еволюції обертання компонентів подвійної

системи для різних механізмів переносу маси та моменту імпульсу;

4) Моделювання поляризації та спектру акреційної колони, розробка методів визначення її орієнтації;

5) Розробка алгоритмів та програм адекватної обробки астрономічних сигналів, дослідження статистичних та спектральних властивостей модельних функцій.

1.3. Наукова новизна:

Одержано унікальний по тривалості ряд спостережень фазових кривих блиску АМ Геркулеса з 1978р. Проведене фотометричне та поляриметричне дослідження групи полярів та споріднених об'єктів, яке дозволило одержати низку нових результатів.

Досліджена будова перехідної зони між поверхнями Роша компонентів з врахуванням впливу магнітного поля. Одержані залежності швидкості акреції та момента сил, приложених до білого карлика, від фізичних характеристик системи та орієнтації магнітного поля (модель "магнітного клапана"). Доведена необхідність збудження автоколивань орієнтації магнітної вісі диполя (модель "похитуючогося діполя").

Досліджений рух плазми в магнітних тісних подвійних системах, в яких орбітальний та обертальний рухи білого карлика асинхронні, з урахуванням впливу тяжіння червоного супутника ("пропелер" в подвійній системі). Одержаний розподіл речовини, яка витікає крізь околиці внутрішньої Точки Лагранжа, на акреційне та "ежектоване". Визначений еволюційний статут цих об'єктів як такий, що відповідає диполу, який синхронізується, на відміну від "проміжних полярів".

Розроблена модель ізотермічної акреційної колони в однорідному магнітному полі з врахуванням неоднорідності розподілу щільності. Показано, що "ефективний радіус" колони залежить від її оптичної товщини, що призводить до появи поляризації випромінювання навіть при великій оптичній товщині для обох поляризаційних мод. Врахування неоднорідності магнітного поля привело до запропонування моделі "веселкової колони" та розробки методу оцінки орієнтації колони в системах з затемненнями колони білим карликом. Аналітично розглянуті

фазові залежності рентгенівського випромінювання "полярної шапки" білого карлика та профілей емісійних ліній, виникаючих що виникають поблизу акреційної колони. Розглянуті типи нестабільності неоднорідної "киплячої" колони.

Розроблена низка алгоритмів та програм пошуку періоду, дослідження його ймовірних змін, згладження експериментальних даних.

1.4. Достовірність

Достовірність основних результатів роботи забезпечується застосуванням апаратно-методичних розробок та оцінками статистичної значимості спостережень, одержаних пошукувачем в Кримській Астрофізичній обсерваторії, Абастуманській Астрофізичній обсерваторії, Державному Астрономічному інституті ім. П.К.Штернберга (ДАІШ), Астрономічній обсерваторії Одеського держуніверситету, обсерваторії Sonneberg, а також одержаних співавторами сумісних робіт в їх наукових установах.

Проведений аналіз правомірності припущень при побудові теоретичних моделей, визначені напрямки їх удосконалення. При обробці астрономічних сигналів проведений аналіз статистичних та спектральних властивостей одержаних функцій.

Низка основних результатів роботи цитована в 53 статтях та монографіях інших авторів.

1.5. Апробація роботи

Основні результати роботи доповідались на конференціях Міжнародного Астрономічного Союзу (МАС) (Potsdam, 1986; Jena, 1987; Mito, 1992; Innsbruck, 1992; Wien, 1992; Hague, 1994; Padova, 1994, Sonneberg, 1994, Keele, 1995, Mito, 1995), X, XI та XII Європейських регіональних астрономічних конференціях МАС (Praha, 1987; Tenerife, 1988; Davos, 1990), конференціях Європейського Астрономічного Товариства (Liege, 1992; Torun, 1993; Edinburgh, 1994, Catania, 1995) та 41 іншій міжнародній конференції по подвійних, вибухових та магнітних змінних зірках; на семінарах Головної Астрономічної обсерваторії України, Головної Астрономічної обсерваторії РАН, Спеціальної Астрофізичної обсерваторії РАН, Кримської Астрофізичної обсер-

ваторії, Абастуманської Астрофізичної обсерваторії, Ленінградського фізико-технічного інституту ім. А.Ф.Іоффе, Державного Астрономічного інституту ім. П.К.Штернберга, Астрономічних обсерваторій Ленінградського, Львівського, Кишинівського та Одеського університетів, обсерваторій Sonneberg та Jena, Астрофізичного інституту в Potsdam (Германія), Астрономічного інституту Словацької Академії наук в Tatranska Lomnica, Краківського педагогічного університету.

1.6. Основні результати роботи, винесені на захист:

1. Результати фотометричного та поляриметричного дослідження змін фазових кривих полярна АМ Геркулеса в 1978-1993рр. Спостережувальне підтвердження змін орієнтації магнітної вісі білого карлика відносно червоного супутника в АМ Her та QQ Vul.

2. Результати швидкої фотометрії та патрульного моніторингу групи полярів та споріднених об'єктів. Результати пошуку періодичних, мультиперіодичних та аперіодичних складників з характерним часом від секунд до років.

3. Розробка моделі руху плазми, яка витікає крізь околиці внутрішньої точки Лагранжа, в умовах домінуючого впливу магнітного поля обертаючогося білого карлика. Виділення еволюційної стадії "асинхронних магнітних тісних подвійних систем", на відміну від стадії "проміжних полярів".

4. Теоретичне дослідження впливу магнітного поля на перенос маси та моменту імпульсу в тісних подвійних системах. Модель "магнітного клапана" та "похитуючогося діполя".

5. Аналітичне та чисельне моделювання будови заповнюючого поверхню Роша супутника в баротропному наближенні, дослідження еволюції обертання зоряних компонентів в подвійній системі для низки моделей.

6. Теоретичне та чисельне дослідження впливу неоднорідності та асиметрії акреційної колони на спектральні та поляризаційні характеристики її випромінювання. Розробка моделей "веселкової", "киплячої", "нахиленої" та "стиснутої" колон, "полярної шапки"; розробка методів визначення орієнтації колони

для досліджуваних моделей.

7. Результати статистичного та спектрального дослідження 9 різних математичних моделей змінного сигналу.

1.7. Публікації по темі дисертації: 80 печатних робіт.

1.8.

Об'єм та будова дисертації: Дисертація містить вступ, 7 глав та висновок. Об'єм 299 сторінок машинописного тексту, 82 малюнки, 25 таблиць. Список літератури налічує 367 назв.

1.9. Особистий внесок автора.

Розробка теоретичних моделей, дослідження статистичних та спектральних властивостей функцій, які одержані при обробці даних проведені автором та опубліковані в 40 статтях без співавторів. В теоретичних статтях [A28, A47, A48] автору належить постановка проблеми, вивід основних формул та підготовка тексту, внесок в обчислення однаковий з співавторами. В спостереженнях, опублікованих в 11 статтях [A23, A28, A30, A38, A52, A53, A59, A61, A62, A64, A74], автор не приймав безпосередньої участі, ним проведена обробка готових часових рядів та підготовлений текст з урахуванням побажань соавторів. В інших 26 статтях, написаних у співавторстві, автор також приймав участь в спостереженнях та їх обробці.

2. ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ дане обґрунтування актуальності поставленої задачі. Перелічуються основні результати, що виносяться на захист.

В ГЛАВІ 1 досліджена фотометрична та поляріметрична змінність полярів AM Her, BY Cam, QQ Vul та MR Ser.

В §1 приведений огляд характеристик поляра AM Her.

В §2 приведені результати спостережень AM Her. В п.2.1 обговорюються зміни світності AM Her, переходи між "активним" та "неактивним" станами. Тривалість перехідного часу від 2 місяців до навіть кількох діб. На повільні (роки, місяці) зміни накладаються суттєві швидкіші (тижні, доби) складові.

В п.2.2 відмічена циклічність змін фазових кривих блиску по практично однорідних спостереженнях 1976-1983рр. Одержана ефемериди для моментів мінімумів в жовтому промінні з періодичним складником (1100^d). Така циклічність може бути інтерпретована в межах моделі "похитуючогося диполя" з амплітудою зміни кута між проекцією вісі колони на орбітальну площину та лінією центрів $17 \pm 3^\circ$. Також спостерігаються реальні швидкі флуктуації, зв'язані як з змінністю випромінювання акреційної колони з характерними часами в кілька хвилин, так і з можливим "дрейфом" її основи.

В п.2.3 розглянуті кореляції між різними характеристиками індивідуальних кривих блиску АМ Геркулеса в жовтому промінні. Одержана залежність середньої фазової кривої блиску в "активному" стані 1978-1979рр. від світності, одержана по 66 ночах фотографічних спостережень.

В п.2.4 досліджена швидка змінність поляризації та блиску по спостереженнях, одержаних на 2.6м ЗТШ КрАО з часом експозиції 5 секунд. Автокореляційна функція не підкоряється експоненційному закону, який є характерним для "дробового галасу" (спалахів, з'являючихся в випадкові моменти часу), а перетинає нуль, що для нескінчених послідовностей може бути інтерпретовано як наявність квазі-періодичних коливань. Це показує недостатність традиційного методу обробки, якщо не враховувати тривалість серії та віднімання тренду. Математичні аспекти проблеми розглянуті окремо в §7.9. Застосування коректного (а не спрощеного) аналізу довело, що, в межах похибок спостережень, швидка змінність АМ Геркулеса може бути інтерпретована як сума авторегресійного (Марковського) процесу першого порядку та некорельованого галасу. Внесок корельованих змін більший в активному стані, суттєво зменшуючись зменшується із зменшенням світності.

В п.2.5 обговорюються зміни орієнтації акреційної колони за результатами колової поляриметрії. Ретельний аналіз показує, що перехід в "неактивний стан" супроводжується повним зникненням поляризації, що, як і результати швидкої фотометрії (§1.2.4) свідчить про практично повне припинення акреції на видиму частину білого карлика. Змінність тривалості фази зміни знаку

колової поляризації від $0.07P_{orb}$ до $0.29P_{orb}$ свідчить, що змінюється не тільки "довгота" акреційної колони, а й її широта з повною амплітудою $\approx 11^\circ$.

В п.2.6 приведені результати майже одночасних спостережень АМ Нег на супутнику IUE, на БТА САО та АЗТ-11 КрАО. Було зареєстроване пояскравлення, під час якого потік у емісійних лініях водню та гелію збільшився від 2 до 5 разів, а потік у континуумі тільки в 1.29 разів. Оцінена температура білого карлика під час цього неактивного стану, що дорівнює 20,000К.

В п.1.2.7 повідомляється про реєстрацію безпрецедентного спалаху червоного карлика 28.08.1992. Спостереження проводились одночасно на 2.6м ЗТШ (колова поляриметрия з часом експозиції 4сек) та на 1.25м АЗТ-11 (UBVRI фотометрія з часом експозиції 12 сек). На відміну від спалахів, спричинених акрецією сгушень речовини та їх циклотронним випромінюванням, характеристики цього явища дозволяють віднести його до спостерігаємих у спалахуючих зірок малих мас [1]. Характерний час експоненційного зменшення потоку 5 хвилин, колова поляризація відсутня в межах похибок вимірювань. За амплітудою (до 7.8^m в смузі U відносно червоного карлика), це явище відноситься до найбільш екстремальних.

В §3 проведений аналіз спостережень ВУ Сам на ЗТШ. Використовуючи методику обробки автокореляційних функцій, запропоновану в §7.9, було одержано її наближення з середньоквадратичним відхиленням 0.024. В межах похибок, автокореляційна функція співпадає з очікуваною для авторегресійної моделі першого порядку з відношенням $r_0 = 0.944$ (сигнал/(сигнал+галас)) та часом експоненційного падіння 92 ± 2 сек. Спектр потужності в смузі частот 0.0022-0.095 Герц має степеневий вигляд з показником $\gamma = 1.78 \pm 0.04$. Тому швидка змінність може бути інтерпретована "дробовим галасом", зв'язаним з нестабільністю акреції. Міжнародні спостереження, в яких автор приймав участь, свідчать, що білий карлик в ВУ Сам обертається асинхронно з орбітальним рухом та синхронізується з характерним часом 900 років, що збігається з теоретичною оцінкою ≈ 1000 років (глава 3). Асинхронізм, синхронізацію та взаємоузгодженість спостережень з нашою теоретичною оцінкою

також відмітили Pirola та ін. [16]. Таким чином, ВУ Cam є другим після V1500 Cyg [3] об'єктом в класі "асинхронних МТПС", теоретично передбачених в главі 3.

В §4 наведені результати спостережень QQ Vul. Вперше були зареєстровані неактивні стани за матеріалами фототеки ДАІШ. По архівних знімках обсерваторії Sonneberg були одержані середньосезонні криві блиску, починаючи з 1928р. Одержані 83 моменти мінімуму блиску показали циклічність коливальних фази з характерним часом 14 років (Зр. у AM Her). В межах моделі "похитуючогося диполя" (§4.6) ця змінність може бути інтерпретована змінами "довготи" магнітної вісі з амплітудою $14 \pm 2^\circ$ (що близько до значення 17° у AM Her).

В §5 проведений аналіз фотометричних спостережень "короткоперіодичного" полярна MR Ser, одержаних на МТМ-500 КраО та астрографі ДАІШ. Зареєстровані великі зміни амплітуди змінності від ночі до ночі від 1.5^m до 0.2^m . 8 ночей спостережень 1991р. дозволили одержати нове значення фотометричного періоду, що дещо відрізняється від літературних даних для спостережень 1982р. Якщо зміни періоду мають циклічний характер, зірка може бути ще однією "асинхронною МТПС", а не "справжнім" полярном.

В ГЛАВІ 2 досліджена фотометрична та поляриметрична змінність проміжних полярів та споріднених об'єктів.

В §1 наведені результати обробки спостережень, одержаних під час міжнародної програми досліджень ТТ Агі в 1988р. Всього проведений аналіз 45 серій спостережень (деякі одержані в одну ніч в різних кольорах). Розроблений метод визначення внеску корельованого процесу та некорельованого галасу в загальну дисперсію спостережень. Доведено, що корельовані "20-хвилинні" зміни мають більш "блакитний" розподіл енергії у спектрі (на $\approx 0.2^m$ в U-V) в порівнянні з "квазіорбітальними" змінами (3 та 5 годин). Одержані поліпшені фотометричні елементи по спостереженнях 1988р. Аналіз зміни форми кривої блиску показав, що присутне також вторинне колювання з більш тривалим періодом 4.8 години, який не є кратним ні орбітальному, ні відрізняючомуся від нього на 3.5% "3-годинному" фотометричному періоду. "20-хвилинні" зміни не є когерентними,

але характерні часи цих квазіперіодичних коливань (QPO) мають низку виділених значень, які реалізуються в різні ночі, але не в усі. Період, відповідаючий найбільш високому пікові на середній періодограмі, 23.8 хвилини не підтверджує запідозрене раніше [18] систематичне зменшення від 27 хв. в 1961р. до 17 хв. в 1985р. Поблизу значення періоду, екстрапольованого по цій залежності на 1988р., спостерігається другий за висотою пік на періодограмі. Таким чином, можлива сумісна дія декількох механізмів коливань з близькими характерними часами. Найбільш привабливою є запропонована [10] інтерпретація взаємодії магнітосфери швидко обертаючогося білого карлика з неоднорідностями акреційного диску. Крім того, на високих частотах періодограма підкоряється степеневому закону $S(f) \propto f^{-\gamma}$. Показники степеню для окремих ночей знаходяться в межах від 0.71 ± 0.14 до 2.35 ± 0.15 ; для середньозваженої періодограми $\gamma = 1.51 \pm 0.04$.

В §2 розглянута змінність MV lуг з характерними часами від секунд до років. Спостереження по архівних колекціях негативів в Москві, Одесі та Зоннеберзі показали, що до 1979р. система була однією з найбільш яскравих зірок ($12.5 - 13.5^m$) з рідкими "екскурсами" в "неактивний" стан $14 - 15^m$. В 1979р. система перейшла у низький стан ($17 - 18^m$), з якого спалахувала до $\approx 15^m$ з циклом $\approx 450^d$. Після одного з таких спалахів була зареєстрована серія змін пояскравлень з зменшуючоюся амплітудою з характерним часом кілька діб. Можливою інтерпретацією може бути "триггерний" механізм нагріву супутника, ступінь заповнення поверхні Роша якого незначно менший за одиницю. В 1989р. система повернулася в звичний "активний" стан, та була проведена програма координованих спостережень на ЗТШ, АЗТ, МТМ-500. В "проміжному" стані, як і в "активному", спостерігаються 3-годинні коливання блиску, період яких не співпадає з орбітальним періодом, відомим з спектральних спостережень.

Середнє значення колової поляризації $\langle q \rangle = -0.03 \pm 0.05\%$, значущі зміни з характерними часами в десятки хвилин не зареєстровані. Періодограмний аналіз показує квазіперіодичні коливання з характерними частотами 15-30 та 61-92 ц/д. Швидка змінність має більш "блакитний" розподіл енергії в спектрі,

ніж стаціонарний складник. Вона може бути описана моделлю "дрібового галасу" з характерним часом 64сек. Порівняння показує, що об'єкт за власними характеристиками дуже нагадує кандидата в "проміжні поляри" TT Aгі, хоча 10-річний "низький" стан робить його унікальним серед вибухових змінних.

В §3 запропонована феноменологічна модель унікальної подвійної системи V361 Cug. Екстремально велика амплітуда головного та вторинного затемнень дозволяє припустити, що затемнюються не зоряні складники, а "гаряча пляма", що перевищує за світністю зірки. Непрямим підтвердженням цьому може бути зсув фази вторинного мінімуму. Для більш точного визначення модельних параметрів потрібні багатокольорові спостереження та розрахунки з врахуванням ефекту відбиття. Якщо запропонована модель одержить незалежне підтвердження, ця система може бути прототипом нового класу.

В §4 проведений частотний аналіз UBVRI спостережень вибухової змінної BZ Cam (=0623+71) в центрі планетарної туманності. Знайдена змінність з характерними часами 1.5 та 3 години, частота яких змінюється від ночі до ночі. Лінійна поляризація відсутня, а швидка змінність характеризується степеневим законом $S(f) \propto f^{-\gamma}$ с показником $\gamma = 1.0$.

В §5,6 проведений аналіз змін блиску кандидатів у поляри [14] HQ, HV And. Повільна змінність світності не протиречить подібній класифікації, хоча зміни між "активним" та "неактивним" станами спостерігаються також у новоподібних змінних без домінуючого впливу магнітного поля. Періодограмний аналіз показав наявність нестабільних піків, відповідно 3 години у HQ And та 80 хвилин у HV And. Спостереження на ЗТШ показали відсутність колової поляризації у межах похибок спостереження 0.5%. В смузі частот 90-500 ц/д періодограма змін блиску HQ And характеризується степеневим законом з показником $\gamma = 2.29 \pm 0.12$. Таким чином, обидва об'єкти можуть бути класифіковані як незатемнювані новоподібні системи.

В §7,8 приведені результати дослідження EI UMa та VH Lup. Перший об'єкт може бути класифікований як новоподібна з малим нахилом орбіти. У VH Lup були знайдені глибокі затемнення та визначений орбітальний період.

В §9 розглянуті прояви "сонцеподібної" активності супутників в вибухових змінних. Крім спалахів, подібних до екстремальної зареєстрованої у АМ Геркулеса, магнітна активність червоних супутників може виявлятися також в змінності рівня акреції в вибухових змінних різних типів. Одним з таких виявів може бути знайдена Л.І.Шакун [7] змінність тривалості циклу вибухів кількох карликових нових зірок. Ми оцінили характерний час таких різких переходів. Для AR And ця характеристика змінювалась від 0.5 до 8 циклів (с верхню межею, яка відповідає 1σ від 6 до 16 циклів). Ці часи значно менше "часу життя" двох "альтернативних" станів (відповідно 79 ± 10 та 55 ± 6 циклів). Крім систем з різкими "перевмиканнями", А. Bianchini [8] виявив об'єкти, що показують квазісинусоїдальні коливання. Часові характеристики змін тривалості циклу відповідають перевмиканням полярів та новоподібних змінних з "активного" стану в "неактивний" та обидва зв'язані з змінами рівня акреції. Різкий характер змін, можливо, зв'язаний з "триггерним" механізмом.

В §10 перелічуються основні результати пошуку нових вибухових зірок серед 20 ймовірних кандидатів. Виявлено повільне падіння блиску V 795 Her = PG 1711+336 з 12.6^m (початок 60-х рр.) до 13.5^m у 1987р., та циклічні ($\approx 2000^d$) зміни. IW And переважно перебуває в "проміжному" стані (72% патрульних спостереження в інтервалі $15.1^m - 15.3^m$), яке інколи переривається пояскравленнями (18% в інтервалі $13.7^m - 15.0^m$) або потемненнями (10% між 15.4^m та 17.3^m) тривалістю кілька десятків діб. Зменшення та збільшення блиску звичайно поєднані. Така поведінка є унікальною для подвійних систем та потребує подальшого ретельного дослідження. Оцінено фотометричні періоди SS Umi та EY Cyg, моменти спалахів карликових Нових IZ And та FS Aug, проведено фотометричне дослідження проміжного поляра RE 0751+14, кандидатів в вибухові змінні PG 1524+622, PG 1445+584, PG 1639+338, E2000+223, N Cygni 1986. Знайдені затемнення PX And під час фази максимального блиску. Належність інших об'єктів до вибухових зірок не підтверджена.

В ГЛАВІ 3 проведено моделювання руху плазми в асинхронних магнітних тісних подвійних системах (МТПС).

Рівняння руху плазми (§1) з урахуванням сумісної дії магнітного та гравітаційного полів показує, що, оскільки щільність енергії магнітного поля W_m значно перевищує щільність кінетичної енергії плазми W_k , можна знехтувати деформацією магнітного поля, зв'язаною з рухом плазми, та використати одночасткове наближення на всій частині траєкторії від внутрішньої точки Лагранжа до фронту ударної хвилі. Такі системи будемо називати "МТПС", на відміну від реально існуючих зірок типу АМ Геркулеса (полярів), в яких можливі суттєві відхилення від асимптотичної "стандартної" моделі [9].

В §2 розглянутий рух вздовж магнітної вісі обертаючогося білого карлика, що дозволяє спростити рівняння руху. Врахування кривизни силових ліній показує, що навіть в цьому випадку рівняння руху можна трансформувати перетворенням координат до одномірного випадку. Більш благоприємним є такий режим акреції, при якому початковий момент імпульсу плазми відносно диполя в обертаючійся системі координат протилежній за напрямком кутовій швидкості його обертання, що вказує на додатковий механізм синхронізації орбітального та обертального рухів білого карлика. Падіння на білий карлик можливе тільки в тому випадку, коли початкова швидкість (відлікована в напрямку від диполя) не перевищує певну обмежуючу. В протилежному випадку речовина прискорюється додатковою силою, спрямованою від білого карлика, та викидається з системи, гублячи зв'язок з силовими лініями за межами магнітосфери.

Залежність обмежуючої швидкості (§3) від відношення мас складників та параметру асинхронності w показує, що при невеликих негативних w обмежуюча швидкість позитивна. При позитивних та великих за абсолютною величиною негативних значеннях w на білий карлик випадають лише частинки з достатньо великими за абсолютною величиною швидкостями, спрямованими до білого карлика. Оговорюються особливості руху плазми при параметрі асинхронності $w = 0$ та куті між магнітною віссю та лінією центрів $\theta \approx 90^\circ$. Швидкість, необхідна для подолання потенційного бар'єру, залежить від

відношення мас та орієнтації диполя. Її значення максимальне при $\theta = 90^\circ$ та становить $(0.1 - 0.2)v_{orb}$, де v_{orb} - орбітальна швидкість. Ці значення більш, ніж на порядок, перевищують характерну швидкість витікання речовини з оболонки супутника. Для найбільш "благоприємних" положень магнітної вісі $\theta \approx 0^\circ$ в випадку синхронізації час падіння речовини з внутрішньої точки Лагранжа на білий карлик не перевищує $0.4P$.

В §4 відмічено, що МТПС з параметром асинхронності $|w| > 1$ знаходяться на ступеню "пропелера", що веде до втрати не тільки речовини, але й моменту імпульса. Цей механізм спричиняє синхронізацію обертання білого карлика та орбітального руху з характерним часом $t \leq 10^3$ років. Оцінка повної втрати маси на стадії "пропелера" $\approx 10^{-5} M_\odot$.

В §5 досліджена залежність часу руху плазми від точки Лагранжа до білого карлика в випадку синхронізації.

В §6 проведений порівняльний аналіз "асинхронних МТПС" та "проміжних полярів". Зараз відомі 2 об'єкти з швидкою синхронізацією - V1500 Cyg [3] та BY Cam [16], що свідчить про справжнє існування еволюційного ступеню "асинхронних МТПС" (подібного до ступеню "пропелера" для систем з нейтронними зірками). Характерні часи зміни періодів обертання білих карликів в "проміжних полярах" на ≈ 2 порядку більші, та зв'язані з взаємодією "магнітосфера-акреційний диск". Таким чином, "асинхронні МТПС" є еволюційними попередниками "справжніх" полярів, в той час як "проміжні полярні" становлять паралельну гілку еволюції, що характеризується меншою напруженістю магнітного поля. За класифікацією "гравімагнітних ротаторів" В.М.Ліпунова [13], "асинхронні МТПС" можна віднести до групи ІІР, а "проміжні полярні" до групи ІІА.

В ГЛАВІ 4 проведене моделювання процесу переносу маси та моменту імпульсу в "майже синхронних" МТПС, коли речовину можна вважати вмороженою в магнітне поле.

В §1 досліджений вплив магнітного поля на будову перехідної зони між поверхнями Роша складників. Швидкості руху конвективних елементів в оболонці супутника спрямовані переважно вздовж локальної нормалі до еквіпотенційної поверхні

Роша. Припускається, що після відриву від оболонки плазма рухається далі вздовж магнітних силових ліній білого карлика. Супутник втрачає тільки ті елементи, які мають швидкість, достатню для подолання локального потенційного бар'єру.

В §2 одержані аналітичні вирази та проведені чисельні розрахунки швидкості акреції \dot{M} в залежності від мас складників, орбітального періоду, орієнтації магнітного поля та функції розподілу конвективних елементів за швидкостями. Потік маси максимальний, коли вісь диполя спрямована вздовж лінії центрів. При збільшенні кута θ між ними до 70° швидкість акреції зменшується в ≈ 7 разів, а при 80° в ≈ 40 разів. При $\theta = 90^\circ$ "магнітний клапан" закривається повністю, поле перешкоджає перетіканню плазми в поверхню Роша білого карлика крізь внутрішню точку Лагранжа.

В §3 розглянута залежність потоку речовини від функції розподілу конвективних елементів за швидкостями. За інших рівних умов, \dot{M} збільшується з збільшенням частини елементів з великими швидкостями. Приведені чисельні оцінки фізичних характеристик двох полярів з різними орбітальними періодами - AM Her та AN UMa. Показано, що відношення щільностей енергії магнітного поля до кінетичної енергії плазми приблизно пропорційно до $B^2 P^{-6}$, де P - орбітальний період, а B - напруга магнітного поля. Тому полярів, що знаходяться по різні сторони відомого "провалу" на гістограмі розподілу орбітальних періодів вибухових подвійних систем, можуть, можливо, мати систематичні відмінності в акреційній геометрії, пов'язані з меншим впливом магнітного поля в "довгоперіодичних" системах.

В §4 проведена оцінка взаємоузгоджених параметрів моделі, наведені значення для полярів AM Her та AN UMa.

В §5 обговорюються моменти сил, які діють на білий карлик за рахунок перетікаючої речовини. Якщо вісь диполя лежить в площині орбіти, або в площині, перпендикулярній до орбітальної та проходячої крізь лінію центрів, з трьох проєкцій моменту сил на координатні вісі дві стають дорівнюючими нулеві. В цьому випадку магнітна вісь диполя під час руху не може виходити за межі відповідної координатної площини. Рівноважними є положення диполя, коли $\theta = 0^\circ$ або $\theta = 90^\circ$.

В §6 розглянута залежність від амплітуди періоду суттєво нелінійних коливань поблизу стійкого положення рівноваги $\theta = 90^\circ$. Одержані результати застосовуються для інтерпретації циклічних змін фази мінімуму AM Her та QQ Vul в межах даної моделі "похитуючогося диполя".

В §7 показано, що циклічні зміни орієнтації магнітної вісі повинні з необхідністю збуджуватись в межах даної моделі в зв'язку з неможливістю акресії в положенні рівноваги $\theta = 90^\circ$ ("магнітний клапан" закритий, можливі тільки "прокапування" за рахунок нестабільностей та порушення дипольної форми магнітного поля. Спостерігаємим наслідком може бути, крім циклічної зміни фази мінімуму, кореляція між фазою мінімуму та світністю. Така кореляція у AM Геркулеса була знайдена В.П.Смиковим та Л.И.Шакун [5], що узгоджується з моделлю "похитуючогося диполя".

В §8 приведений додатковий критерій взаємоузгодженості.

В §9 проведене врахування впливу магнітостатичної взаємодії білого карлика з супутником.

В §10 розглянута диполь-дипольна взаємодія, яка спричиняє коливання диполя з характерним часом такого ж порядку, що й акресія та магнітостатична взаємодія. Траєкторії зміни орієнтації іноді мають вельми незвичні форми, включаючи тимчасове "перекручення" білого карлика на повний оберт відносно супутника.

В §11 обговорюються спостерігаємі проявлення ефекту впливу магнітного поля.

В **ГЛАВИ 5** розглянута будова та еволюція обертання зоряних складників та подвійної системи. В §1 проведене чисельне та аналітичне моделювання залежності характеристик поверхні Роша від відношення мас у баротропному наближенні для будови супутника. Одержані наближення дозволяють визначити більш точно (0.2%) співвідношення "нахил орбіти-тривалість затемнення", ніж в звично використовуваному наближенні поверхні Роша сферою з таким же об'ємом. Для відношення тілесного кута поверхні Роша Ω до тілесного кута небесної сфери 4π одержане наближення $\Omega/4\pi = 0.0473\mu^{2/3}$ та $0.004 \pm 0.061\mu$ для

$\mu = M_2/(M_1 + M_2) \leq 0.2$ та $0.1 \leq \mu \leq 0.5$ відповідно.

В §2, використавши статистичну залежність "маса-радіус" для зірок нижньої частини Головної послідовності, одержані аналітичні співвідношення "маса-орбітальний період" та "радіус-орбітальний період". Проведене порівняння з результатами інших авторів.

В §3 за даними каталога Н. Ritter [17] одержане статистичне співвідношення між орбітальним періодом та періодом надгорбів (superhumps) для 24 карликових нових зірок типу UG SU: $\lg P_{sh} = -0.00434(\pm 0.0033) + 1.077(\pm 0.006) \lg P_{orb}$, де P_{sh} - період надгорбів (періоди вимірюються в годинах).

В §4 облічені таблиці модельних параметрів для політропних зірок та білих карликів. Додатково до класичних результатів для внутрішньої будови політропних зірок визначені параметри, що характеризують момент інерції та приливну дисипацію енергії.

В §5 розглянута еволюція обертання об'єктів, на які акреція йде крізь диск. У випадку твердотільного обертання політропи з індексом $n = 0$ акреціюче тіло є еліпсоїдом Якобі. Одержані чисельні залежності великої та малої піввісей еліпсоїда та його маси від ексцентриситету. Обмежений характер розглянутих наближень дозволив одержати представлення залежностей модельних параметрів від ексцентриситету у вигляді ряду Тейлора.

В §6 досліджені зміни оскулюючих елементів еліптичної орбіти в МТДС з синхронним та асинхронним білим карликом. Хоча основним механізмом циркуляризації орбіти є приливна взаємодія, була розглянута задача впливу дисипації індуктивних струмів Фуко в оболонці супутника, генеруємих магнітним полем обертаючогося білого карлика. Співвідношення, одержані Р.С. Joss та ін. [11] для випадку колової орбіти (вони розглядали вплив цього ефекту на синхронізацію обертання білого карлика), були узагальнені на випадок еліптичної орбіти.

В ГЛАВІ 6 проведене моделювання спектру і поляризації випромінювання акреційної колони (АК).

В §1 розглянуті основні напрямки моделювання акреційних колон.

В §2 розглянута модель осесиметричної однорідної по висоті

колони. Для коефіцієнтів поглинання в поляризаційних модах використані співвідношення Г.Г.Павлова та ін. [15]. Показано, що, на відміну від розглянутих в літературі моделей АК з різкою межею, при монотонному зменшенні щільності з віддаленням від вісі, "ефективний радіус" АК є функцією її оптичної товщини τ навіть при $\tau \gg 1$. В загальному випадку ця величина залежить від частоти випромінювання та кута між віссю колони та променем зору. Одержані співвідношення для інтегрального потоку в циклотронних лініях та колової поляризації для оптично тонкого континуума. Обговорюються деталі спектру та поляризації колон з характерними для полярів значеннями модельних параметрів.

В §3 обговорюється вплив ефекту Доплера на поляризоване випромінювання АК. Ефект аберации веде до зміни напрямку фронту електромагнітної хвилі, її частоти та енергії, але не впливає на величину поляризації. На відміну від акреційних дисків [4], в випромінюванні АК виділити ефекти, пов'язані з ефектом Доплера, не є можливим.

В §4 розглянутий вплив відхилень АК від вісєвої симетрії на фазові криві блиску. В оптично тонкому випадку цей ефект несуттєвий, а в оптично товстому визначається законом розподілу щільності по зрізу АК. Розглянуті граничні модельні наближення еліптичних колон.

В §5 розглянута осесиметрична нахилена оптично товста колона. Нахил АК до нормалі до поверхні компактної зірки може призвести до виникнення асиметрії кривої блиску в випадку, якщо її частина під час орбітального руху затемнюється білим карликом, а вісь колони не перетинає вісь обертання. З збільшенням характерної висоти АК криві блиску стають більш симетричними. Вони мають один максимум, якщо вісь колони не проходить при своєму обертанні крізь картинну площину, та два максимуми в протилежному випадку. Теоретичні криві блиску більш асиметричні для колони з зменшуючоюся з висотою яскравістю, ніж для колони з постійною яскравістю.

В §6 обговорюються типи нестабільності АК. Запропонована Langer та ін. [12] модель "осцилюючого стовпа" (оптично тонкої колони з переважно рентгенівським випромінюванням та різкою межею) пояснює характерні часи 2-секундних квазіперіодичних

коливань (QPO), спостерігаємих у деяких полярів. Але її слід узагальнити в модель "осцилюючих спагетті", коли колона є сукупністю окремих неоднорідностей, падаючих з акреційного потоку вздовж різних силових ліній, та в складі колони коливаючихся з власною частотою, пропорційною потоку маси на одиницю площі (відповідно до [12]). Така модель природно пояснює різницю частот, спостерігаємих в різні моменти часу, та порівняльно невеликий час когерентності (декілька десятків секунд). Також розглянуті ще 5 видів нестабільності АК. Моделювання нестационарних 3-вимірних моделей потребує Супер-ЕОМ. Тому ці типи нестабільності розглянуті якісно.

В §7 одержана теоретична залежність спостерігаємого потоку жорсткого випромінювання "полярної шапки" на поверхні білого карлика від орієнтації її вісі симетрії. Моделюванням орбітальної кривої рентгенівського потоку АМ Геркулеса одержані оцінки нахилу орбіти i та кута між віссю колони та віссю обертання, що узгоджується з даними поляризаційних спостережень. Зона випромінювання розташована над поверхнею білого карлика (з найбільшою геометричною товщиною поблизу вісі симетрії), а поглинаюча речовина розташована вище в акреційній колоні.

В §8 запропонована модель "веселкової колони", відповідно до якої АК випромінює на гармоніках циклотронної частоти, величина якої залежить від напруги магнітного поля, тобто від висоти зони випромінювання над поверхнею білого карлика. В межах цього наближення розроблений метод визначення орієнтації АК по фазових багатокольорових кривих зміни поляризації та потоку в системах з затемненнями АК білим карликом. Для наближеної оцінки параметрів в системі без затемнення можна використати значення колової поляризації в одному кольорі, але надійність цього методу невелика. Для моделювання величини колової поляризації використане наближення Ю.Н.Гнедіна та Г.Г.Павлова [2]. Метод застосований для визначення орієнтації АК в полярах АМ Her, MR Ser, EF Eri.

В §9 обговорюються орбітальні зміни емісійних ліній, виникаючих поблизу АК. Показано, що середньоквадратична ширина лінії мінімальна, коли акреційна колона лежить в картинній площині, або коли найбільш гарячі зони затемнюються

білим карликом. Одержана по кривій зміни цієї величини система 5 рівнянь з 5 невідомими є вирожденою, що свідчить про неможливість визначення орієнтації колони тільки по спектральних спостереженнях. Одержані результати якісно узгоджуються з спостереженнями AN UMa.

В §10 обговорюються ефекти, пов'язані з наявністю у деяких полярів (хоча б в деякі моменти часу) двополусної акреції. При моделюванні це потребує визначення в два рази більшої кількості модельних параметрів, що веде до значної невизначеності в їх величинах. Теоретична інтерпретація існування двох колон визиває серйозні труднощі, бо це може свідчити, що радіус магнітосфери менше поверхні Роша білого карлика. Тоді незрозуміло, як магнітне поле змогло би забезпечити синхронізацію орбітального та обертального рухів білого карлика. В межах моделі "магнітного клапана", двухколонна акреція можлива лише в деяких фазах, коли магнітна вісь приблизно перпендикулярна лінії центрів.

В ГЛАВІ 7 розглянута мульти-, квазі-, а- та періодична змінність вибухових систем; статистичні та спектральні властивості математичних моделей.

В §1 розглянута структурна схема методів пошуку періодичності; місце в ній розроблених алгоритмів та програм, що призначені для різних характеристик досліджуемого сигналу, спотвореного галасом.

В §2 досліджені статистичні властивості періодограми, що застосовувалась для швидкого пошуку періодичності методом найменших квадратів. Приведені вирази для ймовірності появи "несправжніх" піків в випадку усереднення періодограм, що одержані по кількох серіях спостережень, можливо, з великими перервами між ними.

В §3 приведені формули для визначення параметрів мультиперіодичних змін методом диференційних поправок. Особлива увага приділяється кореляціям значень визначаємих параметрів.

В §4 проведене математичне моделювання процесів, що мають степеневий характер періодограми в широкому, але обмеженому діапазоні частот. Проведене порівняння з результатами для

неперервних процесів, огляд яких приведений в монографії В.Ю.Теребіжа [6].

В §5 запропонований метод "згладжування згладжуючих сплайнів". Фазова крива наближується кубічним сплайном з фіксованою кількістю "характерних точок", що рівномірно розподілені по фазі. Так як така згладжуюча функція залежить не тільки від періоду, а й від початкової епохи, пропонується використовувати для наближення середню криву (з декількох сплайнів, відповідаючих різним початковим епохам). Як функція вибору використане середньоквадратичне відхилення спостережень від "найкращої кривої".

В §6 розглянуте моделювання несинусоїдальних сигналів з змінним періодом. Запропоновані 2 шляхи розв'язку проблеми. По-перше, це реалізація методу Герцшпрунга в застосуванні до кубічних сплайнів. Другий метод полягає в моделюванні зміни періоду, обчисленні поправок до фаз та визначення середньої кривої для всього масиву спостережень. Недоліком методу є неможливість одержання статистично незалежних моментів характерних точок, які можна було би в майбутньому використовувати для порівняння з даними інших авторів. Перевагою є необхідність обчислення меншої кількості параметрів та відповідно їх більша надійність.

В §7 запропонований метод "ковзаючих парабол". Для визначення згладженого значення сигналу в момент t_0 використовується наближення параболою в інтервалі $(t_0 - \Delta t, t_0 + \Delta t)$. На відміну від методів, в яких використані рівні значення "ваги" всіх спостережень, досліджений вплив вагового множника в загальному вигляді, та для застосування конкретно $p = (1 - ((t - t_0)/\Delta t)^2)^2$. Його використання дозволяє запобігти розривності згладжуючої функції та її похідної. Приведені аналітичні оцінки точності згладжуючої функції та відповідних екстремумів. Систематична похибка методу "ковзаючих парабол" значно менше, ніж "ковзаючих середніх".

В §8 запропонований метод визначення періоду по моментах "характерних явищ", що дозволяє перейти від обчислення "неперервної" періодограми до пошуку локальних екстремумів, що веде до суттєвого зменшення витрат часу обчислень.

За допомогою ортогональних поліномів досліджені статистичні властивості періодограми. Показано, що класичні статистичні критерії, що звично застосуються в випадку нормального закону розподілу значень згладжуємої функції, не можуть бути використані для оцінки значущості піків на періодограмі внаслідок рівномірного розподілу фаз при невірному завданні пробної частоти. Одержане наближення функції розподілу випадкового значення періодограми, що відповідає невірному значенню періоду.

В §9 виведені аналітичні співвідношення для автокореляційної функції (АКФ), що відповідає низькочастотному згладжуванню методом найменших квадратів та відхиленням від нього в випадку обмеженої кількості спостережень N . Вектор значень автоковаріаційної функції може бути одержаний домноженням матриці ($N \times N$) Z (що залежить від вигляду базисних функцій, які використані для наближення тренда) на вектор незмішених оцінок АКФ. Так як обчислення елементів матриці вимагає значних витрат часу обчислень (60 годин на РС 487 для $N = 256$), є доцільним провести обчислення один раз, а потім зберігати елементи матриці Z у вигляді окремого файлу. Матриця Z є практично виродженою, тому неможливо одержати "незмішені" оцінки з "змішених" рішенням N рівнянь з N невідомими. Слід моделювати параметри "незмішеної" АКФ замість "змішеної". Тому відновлена "незмішена" АКФ завжди є модельно-залежною. Одержані вирази для визначення параметрів авторегресійних (Марковських) процесів з галасом спостережень. Результати чисельного моделювання добре узгоджуються з теоретичними очікуваннями.

Застосування розробленого алгоритму дозволило показати, що змінність полярів АМ Нег та ВУ Сам та новоподібної системи МВ Луг з характерним часом біля хвилини може бути інтерпретована в межах моделі "дрібового галасу", а не квазіперіодичними коливаннями.

В ПІДСУМКУ приведена порівняльна характеристика магнітних та немагнітних вибухових змінних, нові результати, одержані автором.

Література

1. Гершберг Р.Е., 1978, Вспыхивающие звезды малых масс, М., Наука.
2. Гнедин Ю.Н., Павлов Г.Г., 1975, Письма в АЖ, т.1, 34.
3. Павленко Е.П., Пельт Я., 1991, Астрофизика 34, 169.
4. Постнов К.А., Шакура Н.И., 1987, Письма в АЖ, 13, 300.
5. Смыков В.П., Шакурн Л.И., 1985, Астрон. Цирк., N 1384, 3.
6. Теребиж В.Ю., 1992, Анализ временных рядов в астрофизике, М., Наука, 392с.
7. Шакурн Л.И., 1987, Кинематика и физ. неб. тел, 3, N 5, 72.
8. Bianchini A., 1988, Inf. Bull. Var. Stars, N 3136.
9. Chanmugam G., Wagner L., 1977, ApJ, 213, L13.
10. Hollander A., van Paradijs J., 1992, Astr. Ap., 265, 77.
11. Joss P.C., Katz J.I., Rappaport S.A., 1979, ApJ, 230, 176
12. Langer S.H., Chanmugam G., Shaviv G., 1982, ApJ, 258, 289
13. Lipunov V.M., 1984, Adv. Space Res., v.3, 10, 323.
14. Meinunger L., 1980, Inf. Bull. Var. Stars, N 1795.
15. Pavlov G.G., Mitrofanov I.G., Shibanov Yu.A., 1980, Astrophys. Space Sci., v.73, 63.
16. Pirola V., Coyne G.V., Takalo S.J.L., Larsson S., Vilhu O., 1993, Astr. Ap., 278, 372.
17. Ritter H., 1990, Prepr. Max-Planck Inst. Astrophys. N 500.
18. Semeniuk I., Schwarzenberg-Czerny A., Duerbeck H., Hofman M., Smak J., Stepien K., Tremko J., 1987, Astrophys. Space Sci., 130, 167.

Основні публікації по темі дисертації

1. Андронов И.Л., Васильева С.В., Цесевич В.П. Уточнение периода AM Геркулеса и его возможные изменения.- *Астрономический Циркуляр*, 1980, N 1122, 1-3.
2. Андронов И.Л., Васильева С.В., Цесевич В.П. О кривой изменения блеска AM Геркулеса и ее изменениях.- *Астрономический Циркуляр*, 1980, N 1142, 5-8.
3. Андронов И.Л. О возможном механизме уменьшения периода AM Геркулеса.- *Астрономический Циркуляр*, 1981, N 1178, 1-3.
4. Андронов И.Л. О зависимости период - масса для катаклизми-

- ческих переменных.- Проблемы космической физики 1982, вып.17, 106-112.
- 5.Андронов И.Л., Райков А.А., Удовиченко С.Н., Цесевич В.П., Яворский Ю.Б. Фотографическое исследование АМ Геркулеса в 1980-1981 гг.- Проблемы космической физики, 1983, вып.18, 98-101.
- 6.Андронов И.Л., Шугаров С.Ю. Фотометрическое исследование MV Лиры.- *Астрономический Циркуляр*, 1982, N 1218, 3-5.
- 7.Андронов И.Л., Банный М.И., Коротин С.А., Яворский Ю.Б. Об изменении периода АМ Геркулеса.- *Астрономический Циркуляр*, 1982, N 1225, 5-6.
- 8.Андронов И.Л. О влиянии ориентации магнитного поля на скорость аккреции в тесных двойных системах.- *Астрофизика*, 1984, т.20, N 1, 165-177.; Депонент ВИНТИ N 5900-82Деп., 1982, 20с.
- 9.Андронов И.Л. О колебании диполя в магнитных тесных системах.- *Астрономический Циркуляр*, 1983, N 1267, 4-5.
- 10.Андронов И.Л., Яворский Ю.Б. Фотометрическое исследование звезды типа АМ Геркулеса E 2003+225.- *Письма в Астрон.Ж.*, 1983, т.9, N9, 556-558.
- 11.Андронов И.Л. О зависимости скорости аккреции от ориентации диполя в магнитных тесных двойных системах.- *Проблемы космической физики*, 1984, вып.19, 114-118.
- 12.Андронов И.Л. О зависимости кривой блеска АМ Геркулеса от светимости.- *Письма в Астрон.Ж.*, 1985, т.11, 203-207.
- 13.Андронов И.Л. Фотографические наблюдения рентгеновского источника PG1551+719.- *Астрономический Циркуляр*, 1986, N 1432, 7-8.
- 14.Андронов И.Л. Влияние наклона аккреционной колонны на асиметрию кривых блеска полярков. Геометрические эффекты.- *Астрономический Журнал*, 1986, т.63, N2, 274-278.
- 15.Андронов И.Л. Определение ориентации магнитной оси белого карлика по орбитальным кривым рентгеновского потока.- *Астрономический Журнал*, 1986, т.63, N 3, 508-515.
- 16.Андронов И.Л. О движении плазмы в магнитных тесных двойных системах. Учет кривизны магнитных силовых линий.- *Астрономический Журнал*, 1987, т.64, N1, 97-107.

17. Андронов И.Л., Кудашкина Л.С., Поплавская Н.В., Кимеридзе Г.Н. Фотографические наблюдения долгопериодического поляра QQ Лисички в 1986г.- Бюлл. Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузинской ССР, 1989, т.66, 11-18.
18. Андронов И.Л. О влиянии неоднородности аккреционной колонны на поляризацию и спектр ее излучения.- *Астрофизика*, 1990, т.32, N 1, с.117-131.
19. Андронов И.Л. Сглаживание экспериментальных данных методом скользящих парабол".- *Кинематика и физика небесных тел*, 1990, т.6, N 6, с.87-96.
20. Андронов И.Л. О зависимости "орбитальный период - период сверхгорбов" для катаклизмических переменных типа SU UMa.- *Астрономический Циркуляр*, 1990, N 1545, с.18-19.
21. Андронов И.Л. Об определении периода переменного сигнала по моментам характерных событий.- *Кинематика и физика небесных тел*, 1991, т.7, N 2, 78-86.
22. Andronov I.L., Shugarov S.Yu. Inactive State of MV Lyrae.- *Information Bulletin on Variable Stars*, 1983, N 2418, 4 pp.
23. Andronov I.L., Banny M.I., On the orbital period of a probable polar HV Andromedae.- *Information Bulletin on Variable Stars*, 1985, N 2763, 4 pp.
24. Andronov I.L. Influence of the Column's Asymmetry on the orbital variability of Polars.- *Commun. Konkoly Observatory Hungarian Acad. Sci.*, 1986, v.86, 369-370.
25. Andronov I.L. Influence of the Magnetic Field on the Accretion in Close Binary Systems.- *Commun. Konkoly Observatory Hungarian Acad. Sci.*, 1986, v.86, 371-372.
26. Andronov I.L. "Swinging Dipoles" in Magnetic Close Binary Systems.- *Astrophys. Space Science*, 1987, v.131, 557-570.
27. Andronov I.L. On the mechanism of the 'Noisar' Phenomenon in Magnetic Close Binary Systems.- *Astronomische Nachrichten*, 1987, B.308, H.4, 229-234.
28. Andronov I.L., Richter G.A. V 361 Lyrae : An Exotic binary system with a 'Hot Spot' between the components ? - *Astronomische Nachrichten*, 1987, B.308, H.4, 235-238.
29. Andronov I.L., Fuhrmann B. On the period of QQ Vulpeculae: New Minima from the Old Plates.- *Information Bulletin on*

- Variable Stars, 1987, N 2976, 4 pp.
30. Richter G.A., Andronov I.L. Photometric Study of V 361 Lyr: a 'Hot Spot' between the Components of a Binary System? - *Mitteilungen über veränderliche Sterne*, 1986, B.11, 27-33.
 31. Andronov I.L., Meinunger L. HQ and HV Andromedae: a further photometric Study of Polar Candidates.- *Information Bulletin on Variable Stars*, 1987, N 3015, 4 pp.
 32. Andronov I.L. Smoothing the 'Smoothing' cubic Spline-Functions.- *Contrib. Astron. Inst. Czechoslovak.*, 1987, v.20, 161-164.
 33. Meinunger L., Andronov I.L. Photometric Study of the Blue Variables IW, IZ and IO Andromedae.- *Information Bulletin on Variable Stars*, 1987, N 3081, 3 pp.
 34. Andronov I.L., Fuhrmann B., Wenzel W. MV Lyrae : Entering the Period Gap ? - *Astronomische Nachrichten*, 1988, B.309, H.1, 39-42.
 35. Andronov I.L. On the formation of the Excretion Discs around Magnetic Close Binary Systems.- *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 1988, B.97, H.2, 103-105.
 36. Andronov I.L. Period Search using the DMRT Method: The Properties of the Test-Function.- *Astronomische Nachrichten*, 1988, B.309, H.2, 121-131.
 37. Andronov I.L. On the Adaptive Procedure of Brightness Evaluation from the Characteristic Curves.- *Symp. Int. Astr. Union on Astrophotography*, Jena, DDR, 1987, 92-95.
 38. Wenzel W., Banny M.I., Andronov I.L. Long-term light curve of the cataclysmic binary V 795 Herculis.- *Mitteilungen über veränderliche Sterne*, 1988, B.11, 141-142.
 39. Andronov I.L., Hacke G. Frequenzanalyse von fotografischen Beobachtungen der Zwergnova EY Cygni.- *Mitteilungen über veränderliche Sterne*, 1988, B.11, H.4, 74-80.
 40. Andronov I.L. Über Periodensuchverfahren für veränderliche Signale.- *Die Sterne*, 1989, B.65, H.1, 20-30.
 41. Andronov I.L., Kimeridze G.N., Richter G.A., Smykov V.P. Detection of the 224-min Orbital Period of the Cataclysmic Variable PG 0818 + 513. - *Information Bulletin on Variable Stars*, 1989, No. 3388, 4pp.

42. Andronow I.L. Die AM Herculis Sterne- eine interessante Klasse von Doppelsternen.- Die Sterne, 1988, 64, 4, 195-203.
43. Andronov I.L. Observational evidence on the asymmetry of the accretion columns in Close Binary Systems.-in: "Variable Phenomena in Close Binary Stars.", Commun. Konkoly Obs. Hung. Akad.Sci., v.10, pt.7 (N 39), 285-288.
44. Andronov I.L. La Strukturo de Magnetaj Malvastaj stelaj sistemoj. Preprinto de Teritoria Komitato de Hungara Esperanto Asocio en dep.Bekes, Gyula,Hungario, 1989, 16p.
45. Andronov I.L., Smykov V.P. AM Herculis : Evidence for a 'Swinging Dipole' Model.- Astrophysics and Space Science, 1990, v.169, 251-253.
46. Andronov I.L., Shakun L.I. Alternating Cycle Durations in Dwarf Novae.- Astrophysics and Space Science, 1990, v.169, 237-240
47. Andronov I.L., Kostova Z.T., Kolbig K.S. The Rotational Evolution of Mac-Laurin Ellipsoids which accrete matter via a Disc: An Application of Computer Algebra.- in: 'IV Int. Conf. on Computer Algebra in Physical Research' (Abstract: Dubna, 1990, p.68); ed. D.V.Shirkov, V.A.Rostovtsev & V.P.Gerdt, World Sci. Publ., 1991, 404-412.
48. Andronov I.L., Yavorskij Yu.B. The Moments of Inertia of the White Dwarfs and Polythropic Stars.- Contributions Astron. Obs. Skalnaté Pleso, 1990, v.20, 155-158.
49. Andronov I.L.: The Outbursts of the Dwarf Nova FS Aurigae. - Inform.Bulletin on Variable Stars, 1991, N 3614, 4p.
50. Andronov I.L.: Photographic Observations of the Cataclysmic Variable Candidates PG1445+584 and PG1524+622.- Inf. Bull. on Variable Stars, 1991, No 3645, 4p.
51. Andronov I.L. On the Polarizational Properties of the Accretion Columns in Magnetic Cataclysmic Variables.- Astron. Astrophys. Transact., 1992, v.1, No.2, 107-117.
52. Andronov I.L., Kolosov D.E., Movchan A.I., Rudenko A.N.: Photometric observations of the intermediate polar TT Arietis in 1988.- Commun. Spec. Astron. Obs., 1992, v.69, 79-101.
53. Andronov I.L., Kimeridze G.N., Richter G.A., Smykov V.P.

- Photometric study of the cataclysmic variable stars EI UMa (=PG 0834+488) and BH Lynx (=PG 0818+513).- *Commun. Spec. Astron. Obs.*, 1992, v.69, 102-111.
54. Andronov I.L., Borodina I.G., Kolesnikov S.V., Pavlenko E.P., Shakhovskoy N.M.: TV and polarimetric observations of the cataclysmic variable HQ Andromedae.- *Commun. Spec. Astron. Obs.*, 1992, v.69, 112-124.
55. Andronov I.L., Borodina I.G., Chinarova L.L., Fuhrmann B., Kolesnikov S.V., Korth S., Pavlenko E.P., Pikhun A.I., Shakhovskoj N.M., Shugarov S.Yu., Wenzel W. MV Lyrae: the cataclysmic variable, which at least returned to its normal activity state.- *Commun. Spec. Astron. Obs.*, 1992, v.69, 125-136.
56. Shakhovskoy N.M., Kolesnikov S.V., Andronov I.L.: AM Herculis at the low state: The circular polarization disappeared.- in: "Stellar Magnetism", St.Petersburg, 1992, 148-154.
57. Andronov I.L.: On the Orbital Eccentricity Changes in Magnetic Close Binary Systems.- in: "Stellar Magnetism", St.Petersburg, 1992, 155-157.
58. Andronov I.L., Kolesnikov S.V., Pavlenko E.P., Shakhovskoj N.M. Photometric Observations of the Magnetic Cataclysmic Variable Star BY Cam = H0538+608.- in: "Stellar Magnetism", St.Petersburg, 1992, 158-159.
59. Andronov I.L., Pavlenko E.P., Seregina T.M., Shugarov S. Yu., Shvechkova N.A.: Photometric Study of MR Serpentis: Extreme Light Curve Variations of the Magnetic Cataclysmic Binary.- in: "The Impact of Space Research on Astronomy. Abstracts", Liege, 1992, p.6.; in: "Stellar Magnetism", St.Petersburg, 1992, 160-172.
60. Shakhovskoy N.M., Efimov Yu.S., Andronov I.L., Kolesnikov S.V.: BZ Camelopardalis = 0623+71 : The Cataclysmic Variable inside a Bow-Shock Nebula, in: "Planetary Nebulae. Abstracts", Innsbruck, 1992, p.80; IAU Symp. 155, Kluwer, 1993, 407.
61. Andronov I.L.: Analytic Approximations of some Functions in the Roche Model.- *Astron. Astrophys. Transact.*, 1992, v.2, N4, 341-345.

62. Tremko J., Andronov I.L., Luthardt R., Pajdosz G., Patkos L., Roessiger S., Zola S.: On hour-scale photometric variations of TT Arietis.- *Inform. Bull. Var. Stars*, 1992, No.3763, 4pp.
63. Shakhovskoy N.M., Alexeev I.Yu., Andronov I.L., Kolesnikov S.V. Unprecedented flare at red secondary component of AM Herculis. - "Cataclysmic Variables and Related Physics", *Annals Israel Physical Society*, 1993, v.10, 237-240.
64. Tremko J., Andronov I.L., Chinarova L.L., Luthardt R., Pajdosz G., Roessiger S., Zola S. Quasi- and a-periodic Variations in TT Arietis.- "Cataclysmic Variables and Related Physics", *Annals of the Israel Physical Society*, 1993, v.10, 324.
65. Andronov I.L. Photographic Observations of a newly discovered intermediate polar RE 0751+14 and of an object OI 090.4- *Inform. Bull. Var. Stars*, 1993, No.3828, 2pp.
66. Andronov I.L. Determination of the orientation of the accretion columns in magnetic cataclysmic variables.- *Odessa Astronomical Publications*, 1993, v.6, 21-30.
67. Andronov I.L. Some algorithms for reducing the astronomical time series.- in: *A.S.P. Conf. Ser.*, 1993, v.38, 181-185.
68. Andronov I.L., Borodina I.G., Kolesnikov S.V., Shakhovskoy N.M., Shvechkova N.A. UBVR magnitudes for cataclysmic variables, AF Vul and comparison stars.- *Inform. Bull. Var. Stars*, 1993, N 3932, 4pp.
69. Andronov I.L. Bias of Autocorrelation functions due to limited number of observations and trend removal. - in: "Time Series in Astronomy & Meteorology", Padova, Italy, 1993, v.2, 1-4.
70. Mason P.A., Andronov I.L., Borisov N.V., Chanmugam G. An accretion event observed during a low state of AM Herculis.- *A.S.P. Conf. Ser.*, 1994, 56, 346-349.
71. Andronov I.L. Autocorrelation function bias owed to a limited number of de-trended observations. Applications to autoregressive models with noise.- *Astron. Nachr.*, 1994, v.315, n5, 353-370.
72. Shakhovskoy N.M., Andronov I.L., Kolesnikov S.V. AM Hercu-

- lis in 1989-93: various types of photometric and polarimetric behaviour. - Odessa Astron. Publ., 1994, 7, 40-45.
73. Andronov I.L. (Multi-)frequency variations of stars. Some methods and results. - Odessa Astron. Publ., 1994, 7, 49-54
74. Tremko J., Andronov I.L., Chinarova L.L., Kumsiashvili M.I., Luthardt R., Pajdosz G., Patkos L., Roessiger S., Zola S. "20-min" oscillations of the cataclysmic variable TT Ari. - Odessa Astron. Publ., 1994, 7, 132-135.
75. Andronov I.L. Multi-, quasi-, a- and periodic variations in Cataclysmic Variables. - Astrophys. Space Science Lib., 1995, 205, 80-88.
76. Chinarova L.L., Andronov I.L. Seasonal Outburst Cycle Length Variations in the Dwarf Nova EM Cygni. - Astrophys. Space Science Lib., 1995, 205, 144-145.
77. Silber A., Raymond J., Shakhovskoy N.M., Mason P., Andronov I.L. - IUE and Optical Observations of AM Herculis in its Low State. - Ap. Space Sci. Lib., 1995, 205, 184
78. Mason P., Andronov I.L., Chanmugam G., Kolesnikov S. V., Pavlenko P., Shakhovskoy N.M.: BY Cam: a Multipole Magnetic Field Model. - Ap. Space Sci. Lib., 1995, 205, 408.
79. Shakhovskoy N.M., Alexeev I.Yu., Andronov I.L., Kolesnikov S.V.: Unprecedented flare of the red secondary component in magnetic binary star AM Herculis. - IAU Coll. 153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere", Tokyo, Japan, 1995, 137.
80. Andronov I.L. Multiple Time Scales in Cataclysmic Binaries. - Lecture Notes in Physics, 454, Springer, 302-305.

Andronov I.L. Structure and evolution of magnetic close binary systems.

The dissertation in the form of manuscript for a Doctor degree in speciality 01.03.02 "Astrophysics and Radioastronomy". Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kiev, 1995.

Eighty scientific publications are defended which contain theoretical study of the influence of the magnetic field onto accretion and results of the observations of the AM Her type stars and related objects. It

is shown that the asynchronism of the white dwarf's rotation under the dominating influence of its magnetic field onto accretion leads to the plasma ejection and synchronization at a time scale less than a thousand years. After that the cyclic (1-10 years) variations of the orientation of the magnetic axis of the white dwarf are excited causing changes of luminosity and the phase curve shapes. New methods of the determination of the accretion column are proposed. A sequence of new algorithms of the determination of the characteristics of periodic and aperiodic processes are elaborated.

Андронов И.Л. Стрoение и эволюция магнитных тесных двойных систем.

Диссертация в форме рукописи на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия, Главная Астрономическая Обсерватория НАН Украины, 1995.

Защищается 80 научных работ, которые содержат теоретические исследования влияния магнитного поля на аккрецию, а также результаты наблюдений звезд типа AM Her и родственных объектов. Установлено, что асинхронизм вращения белого карлика при доминирующем влиянии его магнитного поля на движение плазмы приводит к выбросу плазмы за пределы магнитосферы и синхронизации с характерным временем менее тысячи лет. Далее возбуждаются циклические (1-10 лет) изменения ориентации магнитной оси белого карлика относительно линии центров, приводящие к изменениям светимости и формы фазовых кривых. Предложены новые методы определения ориентации аккреционной колонны. Разработан ряд новых алгоритмов определения характеристик периодических и аperiodических процессов.

И. Андронов
Ключові слова:

Зірки: подвійні, вибухові, полярні; магнітне поле; акреція

Підписано до друку 31.10.95. Формат 60x84/16.

Папір письмовий. Друк офсетний. 1,86 ум.друк.арк.

2,0 облік.- вид. арк. Тираж 100 прим. Замовлення N 54.