

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ

На правах рукопису

ШЕСТАКА
Іван Сафронович

УДК 523.53

**ПОХОДЖЕННЯ, ЕВОЛЮЦІЯ І ГЕНЕТИЧНІ
ЗВ'ЯЗКИ МАЛИХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ
ТА ЇХ КОМПЛЕКСІВ**

Спеціальність 01.03.03 —
Геліофізика і фізика Сонячної системи

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ = 1993

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00814002 (F)

Робота виконана в Астрономічній обсерваторії Одеського державного університету ім. І. І. Мечнікова

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ

доктор фізико-математичних наук, професор В. Н. Лебедянець,
доктор фізико-математичних наук В. Г. Кручиненко,
доктор фізико-математичних наук О.І.Велькович

Головна організація — Харківський інститут радіоелектроніки

Захист дисертації відбудеться « 26 » *листопада* 1993 р. о
..... *12* год. на засіданні Спеціалізованої ради Д 016.14.01 по
присудженню вченого ступеня доктора фізико-математичних наук при
Головній астрономічній обсерваторії АН України за адресою: 252127,
Київ-127, Голосієве, тел. 216-47-66.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Головної астрономічної обсерваторії АН України.

Автореферат розіслано «.....»..... 1993 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої ради
кандидат фізико-
математичних наук

Н. Г. Гусева

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Останні два десятиріччя характеризуються бурхливим розвитком нових технічних засобів реєстрації метеорних явищ. Поряд з класичними - фотографічним та радіолокаційним - методами були запроваджені дослідження за допомогою телевізійних приймачів, електронно-оптичної апаратури. В фотографії застосовано метод миттєвої експозиції, який дозволяє вивчати структуру метеорної коми та процеси послідовного руйнування метеороїдів в атмосфері Землі; а створена в Харкові установка MAPC дає змогу реєструвати чисельність метеорів до $+14^m$ і одержувати індивідуальні характеристики метеорних тіл, які породжують метеори до $+12^m$.

Обширні дані, які одержані за результатами багаторічних спостережень метеорів різними методами і включають атмосферні та орбітальні характеристики метеорних тіл в широкому діапазоні мас, були узагальнені в ряді монографій останніх літ [1-10]. Ці матеріали дають змогу вивчати активність регулярних метеорних потоків і структури породжуючих їх роїв, встановлювати джерела поповнення навколосонячної пилової хмари, генетичні зв'язки малих тіл, являються підставою для побудови теорії походження і еволюції малих тіл Сонячної системи.

За ці роки побачили світ численні публікації (в тому числі і автора), присвячені еволюції метеорної складової пилової хмари, походженню метеорних роїв і їх зв'язкам з можливими батьківськими тілами (БТ) - кометними ядрами та астероїдами. Нині назріла необхідність узагальнення результатів спостережень, модельних експериментів та здійснених теоретичних досліджень, які стосуються цієї проблеми.

Мета роботи

Основною метою дисертації являється удосконалення і подальша розробка основ внутрішньо несуперечливої теорії походження

ня об'єднаної в рої метеорної матерії та її зв'язків з іншими малими тілами Сонячної системи на базі нових результатів фотографічних, радіолокаційних та телевізійних спостережень, розробка критеріїв спорідненості малих тіл і виявлення їх комплексів.

Для вирішення цієї задачі необхідно було:

- виходячи з результатів спостережень, виконати аналіз атмосферних та динамічних характеристик метеорів і довести існування в Сонячній системі принаймні двох джерел метеорної матерії, що об'єднана в рої;
- провести критичний аналіз наявних критеріїв спорідненості малих тіл та створити новий, який би дозволив з високим ступенем ймовірності встановлювати існування генетично зв'язаних груп, родин і комплексів малих тіл;
- розробити методи теоретичних досліджень і моделювання утворення та еволюції метеорних роїв і їх гіпотетичних БТ;
- виконати аналіз та інтерпретацію теоретичних досліджень утворення і еволюції метеорних роїв, їх порівняння з даними спостережень.

Актуальність теми

- впливає з необхідності побудови математичної моделі розподілу метеорних тіл в Сонячній системі, моделі формування і еволюції метеорних роїв, узгодженої зі спостережуваною структурою останніх, встановлення генетичних зв'язків роїв з кометами та астероїдами і, в кінцевому результаті, побудови теорії походження і еволюції малих тіл Сонячної системи;
- продиктована необхідність прогнозування ймовірності зіткнень з метеорними тілами космічних апаратів та забезпечення їх захисту від метеорної небезпеки;

- зв'язана з тим, що Земля являється об'єктом випадкових зіткнень з малими тілами (в тому числі з астероїдами, що перетинають орбіти Землі і Марса), наслідки яких можуть виявитися катастрофічними. У зв'язку з цим XXI Генеральна Асамблея МАС поставила на чергу дня необхідність всебічних теоретичних і фізичних досліджень таких потенціально небезпечних об'єктів, до числа яких належать самі астероїди та їх фрагменти;

- спричинена також геофізичними аспектами: фотометричні і поляриметричні вимірювання яскравості присмеркового неба свідчать про забруднення верхньої атмосфери, яке зв'язується з вкладом мікропиту, продукованого метеорними роями.

Основні задачі дослідження

Для досягнення основної мети дослідження необхідно було розв'язати такі задачі:

- виконати аналіз параметрів атмосферних траєкторій фотографічних метеорів і показати, що практично всі метеорні тіла, які породжують метеори цього класу, схильні до дроблення в атмосфері Землі;

- виконати аналіз атмосферних та динамічних характеристик яскравих і слабких метеорів і показати, що існують принаймні два джерела, які поповнюють пилову метеорну хмару;

- розробити механізми світіння в метеорній комі і усунути протиріччя між теоретичними розрахунками світіння (з врахуванням лише механізму квазібезперервного дроблення метеороїда - КЕД) і даними спостережень, одержаними за методом миттєвої експозиції;

- розв'язати задачу визначення ймовірностей зустрічей з Землею спорадичних тіл та тіл, що об'єднані в рої, і одержати чисельні оцінки ймовірностей випадання на великі планети не-

- ретиनावчих орбіти цих планет астероїдів і їх фрагментів;
- розробити кількісний критерій спорідненості малих тіл і на його основі довести існування в Сонячній системі генетично зв'язаних комплексів малих тіл;
 - розробити метод ретроспективного і перспективного моделювання еволюції метеорних роїв та їх гіпотетичних БТ, включаючи викид фрагментів з БТ та їх подальшу еволюцію під впливом вікових збурень і негравітаційних факторів;
 - використовувати метод ретроспективного аналізу, виконати моделювання формування і еволюції великих метеорних роїв, які породжують метеорні потоки Гемінід, Персеїд, Оріонід та η -Акварид, і порівняння з їх спостережуваною структурою.

Наукова новизна і практична цінність роботи

Аналіз даних спостережень метеорів, теоретичні дослідження і чисельні експерименти дозволили одержати такі нові результати:

1. Вперше на підставі аналізу понад 3000 метеорних радіантів одержано статистичний доказ еволюції метеорних роїв, що породжують спостережувані з Землі потоки. Показано, що їх комплекс включає три складові: а) довготривалу - потоки, які проявляють свою активність понад 150 років (70% всієї вибірки); б) зникаючі потоки, чия активність не перевищує цього часового інтервалу (понад 10%), і в) нові потоки (20% вибірки), які не були виявлені і не спостерігалися в минулому сторіччі. Головною причиною такого явища ми вважаємо трансформацію орбіт під впливом гравітаційних збурень і негравітаційних факторів, які змінюють умови зближень роїв з Землею.

2. Вперше розроблені і застосовані до спостережуваних метеорів кількісні критерії класифікації світлових кривих фото-

графічних метеорів. Одержано, що положення точки максимального блиску на світловій кривій (параметр K), її ширина (L), асиметричність (M) та крутість (N) обумовлені фізичними процесами, які відбуваються під час польоту метеорного тіла в атмосфері, в першу чергу його дробленням. Цей факт, а також одержані порівняно низькі густини породжувачих фотографічні метеори тіл свідчать, що більшість з них має своїм джерелом кометні ядра.

3. Розроблено уточнений метод визначення коефіцієнта ефективності випромінювання метеорів (τ) з врахуванням зміни за час польоту маси m , швидкості v та інтенсивності випромінювання I . Доведені до розрахункових формул співвідношення для $\tau = \tau(m, v, \rho I)$ застосовані до фотографічних спостережень.

4. Вперше з аналізу одержаних автором за методом миттєвої експозиції знімків яскравих метеорів показано (разом з Крамером В.Н.), що один лише механізм КЕД не може бути відповідальним за спостережувані особливості метеорних вейків - їх надто великі довжини та синхронність зміни довжин зі зміною яскравості світіння головної частини метеора. Висунута і обгрунтована гіпотеза, згідно з якою спостережувані різноманітності фотометричних профілів метеорних вейків завдячують спільній дії кількох, принаймні двох, механізмів: а) світіння фрагментів, що відділяються в процесі КЕД метеороїдів, і б) післясвітіння іонів метеорної коми, яке обумовлене співударним їх збудженням збо випромінювальною рекомбінацією двичі іонізованих атомів метеорної речовини (головним чином H і $K CaII$).

5. Вперше разом В.Н.Крамером для дослідження еволюції малих тіл та їх комплексів, що не зближуються тісно з Егітером,

використані квазістаціонарні параметри μ і ν , які являються першими інтегралами диференціальних рівнянь руху в кеплеровському фазовому просторі елементів орбіт a, e, i, ω, Ω . Важливою властивістю цих параметрів, крім їхньої квазісталості, являється те, що з їх допомогою визначаються області зміни оскулюючих елементів орбіт. Аналіз функції розподілу μ і ν метеорних тіл дозволив зробити надзвичайно важливий висновок про те, що метеорна хмара з часом стає більш плоскою, ніж вважалося до цих пір.

6. Спільно з Ю.Н.Крамером виведені співвідношення, за допомогою яких визначаються умови і кількості можливих зустрічей (зближень) малого тіла з будь-якою планетою і знаходяться ймовірності таких подій. Одержані співвідношення враховують осциляції елементів орбіти в процесі еволюції малого тіла, що дозволяє обчислювати ймовірності зустрічей з планетами навіть таких об'єктів, чиї оскулюючі елементи орбіт на сучасну епоху такі, що класична формула Біка для обчислення ймовірності призводить до нульових значень. Одержані результати повністю підтверджуються даними чисельного інтегрування рівнянь руху малих тіл.

7. Введено новий критерій спорідненості малих тіл Сонячної системи — критерій близькості квазістаціонарних параметрів μ, ν та інваріанта Тиссерана T_i . З його допомогою були ідентифіковані групи і пари короткоперіодичних комет, кометно-метеорні і астероїдно-метеорні комплекси.

8. Розроблена і доведена до розрахункових формул і ЕОМ-програм модель виникнення і еволюції метеорних роїв з врахуванням вікових збурень від великих планет та ефекту Пойнтінга-Робертсона. Застосовування методу до метеорних роїв Ремнід,

Оріонід, η -Акварид і Персеїд дозволило розв'язати питання про їх походження і генетичні зв'язки з іншими тілами Сонячної системи.

Одержані в дисертації результати можуть бути використані при побудові теорії походження і еволюції метеорної матерії та прогнозуванні ймовірних зіткнень Землі з астероїдами чи їх фрагментами.

На захист вносяться:

1. Метод і результати класифікації світлових кривих фотографічних метеорів.

2. Результати теоретичних досліджень формування метеорної коми, механізм післясвітіння коми, який узгоджується з даними спостережень за методом миттєвої експозиції.

3. Два джерела метеорної матерії в Сонячній системі. На підставі аналізу результатів фотографічних і радіолокаційних спостережень метеорів показано, що майже 90% метеорної матерії, яка вторгається в атмосферу Землі, поставляється кометними ядрами і близько 10% - поясом астероїдів.

4. Модель формування та еволюції метеорних роїв, яка включає метод ретроспективного моделювання еволюції гіпотетичного батьківського тіла рою, ежекції (викид) метеорних частинок, що складають рій, та їх еволюції від моменту викиду до заданої епохи під впливом вікових збурень та негравітаційних ефектів типу Пойнтінга-Робертсона і його корпускулярного аналогу.

5. Результати теоретичних досліджень походження і еволюції метеорних роїв Гемінід, Оріонід, η -Акварид та Персеїд і порівняння результатів модельних розрахунків з даними спостережень.

6. Критерій спорідненості малих тіл Сонячної системи та результати його застосування до комет, астероїдів і метеорних

роїв; ототоженні з його допомогою пари і групи комет, кометно-метеорні та астероїдно-метеорні комплекси.

Апробація роботи

Результати роботи доповідалися:

1. На Всесоюзному симпозиумі "Взаємодія метеорної речовини з атмосферою Землі" (м.Фрунзе, 1978 р.);
2. На Всесоюзній конференції з фізики та динаміки малих тіл Сонячної системи (м.Душанбе, 1982 р.);
3. На Всесоюзній конференції "Метеорні тіла в міжпланетно-му просторі і в земній атмосфері" (м.Суздаль, 1984 р.);
4. На Першому міжнародному симпозиумі GLOBMET (м. Душанбе, 1985 р.);
5. На Всесоюзній конференції "Фізика і динаміка метеорних тіл" (Казивелі, 1986 р.);
6. На XX Всесоюзній метеоритній конференції (Таллінн, 1987 р.);
7. На Другому міжнародному симпозиумі "GLOBMET" (Казань, 1988 р.);
8. На Других Всесвятських читаннях (Київ, 1990 р.);
9. На Других Вредіхінських читаннях (Заволжськ, 1992 р.);
10. На об'єднаному семінарі ПНДЛ і кафедри РЕ ХІРЕ (Харків, 1993 р.);
11. На II з'їзді УАА (Київ, 1993).

Структура та об'єм дисертації

Дисертація складається з вступу, шести глав, висновків та списку цитованої літератури і містить 336 сторінок машинопису, 55 рисунків і 65 таблиць. Бібліографія включає 392 назви. Загальний об'єм дисертації складає 391 сторінку.

Зміст роботи

У вступі відмічена актуальність теми дисертації, сформульовані її мета і основні задачі, приведені основні положення, що виносяться на захист, та вказаний особистий вклад автора.

В першій главі розглянуто комплекс малих тіл в навколосонячному космічному просторі, що включає ядра комет, астероїди, метеорні частинки та космічний пил; здійснена класифікація малих тіл і дані основні визначення. Докладно розглянуті основні характеристики метеорних роїв і породжуваних ними потоків, комет та астероїдів; одержані оцінки ймовірностей випадкової збіжності орбітальних та геоцентричних характеристик метеорів, тобто випадкового об'єднання в потоки метеорів спорадичного фону. Показано, що при ототожненні породжуваних метеорними роями потоків слід керуватися не загальним числом спостережень (яких мало), а ймовірністю випадкового попадання до радіанту певного числа k_1 метеорів при заданому спостереженнями середньому k_0 :

$$P(k_1 \leq k_0) = 1 - \sum_{m=0}^{k_0-1} \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!},$$

де λ - математичне сподівання k_1 , m - число появ події в n незалежних випробуваннях.

Проведений статистичний аналіз більше 3000 метеорних потоків, зареєстрованих протягом останніх 150 років в січні і серпні місяцях, показав, що майже 70% всіх потоків (67% в січні, 74% в серпні) реєструвалися на протязі всього часу, біля 20% (24% і 16% відповідно) відмічені тільки в XX ст. і майже 10% в XX ст. зникли, що дало правді вважати їх хибними.

Беручи до уваги велику кількість таких зниклих потоків (45 в січні і 253 в серпні) та ще більше число нових потоків (120

в січні і 400 в серпні; деяка частина нових потоків обумовлена застосуванням в ХХ ст. нових технічних засобів спостережень), а також жорсткі вимоги до отожнення потоку (не менше 5 метеорів з одного радіанту, площа якого не повинна перевищувати 5x5 кв.град., і повторюваність потоку впродовж кількох років), приходимо до висновку, що обидва ці процеси - свідчення еволюційної трансформації орбіт породжувачих потоки роїв: під впливом збурюючих сил змінюються умови зближень орбіт роїв з орбітою Землі, в результаті чого одні потоки зникають, інші - pojawiaються. Рої ж, які породжували "зниклі" потоки, продовжують існувати і через тисячоліття знову можуть зблизитися з Землею і забезпечити появу уже "нових" потоків. Звичайно, в процесі еволюції рої зазнають дисипації і в кінці кінців перестають існувати, зливаючись зі спорадичним фоном. Проте ці процеси потребують тисячоліть і тому не можуть бути причиною зникнення і появи метеорних потоків за час регулярних спостережень метеорів.

В останньому параграфі глави I проведено критичний огляд існуючих критеріїв, які використовуються для виявлення взаємних зв'язків малих тіл і ототожнення роїв та їх батьківських тіл (БТ), показано, що ні один з наявних критеріїв не являється однозначним і достатньо дієвим, в зв'язку з чим існує потреба в створенні нового критерію.

Друга глава присвячена проблемам абляції та світіння метеороїдів, що породжують яскраві фотографічні метеори. В ній розроблені теоретичні питання класифікації світлових кривих метеорів і введені кількісні характеристики L , L , M , N :

$$L = \int_{h_M}^{h_K} \left[\frac{2v - v_M}{v} \cdot \frac{I}{\Gamma_{MK}} \right] dh$$

(де $X = K, L, M, N$ відповідно при $n=1, 2, 3, 4$; h - висота метеора, I, E - інтенсивність світлового потоку та його інтегральна величина, H^+ - висота однородної атмосфери; індекси n, m, k відповідають початкові, максимуму блиску і кінцю метеора) та проведена класифікація кривих блиску сфотографованих в Одесі метеорів. Виділені згідно з параметрами K і L чотири класи світлових кривих виявляють кореляцію з фізичними процесами, які відбуваються під час польоту метеорних тіл в атмосфері, в першу чергу з процесами їх дроблення.

На основі аналізу коефіцієнта абляції σ метеорів та параметра U_b , які характеризують саме метеорне тіло і процес його інтенсивного випаровування, виявлено, що по мірі проникнення тіла в атмосферу зменшується питома теплота абляції, що свідчить про зміну самого характеру абляції: від втрат маси через випаровування до здування з поверхні тіла розплавленої чи роздробленої фракції.

Виконані в роботі оцінки структурної густини ρ метеорних тіл з врахуванням реактивних імпульсів відлітаючих з поверхні тіла частинок та залежності коефіцієнта ефективності випромінювання τ від маси m , швидкості v і величини ρr (ρ - густина атмосфери на задній висоті) показують, що для більшості метеороїдів цього класу структурні густини не перевищують 1 г/см^3 . Цей факт свідчить про те, що тіла, які породжують фотометеори, мають кометну природу, і співпадає з розрахунками σ В.Н.Лебединця для слабких метеорів.

В §2.4 проведено ретельний аналіз методика обчислення σ , розробленої Е.Еніком для окремого випадку, коли дилатція коми $\beta=1$, зроблено її узагальнення для випадків, наближених до істинності, коли $\beta \neq 1$. Одержана система рівнянь відносно σ

$$\left\{ \begin{aligned} \tau &= \frac{\tau_1 + \delta \tau_2}{1 + \delta} \left[1 + 100\psi(1-\psi) \frac{\delta}{1 + \delta} \right], \\ \tau \delta &= \frac{2 \cdot 10^{-10} (\rho I)}{\pi (R \rho^2) v^3}, \end{aligned} \right.$$

(де τ_1 , τ_2 - ефективності випромінювання в повністю розріджених ($\delta \ll 1$) і компактній ($\delta \gg 1$) комі, ψ - доля втраченої теплової енергії при непружних ударах, R - радіус коми), з якої методом послідовних наближень знаходиться τ для будь-якої точки κ воі-блиску фотометеора.¹⁾ Застосування розробленої методики оцінок τ в залежності від мас, швидкостей метеорів і величини (ρI) до метеорів, сфотографованих в Одесі і Києві, призводить до необхідності змінити шкалу метеорних мас: маси повільних метеорів ($v < 30$ км/с) потрібно зменшити, а швидких ($v > 40$ км/с) - збільшити; при цьому маси порівняно слабких метеорів слід збільшити майже на порядок, а яскравих - зменшити в кілька раз (що змінює оцінки загального притоку метеорної речовини на Землю).

Фотографічні спостереження яскравих метеорів, особливо за методом миттєвої експозиції (вперше розробленому і запровадженому в Одесі Ю.Н.Крамєром та В.П.Орловим), показали, що їх зображення мають кометоподібну форму: яскрава головна частина поступово переходить в хвіст - вейк. Як виявилось, довжина вейків досягає десятків і сотень метрів, при цьому і сама довжина і яскравість вейка синхронно змінюється зі зміною яскравості головної частини метеора. Пояснити ці особливості не

¹⁾ Одержані оцінки τ характеризують значення коефіцієнта ефективності в періоду наближенні. Більш точні оцінки τ можна одержати, оснєвуючись на результатах досліджень сучасної газодинаміки.

вдалося за допомогою загальноприйнятого механізму квазібезперервного дроблення метеороїдів (КБД). Одержані нами миттєві фотографії і спектрограми боїда 13.08.1974 р. показали, що світіння в його вейках відбувається головним чином в лініях H і K CaII, що послужило основою альтернативної гіпотези, згідно з якою спостережувані різноманітності фотометричних профілів метеорних вейків та синхронність зміни їх довжини і яскравості з інтенсивністю світіння головної частини метеора обумовлена спільною дією кількох механізмів:

- світінням фрагментів, що відділяються від метеорного тіла в результаті його КБД;
- післясвітінням збуджених атомів та іонів метеорної плазми, головним чином H і K CaII;
- підсвіткою найдрібнішого метеорного пилу, що втратив змогу світитися самостійно, випромінюванням головної частини метеора.

Теоретичні розрахунки кривих блиску метеорів і їх вейків з врахуванням перших двох механізмів виявляють задовільну узгодженість зі спостереженнями. Однак для більш детального вивчення виникаючих при взаємодії метеорної речовини з атмосферою ефектів необхідні нові знімки і спектри метеорів за методом миттєвої експозиції.

В третій главі детально аналізуються співвідношення для оцінок ймовірності P зіткнень малих тіл з планетами, звертається увага на необхідність приведення величини Γ до єдиного масштабу часу за допомогою множника $a^{-3/2}$:

$$P = \frac{R_S^2 U}{a^{3/2} \ln U} \frac{R_S^2 \left[3 - \frac{a}{a_1} - 2 \left(\frac{a}{a_1} (1 - e^2) \right)^{1/2} \cos i \right]^{1/2}}{a^{3/2} \ln \left[3 - \frac{a}{a_1} - \frac{a}{a_1} (1 - e^2) \right]^{1/2}} \quad (1)$$

(R - радіус захоплення планети, U - швидкість тіла відносно

планети).

Одержуванні із спостережень метеорні дані дозволяють побудувати лише видимий розподіл метеорних тіл. Для переходу до істинного розподілу необхідно кожній зареєстрованій події приписати "вагу", пропорційну ймовірності її реєстрації. Для фотографічних метеорів це фактор астрономічної селективності спостережень або "космічна га" $CW = P^{-1} v^{-2}$, яка також має бути приведена до єдиного масштабу часу (як і P , розраховується на один рік).

Аналіз спостережуваних і зважених функцій розподілу яскравих і слабких метеорів за різними їх характеристиками здійснено в §3.2. Характер побудованих розподілів наочно свідчить про наявність в метеорній хмарі двох складових - кометного та астероїдного походження. При цьому виявляється, що за формою орбіт та їх нахилом тіла, що породжують яскраві метеори, ближчі до комет, ніж тіла, які породжують слабкі (супер-шмідтовські) метеори. Виявлене серед слабких фотографічних та радіолокаційних метеорів помітне число орбіт з $e < 0.5$ - явна ознака їх не-кометного походження. Проте не можна зробити однозначний висновок про астероїдну природу таких тіл, основувшись лише на оскулюючих елементах їх орбіт, оскільки дія гравітаційних і негравітаційних збурюючих сил призводить до того, що маленькі частинки з часом втрачають орбітальні і динамічні особливості своїх БТ значно швидше і в більшій мірі, ніж великі метеорні тіла.

З огляду на здатність елементів орбіт значно змінюватися в процесі еволюції під дією збурюючих факторів в роботі проведено пошук характеристик орбіт, які б зберігали свої величини протягом тривалого часу. Такими квазістаціонарними параметрами

виявилися два інтеграли в двократно осередненій круговій задачі трьох тіл:

$$(2) \quad \mu = \sqrt{p} \cdot \cos t = \text{const},$$

$$\nu = e^2 (0.4 - \sin^2 t \cdot \sin^2 \omega) = \text{const}. \quad (3)$$

Нами показано, що в випадках, коли виключаються тісні зближення малих тіл зі збурюючим тілом, параметри μ і ν зберігають квазісталі значення: на протязі більше 10 000 років їх відносні зміни не перевищують 5-10%.

Таким чином, якщо якась група тіл утворилася внаслідок деінтеграції певного БТ, її члени в процесі еволюції повинні зберігати близькі значення параметрів μ і ν як своєрідну "пам'ять" про своє походження, тобто ці характеристики можуть служити критерієм виявлення генетичних зв'язків малих тіл Сонячної системи.

З рівнянь (2), (3) при умові зустрічі малого тіла з планетою $p/a_j = 1 \pm e \cos \omega$ (a_j - велика піввісь планети) легко одержати рівняння відносно параметра орбіти тіла p

$$p^2 + a_j \left[(0.6 \frac{a}{a_j} - 2) - \nu^2 \right] p + a_j \left[\mu^2 (2 - \frac{a}{a_j}) + a_j (0.4 - \nu) \right] = 0, \quad (4)$$

яке дає можливість визначити априорі можливість і кількість зближень орбіти малого тіла з планетою за повний цикл зміни ω та саму ймовірність P зіткнення цих об'єктів:

1) якщо дискримінант рівняння (4) $\Delta < 0$, зближень не може бути і ймовірність $P=0$;

2) якщо $\Delta > 0$ і лише один з коренів рівняння (4) p_1 задовольняє умові

$$p_k < p_{\text{max}} = a \cdot (1 - 2.5e), \quad (5)$$

об'єкти зближаються, а ймовірність їх зустрічі визначається по формулі (1);

3) якщо $\Delta > 0$ і обидва корені задовольняють умові (5), форму-

ла для ймовірності зіткнення тіла з планетою приймає вигляд:

$$P = \frac{R_s^2}{\pi a^{3/2}} \left[3 - a_j a^{-1} - 2\nu \right]^{1/2} \sum_{k=1}^2 \frac{1}{\sin l_k \left(2 - a_j a^{-1} - p_k \right)^{1/2}} \quad (6)$$

Оскільки кожному p_k відповідають 4 значення ω , при яких можливі зустрічі з планетою, то в другому випадку за час одного оберту лінії апсид орбіти тіла можливі 4 його зближення з планетою, а в третьому - вісім.

Рівняння (2)-(4) дозволяють також оцінити області змін (осциляцій) елементів орбіти e , l , q малого тіла за період обертання його лінії апсид:

$$(2.5\nu)^{1/2} \leq e \leq \left\{ \frac{5}{6} \left\{ 0.6 - \nu - \frac{\mu}{a} \pm \left[\left(0.6 - \nu - \frac{\mu}{a} \right)^2 + 2.4\nu \right]^{1/2} \right\} \right\}^{1/2}$$

$$\arcsin \left\{ \frac{1.2 (0.4\nu)^{1/2}}{0.6 - \nu - \frac{\mu}{a} \pm \left[\left(0.6 - \nu - \frac{\mu}{a} \right)^2 + 2.4\nu \right]^{1/2}} \right\} \leq l \leq \arcsin \left\{ \frac{\mu}{\left[a(1-2.5\nu) \right]^{1/2}} \right\}$$

$$1 - \left\{ \frac{5}{6} \left\{ 0.6 - \nu - \frac{\mu}{a} \pm \left[\left(0.6 - \nu - \frac{\mu}{a} \right)^2 + 2.4\nu \right]^{1/2} \right\} \right\}^{1/2} \leq q \leq \left[1 - (2.5\nu)^{1/2} \right]$$

Наскільки це важливо, показує приклад астероїда 1580 Бетулія. Його оскуляюча перигелійна відстань більша за середню відстань Землі від Сонця ($q=1.119$ а.о.) і тому, згідно з класичною формулою (1), $P=0$. Однак рівняння (4) для Бетулії має два корені і обидва вони задовольняють умові (5), а це означає, як показано вище, що вона за повний період зміни ω повинна 8 раз зблизитися з Землею. Ймовірність P , обчислена по

(6), дорівнює $1.3 \cdot 10^{-9}$, при цьому q за той же час змінюється в інтервалі від 0.436 до 1.230 а.о. Розрахунки еволюції Бетулі методом чисельного інтегрування рівнянь її руху повністю підтверджують одержані вище результати. Слід відмітити, що Бетулія не являється винятком. Аналогічна картина має місце також для астероїда 3752 Камілло і Венери та астероїдів 2102 Танталя і 1973 NA при їх зустрічах з Венерою і Меркурієм.

Астероїди ж 1866 Сізіф та 4257 Убасті напевно мають оскулюючі перигелійні відстані менші 1 а.о. і, згідно з (1), їх ймовірності зіткнень з Землею мають бути відмінними від нуля. Проте, як показують результати прямого врахування збурень методами чисельного інтегрування рівнянь руху, ні один з них не зближується з Землею протягом 50-60 тисяч років. В обох випадках дискримінант рівняння (6) $\Delta < 0$, тобто $P=0$ в повній згоді з приведеними вище результатами.

В §3.5 виведені формули для обчислення ймовірності зустрічі з Землею метеороного рою та його космічної ваги. Оскільки при обчисленнях ймовірності зустрічі Землі з роєм не має значення, яка конкретна його частинка вторгається в атмосферу, формула для P приймає вигляд:

$$P = \frac{R_{\oplus}^2}{a a^{3/2} \sin i} \cdot \frac{2 - a^{-1} - a(1-e^2) \cos^2 i}{2 - a^{-1} - a(1-e^2)} \quad (8)$$

Вона дає значення P на 4-5 порядків більші, ніж формула (1). При побудові зв'язаних розподілів елементів орбіт метеороних роїв для об'єктивної оцінки їх статистичних ваг слід замість космічної ваги CV використовувати величину астрономічної ваги роїв $AV = P^{-1}$, виключивши фактор помічності метеороїв v_{∞}^{-2} , який для періодично спостережуваних роїв втрачає свій зміст. Побудовані в роботі функції розподілу 275 метеороних роїв - 1

спостережувані і зважені - мають приблизно однаковий характер, що можна пояснити еволюцією всього метеорного комплексу: спостерігаються лише найбільш стійкі у відношенні до випадіння на Землю метеорні рої.

В главі IV розглянуті питання походження і еволюції метеорної складової міжпланетної пилової хмари, в першу чергу метеорних роїв, ідентифікації їх БТ та методи відновлення минулої динамічної історії роїв і їх БТ.

Проведений аналіз розподілів афелійних відстаней періодичних комет і астероїдів показує, що афелії майже 83% комет розташовані за орбітою Юпітера, в той час як приблизно 97% ААА-астероїдів - всередині її. Тому проблема походження роїв до деякої міри зводиться до проблеми їх афелійних відстаней. Дійсно, розподіли по Q метеорних роїв з каталогів Кука, Терентьєвої, Секяніни показують, що більшість із них мають афелії всередині орбіти Юпітера: 53% у Кука, 86% у Терентьєвої і майже 95% у Секяніни. Немає ніякого сумніву, що рої з $Q \geq 5.2$ а.о. мають кометне походження. Проте ідентифікація джерела роїв з $Q < 5.2$ а.о. дуже непроста і тому для переважної більшості метеорних роїв не вирішена до цих пір, як і проблема ототожнення їх БТ. Справа ускладнюється тим, що, по-перше, метеорних роїв значно більше відкритих періодичних комет; по-друге, і рої і їхні БТ в процесі еволюції зазнають впливу збурюючих сил, які на тривалих проміжках часу приводять до істотних відмінностей оскулюючих елементів їх орбіт; по-третє, вік більшості роїв (до їх повного розпаду і злиття зі спорадичним фоном) значно перевищує час активного існування на короткоперіодичних орбітах кометних ядер - можливих БТ роїв. Виходячи з цього, ми висунули альтернативну гіпотезу утворення метеорних

роїв, суть якої полягає в тому, що спостережуваний метеорний рій являється кінцевою ланкою в ланцюгу послідовної дезінтеграції малих тіл і їх фрагментів, на початку якого знаходиться певне первинне БТ, яке під дією деструктивних механізмів розпадається на два чи кілька проміжних тіл, в свою чергу також схильних до дезінтеграції. В кінці цього ієрархічного ланцюжка знаходиться так зване остатнє батьківське тіло (ОБТ), яке і породжує велике число метеорних частинок - зародок майбутнього рою. Під впливом різних збурюючих сил цей зародок поступово розтягується вздовж орбіти ОБТ, утворюючи з часом замкнутий рій, який поступово розсівається і зливається зі спорадичним фоном. Цілком ймовірно, що ОБТ час від часу викидає нові порції фрагментів, підживляючи рій, - тоді існує можливість точно вказати БТ рою. Проте не виключено, що при утворенні рою його ОБТ знає цілковитого розпаду, як це було, наприклад, з ядром комети Біели 1952 III. В такому випадку ототожнення БТ рою можливе тільки тоді, коли розпад ядра станеться буквально на очах у спостерігачів.

Приймаючи до уваги те, що будь-які з проміжних тіл також можуть породжувати свої рої, приходимо до висновку, що в процесі еволюції кометні ядра та астероїди здатні утворювати цілі комплекси споріднених малих тіл, до складу яких можуть входити принаймні кілька метеорних роїв, їх ОБТ і навіть первинне БТ (при умові, що такі тіла не зруйнувалися цілком на момент спостереження).

Переконливим доказом справедливості такої гіпотези може бути існування груп та родин малих тіл - комет, астероїдів і метеорних роїв, можливість і механізми утворення яких розглянуті в §4.2.

З огляду на те, що динамічна і фізична еволюція роїв та їх БТ, визначаювана впливом на них збурюючих сил, відіграє вирішальну роль в питаннях походження роїв, їх утворення і генетичних зв'язків, особливо пильної уваги потребують методи відновлення минулої історії таких об'єктів. Найбільшої популярності набув метод чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху (метод Гаусса-Альфана-Горячева). В §4.3 проведено теоретичний аналіз методу і на прикладі метеорних роїв Гемінід, Оріонід і n -Акварид показано, що використання обтяжених похибками вимірювання оскулюючих елементів орбіт як початкових умов при інтегруванні рівнянь руху приводить на тривалих проміжках часу до накопичення неточностей і некоректних результатів, тобто метод Гаусса-Альфана-Горячева адекватно описує еволюцію метеорних роїв лише на невеликих проміжках часу.

П'ята глава присвячена питанням реальності існування груп і родин малих тіл Сонячної системи та критеріям ототожнення споріднених тіл і їх комплексів. На початку 80-х років Кресак, а потім Ліндبلاد, дійшли висновку про відсутність статистичних доказів існування генетично зв'язаних пар і груп комет зі схожими елементами орбіт, обґрунтовуючи це тим, що в наявних кометних каталогах на рівні надійності 2 σ групи комет з подібними орбітами зустрічаються не частіше, ніж в випадкових вибірках такого ж об'єму.

Єдиним загальноновизнаним винятком залишалися комети родини Крейца. Однак останнім часом було відкрито кілька комет з дуже близькими елементами орбіт, серед них пари комет 1982b і 1982c, 1988a і 1988g. ретельний аналіз спостережень цих і розрахунки їх орбіт з врахуванням збурень з великою мірою

Ймовірності свідчать про те, що ці пари - фізично і генетично зв'язані фрагменти, які утворилися в результаті розпаду певних первинних ядер. В першому випадку це ядро комети Дя Туа-2, в другому - ядро невідомої комети з великою піввіссю 750 а.о. До того ж було показано, що короткоперіодичні комети Ван Ейс-Брука і Неуйміна-3 також в минулому являли собою єдине ядро. Як показали наші розрахунки, швидкості розльотів фрагментів для згаданих трьох пар комет складають відповідно 9.7, 16.5 і 28.9 м/с.

Все це змусило нас переглянути висновки Кресака і Ліндблада, для чого був проведений аналіз наявних кометних каталогів з метою ототожнення генетично пов'язаних комет. На відміну від попередніх досліджень, висновки з яких базувалися виключно на схожості оскулюючих елементів орбіт, ми ввели для цієї мети новий критерій, виходячи зі квазісталості параметрів μ , ν та інваріанта Тіссерапа

$$T_i = (1-e)/q + 0.1686 \sqrt{q(1+e)} \cdot \cos i = \text{const}$$

і вважаючи, що зв'язані спільним походженням тіла повинні довгий час зберігати близькі значення вказаних характеристик.

Проведений аналіз параметрів μ , ν , T_i періодичних комет, які зазнали тісних зближень з Юпітером і різко поміняли оскулюючі елементи своїх орбіт, дав змогу оцінити міру коректності введеного критерію: виявилось, що навіть за таких екстремальних умов, коли елементи орбіт до і після тісних зближень стають невідомими, параметри μ і ν залишаються близькими, а інваріанти T_i практично не змінюються (напр., у комети P/Коліма $|\Delta\mu| \approx 150''$, $|\Delta\nu| \approx 140''$, $|\Delta q| \approx 0.8$ а.о., в той час як $\Delta\mu \approx 0.26$, $\Delta\nu \approx 0.05$, $\Delta T_i \approx 0.0005$). Таким чином, μ , ν і T_i -характеристики, залишаючись квазісталості тривалий час, виявляються своєрідною

пам'яттю об'єктів про їх походження і генетичні зв'язки і можуть бути надійним критерієм спорідненості малих тіл.

Застосування критеріїв близькості μ , ν і TU -параметрів до каталогу кометних орбіт дозволило ототожити 16 груп, які містять від двох до трьох комет. На наш погляд, комети виділених пар і груп (принаймні деякі з них) могли утворитися шляхом розпаду сильних для кожної групи первинних ядер, подібно групам Дю Туа-Хартлі, Леві-Шумейкерів-Холта та Неуйміна-Ван Бісбрука.

Цей же критерій, застосований до каталогів метеорних роїв, комет і астероїдів, дав змогу ідентифікувати споріднені рої та їх можливі БТ: було виділено 8 кометно-метеорних і 16 астероїдно-метеорних комплексів (далі КМК і АМК). Ми не включили в список загальновідомих КМК, за винятком комплексів комет Енке та Понса-Віншеке, оскільки за допомогою введеного критерію була проведена ревізія об'єктів, які віднесені до цих КМК різними авторами, а також їх доповнення новими членами. До деяких КМК нарівні з кометами включені як можливі БТ астероїди (напр., в Ж2 - 6344 P-L, в Ж3 - 2112 Гефест). Обидва ці астероїди рухаються по кометоподібних орбітах, як показано в главі I, і являють собою залишки ядер комет, що "потузли".

Всі ототоженні нами АМК - нові. Серед них особливої уваги заслуговує АМК Таутатіса з огляду на одержані недавно свідчення подвійної структури цього астероїда: оскільки така система динамічно нестійка і схильна розпадатися під дією збурюючих сил, існуючи АМК Таутатіса, що містить 10 роїв і 2 астероїди, можна вважати переконливим свідченням можливості утворення метеорних роїв внаслідок дезинтеграції астероїдів. Це підтверджується також тим, що спочатку ідентифіковані АМК трьох астерої-

дів - Хетхора, Хуфу і Ксаффа, що належать до групи Атоса, та родина Іннісфрі, яка включає метеоритотвірні Боліди і генетично зв'язана з АМФ №7. За допомогою нового критерію було також виявлено існування цілого комплексу метеорних роїв з орбітами гемінідного типу, які утворилися в процесі послідовного руйнування кількох проміжних БТ, які ведуть своє походження від спільного первинного БТ.

Застосований тут метод виявлення генетичних зв'язків малих тіл дозволяє розв'язати задачу в першому наближенні. В майбутньому автор має намір використати для цієї мети також методи кластеризації.

Глава VI містить результати чисельного моделювання утворення і еволюції метеорних роїв Гемінід, Оріонід, α -Акварид та Персеїд за допомогою розробленого нами методу, який включає:

- ретроспективну еволюцію певного БТ з врахуванням гравітаційних і негравітаційних збурень;
- моделювання викиду в задану епоху з цього БТ скінченного числа метеорних частинок, що утворюють зародок досліджуваного рою;
- моделювання еволюції утвореного рою і його БТ методом чисельного інтегрування рівнянь руху від моменту викиду до сучасної епохи;
- порівняння обчислених і спостережуваних характеристик досліджуваного рою.

Проведені дослідження Гемінід і астероїда 3200 Фастон показали, що, по-перше, рій виник недавно, не більше кількох тисячоліть тому; по-друге, відповідний метеорний потік став доступним для спостережень близько 200 років назад; по-третє, рій Гемінід зближується достатньо компактним ще майже 400 ро-

ків, однак під дією збурень його середня орбіта зміститься відносно Землі на 0.2 а.о., після чого потік з Землі спостерігатися не буде. Питання ж про БТ цього рою залишається невирішеним до цих пір, оскільки припущення про те, що БТ являється Фаетон, потребує дуже високих (1-5 км/с) швидкостей викиду, реальність механізму якого сумнівна, якщо не нереальна. Тому можна констатувати лише наявність генетичного зв'язку рою Гемінід і Фаетона і можливість їх походження в результаті дезінтеграції спільного БТ. Враховуючи ж виділені нами рої гемінідного типу, можна стверджувати, що існує комплекс тіл, які в минулому мали спільне первинне БТ.

В роботі також показана безпідставність і некоректність висунутої П.Б.Бабаджановим і Ю.В.Обрубовим гіпотези про можливість породження одним і тим же роєм чотирьох (восьми) метеорних потоків, активних протягом одного року. Насправді мова може йти про потоки, що породжуються різними роями, які генетично зв'язані між собою, походять від споріднених БТ, тобто про КМК чи АМК.

Ретельні дослідження походження і еволюції кометно-метеорних орбіт, що утворюють родину комети Галлея, також показують, що метеорні рої Оріонід і η -Акварид виникли не в результаті безпосередніх викидів з ядра цієї комети, а свідчать лише про спільне походження обох роїв і комети. Показано, що Оріоніди могли утворитися 13-15 тис. років тому внаслідок ежекції частинок з комети - "сестри" комети Галлея - з великим піввіссю $a=40$ а.о., а η -Аквариди - всього кілька тисячоліть назад з ядра комети з $a=30$ а.о. (на роль такої батьківської комети η -Акварид підходить, наприклад, комета 1006 р.).

Аналогічний висновок одержано для метеорного рою Персеїд і

комети 1862 III. Знайдені нами точки перетину орбіт фотографічних Персеїд, а також точка перетину середньої орбіти ров з орбітою комети розташовані не в перигелії кометної орбіти, а на значній відстані від Сонця (близько 1.5 з.о.). Це означає, що, прийнявши комету 1862 III за БТ Персеїд, необхідно знайти механізм, який би забезпечив на такій відстані від Сонця викиди з її ядра такої кількості матерії, щоб рій зміг зпродовжитися чотири тисячоліть породжувати на Землі щорічний багатий потік Персеїд. Наші розрахунки показують, що цього можна уникнути, виходячи з гіпотези, що рій Персеїд утворився в результаті повної дезінтеграції ядра певної комети, яка разом з кометою 1862 III (а можливо і з іншими кометами) утворилася від розпаду ядра спільної первинної комети. Знайдені нами генетично зв'язані метеорні рої і кілька комет (1864 III, 1870 I, 1907 I) разом з роси Персеїд і кометою Свіфта-Туттля складають один кометно-метеорний комплекс.

Висновки включають основні результати виконаних в дисертації досліджень.

Зміст дисертації та основні результати досить повно викладені в таких роботах:

1. Мусий В.И., Шестака И.С. Дробление метеорных тел во вспышках // Кометы и метеоры. Душанбе: Дониш. 1968. №6. С. 20-23.
2. Шестака И.С. О коэффициентах абляции и максимальном блеске метеора // Астрон. вестник. 1972. N.6, N3. С. 186-194.
3. Исследование световых кривых метеоров. I. Параметры световой кривой / Крамер Е.Н., Шестака И.С., Мусий В.И., Токтогулов М. / Проблемы космич. физики. Киев: Вища школа. 1976. III. С.41-50.
4. Параметры атмосферных траекторий по наблюдениям в Одерсе / Крамер Е.Н., Маркина А.К., Мусий В.И., Шестака И.С. / Деп. виинти. №4502-76. 1976. Часть 2. 32 с.
5. Крамер Е.Н., Мусий В.И., Шестака И.С. Болід 13 августа 1974 г. // Астрон. циркуляр. 1976. №907. С.7-8.
6. Исследование световых кривых метеоров. II. Классификация кривых блеска / Крамер Е.Н., Шестака И.С., Мусий В.И., Токтогулов М. / Проблемы космич. физики. Киев: Вища

- школа. 1977. №12. С.55-59.
7. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Об оценке коэффициентов эффективности излучения метеоров по данным фотографических наблюдений // Астрон. вестник. 1977. Т.11, №4. С. 226-229.
 8. Крайер Е.Н., Тилченко - Островернова Е.А., Шестана И.С. Влияние вековых возмущений на структуру метеорного роя // Астрон. циркуляр. 1978. №67. С.5-7.
 9. Крайер Е.Н., Русий В.И., Шестана И.С. Об одной динамической характеристике кометных орбит. // Астрон. вестн. 1979. Т.13, №1. С.42-49.
 10. Крайер Е.Н., Шестана И.С. О механизме послесвечения ярких метеоров (болидов) // Астрон. вестник. 1979. Т.13, №4. С. 232-242.
 11. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Об одной шкале метеорных масс. I. // Астрон. циркуляр. 1980, №130. С. 7-8.
 12. Крайер Е.Н., Маркина А.К., Шестана И.С. Классификация метеорных тел, порождающих яркие метеоры (болиды) // Астрон. вестник. 1980. Т.14, №4. С. 202-209.
 13. Kraimer E.N., Rusij V.I., Tischenko-Ostrovverkhova E.A., Shestaka I.S. On the probabilities of collision with Earth, and orbital life-time of bodies of asteroidal and cometary origin // In "Solid Particles in the Solar System". Dordrecht- Reidel. 1980. P. 199-204.
 14. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Об одной шкале метеорных масс. II. // Астрон. циркуляр. 1981, №157. С. 5-7.
 15. Крайер Е.Н., Шестана И.С. О "видимом" возрасте метеорных роев // Кометн. циркуляр. 1981. №274. С. 3-4.
 16. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Результаты фотографических наблюдений метеоров по программам МГГ, МГС и МГАС. Каталог. Материалы Мирового центра данных. - М.: ПИК ВИНТИ. 1982. 204 с.
 17. Крайер Е.Н., Шестана И.С. О системе орбит семейства кометы Галлея, η-Аквирид и Оркнид // Кометн. циркуляр. 1983. №302. С. 4-5.
 18. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Космический вес (астрономический фактор замечаемости) метеоров // Пробл. космич. физ. 1983. №6. С. 48-53.
 19. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Метеорная материя в атмосфере Земли и околоземном космическом пространстве. - М.: Наука. 1983. 184 с.
 20. Об оценке масс метеорных тел по фотографическим наблюдениям / Крайер Е.Н., Шестана И.С., Маркина А.К. и др. // Вестн. Киев. ун-та. 1963. №25. С. 53-63.
 21. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Метеорные рой и струйные потоки // Метеорн. исслед. 1984. №11. С. 72-80.
 22. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Возможный механизм формирования короткопериодических метеорных роев // Астрон. вестник. 1984. Т.13, №2. С. 137-144.
 23. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Метеорные рой и струйные потоки // Метеорн. исслед. 1984. №11. С. 72-81.
 24. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Эволюция связки орбит в метеорном рое Геминид // Кинемат. и физ. небес. тел. 1985. Т. 1, №4. С. 73-77.
 25. Крайер Е.Н., Шестана И.С. Возраст метеорного роя Геминид // Астрон. циркуляр. 1985, №342. С. 3-4.
 26. Крайер Е.Н., Шестана И.С., Маркина А.К. Орбиты метеоров по фотографическим наблюдениям 1967-1983. Каталог // Материалы мирового центра данных В. М.: ВИНТИ. 1986.

186 с.

27. Крамер В.Н., Шестако И.С. Возраст, происхождение и эволюция метеорного роя Геминид // Кинемат. и физ. неб. тел. 1986. Т.2, №4. С.81-86.
28. Крамер В.Н., Шестако И.С. Квазистационарные параметры малых тел Солнечной системы. // Астрон. вестник. 1987. Т.21, №1. С.75-83.
29. Крамер В.Н., Шестако И.С. Четыре болида на одной орбите // Кометн. циркуляр. 1988, №313. С. 2-3.
30. Крамер В.Н., Шестако И.С. Система кометно-метеорных орбит семейства кометы Галлея // Кометн. циркуляр. 1988. №385. С. 4-5.
31. Крамер В.Н., Шестако И.С. Случайные начальные условия в методе вычисления вековых возмущений // Письма в АЖ. 1988. Т.14, №7. С.626-630.
32. Крамер В.Н., Шестако И.С. Применение метода вековых возмущений для исследования структуры, происхождения и эволюции метеорных роев // Кинемат. и физ. небеса. тел. 1989. Т.5, №3. С. 60-67.
33. Шестако И.С. Комплекс короткопериодических орбит геминидного типа // Астрон. циркуляр. 1990. №1543. С.33-34.
34. Шестако И.С. Статистическое подтверждение эволюции метеорных роев // Астрон. циркуляр. 1990. №1543. С.35-36.
35. Шестако И.С. О генетических связях Орионид, η -Акварид и кометы Галлея // Тр.2-х Врединки. чтений (в печати).
36. Шестако И.С., Мусий В.И. Еще одна группа генетически связанных комет // Астрон. циркуляр. 1990. №1548. С.31-32.
37. Мусий В.И., Шестако И.С. О дроблении ядра кометы дель Туа -2 // Кометн. циркуляр. 1991. №423. С.5-6.
38. Шестако И.С., Мусий В.И., Маринич А.И. О периодах социалляций аргумента перигелия и эксцентриситета орбит в метеорном рое Геминид // Астрон. циркуляр. 1991. №1551. С. 30-31.
39. Крамер В.Н., Шестако И.С. The method of secular perturbations in the investigations of structure, origin and evolution of meteor swarms // In: Handbook for MAP.
40. Крамер В.Н., Шестако И.С. Связаны ли генетически Геминиды и объект 3200 Фазтон? // Астрон. циркуляр. 1991. №1549. С. 25-26.
41. Крамер В.Н., Шестако И.С. Геминиды и объект 3200 Фазтон // Астрон. вестник. 1992. Т.26, №3. С. 80-90.
42. Возможные метеорные рой, связанные с малой планетой 3200 Фазтон / Горбанев Ю.М., Крамер В.Н., Слободкина Л.Л., Шестако И.С. // Астрон. вестн. 1992. Т.26, №4. С.113-120.
43. Шестако И.С. О скоростях разлета фрагментов кометных ядер // Астрон. вестник. 1992. №26, №5. С. 43-51.
44. Шестако И.С. О существовании генетически связанных кометных групп // Астрон. вестн. 1992. №26, №5. С.52-57.

Список цитованої літератури:

1. Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л. Распределение метеорных тел вблизи орбиты Земли. - М.: Наука. 1981. 187 с.
2. Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Трущаченко В.Г. Метеоры и метеодное вещество. - Киев: Изд. Дум. 1989. 294 с.
3. Кащеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. - М.: Наука. 1967. 165 с.
4. Крамер В.Н., Шестако И.С. Результаты фотографических наб-

- людений по программам МГР, МРСС и МРАС (Каталог). - М.: Наука. 1982. 204 с.
5. Крамер В.Н., Шестина И.С. Метеорная материя в атмосфере Земли и околосолнечном космическом пространстве. - М.: Наука. 1963. 184 с.
 6. Крамер В.Н., Шестина И.С., Марьяна А.К. Орбиты метеоров по фотографическим наблюдениям 1957-1983. Каталог // Материалы мирового центра данных Б. М: ВИНТИ. 1986. 186 с.
 7. Лебединец В.Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. - Л.: Гидрометеиздат. 1980. 248 с.
 8. Лебединец В.Н. О механизме образования метеорных роев на орбитах небольших размеров с очень малыми перигелийными расстояниями // Тр. ИЗМ. 1984. Т14(100). С. 3-9.
 9. Орбиты и численность метеоров по наблюдениям на экваторе: Каталог. Декабрь 1968 - июль 1970 - Материалы мирового центра данных Б. - М.: ВИНТИ. 1975. 167 с.
 10. Результаты радиолокационных наблюдений слабых метеоров. Каталог. Материалы международного центра данных Б. - М.: ВИНТИ. 1977. 232 с.

И. Шестина

464175

АВ 28.369