

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Коломієць Світлана Володимирівна



УДК 528.8

СТРУКТУРА МЕТЕОРНОГО КОМПЛЕКСУ
ВИСОКОЕКСЦЕНТРИЧНИХ ОРБИТ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА
РЕЗУЛЬТАТАМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ
В ХАРКОВІ

05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Волощук Юрій Іванович,
Харківський національний університет радіоелектроніки, науковий керівник науково-дослідної лабораторії радіоастрономії ім. Б.Л. Кащєєва

Офіційні опоненти доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Кисельов Микола Миколайович,
Головна астрономічна обсерваторія НАН України,
завідувач відділу фізики малих небесних тіл

кандидат фізико-математичних наук
Сухов Петро Петрович,
НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова,
старший науковий співробітник

Захист відбудеться «27» жовтня 2015 о 15:00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради - **К 26.062.13** при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м.Київ, проспект Комарова, 1, корпус №3, ауд.3.506, кафедра аерокосмічної геодезії.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м.Київ, проспект Комарова, 1, корпус №8.

Автореферат розісланий « 25 » вересня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої Вченої ради К 26.062.13
доцент, кандидат фізико-математичних наук

 Л.С. Чубко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дисертація присвячена вивченню структури і особливостей малодослідженого орбітального комплексу метеорних тіл з великими значеннями ексцентриситетів ($e > 0,9$), з гіперболічними орбітами включно, за результатами наземного радіолокаційного дистанційного зондування атмосфери Землі на частоті 31,1 МГц в інтервалі висот 70-130 км з оцінкою невизначеностей в динамічних параметрах зареєстрованих метеороїдів. Вивчення метеорної речовини в Сонячній системі і атмосфері Землі отримало значний імпульс свого розвитку у зв'язку з впровадженням дистанційних радіолокаційних методів зондування. Знання про метеори допомагають вивчати космогонію Сонячної системи, запобігати кометно-астероїдно-метеороїдній небезпеці на Землі, вирішувати питання безпеки польотів космічних літальних апаратів (КЛА) в ближньому і далекому космосі. Метеорні сліди використовують як зонди в іоносфері при геофізичних дослідженнях та для радіозв'язку. Метеорна наука займає свої важливі позиції в астрономії, космонавтиці, геофізиці, екології та прикладних науках. Метеори (метеорні явища - світлові та іонізаційні сліди), що спостерігаються при дистанційному зондуванні Земної атмосфери різними методами (фотографічними, оптичними, радіолокаційними та ін.) утворюються в результаті зустрічі Землі з метеорними тілами, що належать переважно Сонячній системі. Метеорні тіла, що мають генетичні зв'язки з кометами і астероїдами і менші їх за розмірами, утворюють потужну хмару метеорної речовини навколо Сонця, яка тягнеться до кордонів геліосфери і далі до міжзоряного простору. Метеори поділяються на спорадичні і поточкові. Метеорні тіла рухаються навколо Сонця по еліптичних орбітах. Форма орбіти визначається значеннями одного з шести параметрів орбіти – ексцентриситету e : для еліптичних орбіт $0 < e < 1$ і чим більше ексцентриситет, тим витягнутіша орбіта. Теоретичні висновки (Stohl, Всехсвятский, Белькович, Landgraf, Wiegert та ін.) і деякі результати спостережень (Baggaley, Brown, Meisel, Кащеев та ін.) вказують на можливість реєстрації в Земній атмосфері метеорних тіл з параболічними ($e = 1$) і гіперболічними ($e > 1$) геліоцентричними орбітами. Комплекс параболічних і гіперболічних метеорних орбіт разом з еліптичними метеорними орбітами, ексцентриситети яких високі ($e > 0,9$) і близькі до одиниці, мало вивчений. Такі високоексцентричні орбіти здавна привертали до себе увагу дослідників, оскільки метеорна речовина на таких орбітах має особливі динамічні властивості, пов'язані з будовою Сонячної системи. Дослідження комплексу метеорних орбіт з великими значеннями ексцентриситету, що досягають і перевищують одиницю, є складною астрономо-кінематичною задачею. Проблема вивчення комплексу метеорних тіл на параболічних і гіперболічних (розімкнутих) орбітах полягає в тому, що недостатньою є кількість зареєстрованих орбіт зазначеного класу, а також має місце низька точність, з якою ці орбіти реєструються. Ситуація ускладнена тим, що за теоретичними висновками метеорів в Земній атмосфері, які мають дійсно реальні гіперболічні (або майже параболічні) геліоцентричні орбіти, реєструється досить мало (~ 1% від загального припливу метеорної речовини в Земну атмосферу). Експериментальні метеорні орбітальні дані забезпечуються класичними наземними дистанційними методами спостереження метеорів в Земній атмосфері: візуально-оптичними, фотографічними та радіолокаційними, а також *in situ* - реєстраціями на КЛА і деякими іншими. Перші зареєстровані орбіти метеорних часток на КЛА «Пі-

онер» 8 та 9 (1967-1968 рр.) були гіперболічними. Існує необхідність зіставлення і стикування метеорних даних, отриманих на КЛА і в атмосфері Землі. З кожним днем створення найбільш повної моделі метеорної речовини в Сонячній системі (бажано з гіперболічною складовою і для різних діапазонів мас) стає все більш нагальною необхідністю. У міжнародних програмах з дослідження космосу, які формують Національне космічне агентство (National Aeronautics and Space Administration, NASA), Європейське космічне агентство (European Space Agency, ESA), Комітет з космічних досліджень (Committee on Space Research, COSPAR), приділена значна увага дослідженню метеорної речовини. Таким чином, вирішення проблеми гіперболічних метеорів в структурі метеорного комплексу високоексцентричних орбіт (разом з вирішенням загальної проблеми інфінітного руху тіл в Сонячній системі) є актуальною науковою задачею. Для вирішення такої задачі необхідне проведення дистанційних аерокосмічних досліджень, пов'язаних з вивченням динамічних властивостей метеорних тіл Сонячної системи. Потрібно накопичення якісних експериментальних даних, які мають достатню статистику, високу точність і є порівняними. Актуальність вивчення високоексцентричних орбіт метеорних тіл зросла додатково з відкриттям великої кількості віддалених об'єктів поясу Койпера в Сонячній системі і планетарних дисків у цілої низки зірок.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Проведені дослідження є складовою частиною держбюджетних науково-дослідних робіт, які виконуються і виконувалися в Харківському національному університеті радіоелектроніки, в тому числі: НДР №287 «Створення технологій побудови багатofункціонального радіотехнічного комплексу для екологічного моніторингу», розділ перший; №287-1 «Розробка моделі розподілу та генетичних зв'язків метеорної речовини навколоземного простору на орбітах з великими значеннями ексцентриситетів» (прикладна, 2014-2015 рр, свідоцтво реєстрації 0114U002697); НДР №253-1 «Дослідження тонкої структури розподілів елементів орбіт малих тіл Сонячної системи (комет, астероїдів і метеороїдов)» (фундаментальна, 2011-2013 рр, свідоцтво реєстрації 0111U002902); НДР №144-1 «Розробка моделі астероїдно-кометно-метеороїдного комплексу ближнього і далекого космосу» (фундаментальна, 2002-2004 рр, свідоцтво реєстрації 0102U001435), а також в рамках міжнародної програми 2007-2009 рр «International Heliophysical Year 2007» за координованою дослідницькою роботою SIP 65" *Meteors in the Earth atmosphere and meteoroids in the Solar System*" та Міжнародної програми дослідження комети Галлея: ІНВ - 1986. В зазначених роботах і програмах дисертант був відповідальним виконавцем та виконавцем.

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи полягає у виявленні у структурі метеорного комплексу Сонячної системи реальних гіперболічних орбіт метеорних тіл з врахуванням особливостей і похибок радіолокаційних вимірювань параметрів метеорів при застосуванні наземного дистанційного зондування атмосфери Землі. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язання таких завдань:

- сформуувати спеціальну базу даних для класу тіл з високими значеннями ексцентриситетів ($e > 0,9$) на основі даних довготривалих радіолокаційних спостережень метеорів в Харкові протягом 1972-1978 років та інших;

- провести аналіз орбітальних елементів і параметрів метеорних тіл відібраного експериментального матеріалу;
- оцінити невизначеність в розрахунках швидкостей, координат радіантів, елементів орбіт та інших параметрів метеорних тіл;
- розробити математичне та програмне забезпечення для оцінки точності і аналізу даних комплексу метеорних тіл на високоексцентричних орбітах;
- побудувати емпіричні моделі для обраних класів метеорних тіл;
- виявити структурні особливості та зв'язки комплексу метеорних тіл на високоексцентричних орбітах, можливі місця утворення метеороїдів на гіперболічних орбітах.

Об'єкт дослідження: структура орбітального метеорного комплексу Сонячної системи.

Предмет дослідження: динамічні властивості метеорних тіл Сонячної системи на сильновитягнутих орбітах за результатами радіолокаційних дистанційних спостережень атмосфери у Харкові.

Методи дослідження: фізико-математичні методи дистанційних аерокосмічних досліджень, методи метеорної радіолокації, методи статистичного аналізу, методи математичного та чисельного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів. При проведенні дослідження отримані наступні нові результати.

Уперше:

- розроблено алгоритм і методику оцінки невизначеностей швидкостей, координат радіантів та інших параметрів орбіт метеорних тіл для радіолокаційних даних метеорної автоматизованої системи МАРС в інтервалі мас $10^{-6} - 10^{-3}$ г з побудовою емпіричної моделі розподілів розрахованих невизначеностей (апробація для граничного гіршого випадку - гіпербол);
- показано, що частину отриманих у Харкові гіперболічних орбіт не можна пояснити похибками спостережень і що принаймні 30% досліджених гіперболічних орбіт за критерієм 2σ можуть бути реальними, що становить 0,8% від загальної кількості орбіт у 1975 році;
- отримано докази на користь реальності зареєстрованих у Харкові гіперболічних метеорних орбіт на підставі аналізу механізмів їх утворення, підвищення точності обчислень та дослідження орбітальних характеристик метеорних тіл;
- розроблено фізико-математичну модель структури метеорного комплексу високоексцентричних орбіт Сонячної системи за експериментальними даними наземного дистанційного радіолокаційного зондування атмосфери у Харкові.

Удосконалено:

- алгоритм вторинної обробки радіолокаційних даних МАРС шляхом додавання в нього розрахункового блоку оцінок невизначеностей і введення більш досконалого виразу обліку тяжіння Землі;
- структурні та орбітальні характеристики метеорних потоків η -Акварид ($e \sim 0,8$) і Оріонід ($e \sim 0,9$) на підставі метеорних радіолокаційних спостережень в період наближення комети Галлея ($e \sim 0,97$) до Сонця у 1986 році;

- визначення відносного розміру гіперболічної орбіти і можливого місця її утворення через використання радіус-векторів вузлів гіперболічної метеорної орбіти у якості характерного параметра при наявності вузлів;
- підхід до пошуку потенційно небезпечних для Землі космічних об'єктів з точки зору кометно-астероїдної загрози з використанням високоексцентричних орбіт метеорних тіл, зокрема, метеорних потоків з афеліями поблизу одиниці.

Набуло подальшого розвитку:

- стан проблеми високоексцентричних метеорів та визначення їх динамічних властивостей

Практичне значення отриманих результатів. Алгоритм розрахунку невизначеностей параметрів метеорних тіл може бути застосований на будь-якому етапі розрахунку орбіт, швидкостей і координат радіантів метеорів для різних методів спостереження метеорів (з незначними модифікаціями і відповідним вибором точки відліку), а також може бути використаний для перевірочних обчислень. Отримані розподіли параметрів метеорних тіл гіперболічних орбіт і оцінки невизначеностей можуть бути використані як харківський експериментальний результат для порівняння аналогічних параметрів, отриманих різними методами при різних умовах або різних завдань. Експериментальні дані по метеорним потокам η -Акварид і Оріонід рекомендуються до використання іншими дослідниками для порівняння зі своїми результатами. Всі результати, отримані в ході цього дисертаційного дослідження, базуються на основі якісних експериментальних даних і в цьому їхня висока практична цінність. Отриманий в дисертації матеріал має значення для розв'язку проблеми гіперболічних метеорів і пошуку міжзоряного компонента, дослідження віддалених та близьких областей Сонячної системи, розробки моделі метеорної речовини в Сонячній системі.

Обґрунтованість і достовірність. Результати роботи обґрунтовані та достовірні, так як для їх отримання використані експериментальні дані, зареєстровані за допомогою відомої харківської метеорної радіолокаційної системи МАРС [29, 34] і неодноразово перевірені при вирішенні інших наукових завдань [28, 35]. Деякі оцінки та статистики дисертаційних досліджень, отримані в 1980-х і 1990-х роках, вже перевірені часом, так як тепер гіперболічні метеори виявлені сучасними радіолокаційними системами і отримані на МАРС дані минулих років узгоджуються з ними. Формули алгоритму розрахунку невизначеностей орбітальних елементів та інших параметрів метеорних тіл, виведені автором самостійно для системи МАРС, узгоджуються з опублікованими формулами для фотографічних [26] і радіолокаційних спостережень [27-28]. Точність радіометоду визначення орбіт і швидкостей метеорних тіл поступається фотографічному методу, але є прийнятною для проведеного дослідження, що підтверджено розрахунками, зіставленням з роботами інших авторів і посиланнями на висновки авторитетних фахівців [27-28].

Особистий внесок автора. Роботи [1, 4, 5, 6, 11, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25] виконані автором самостійно, в роботах зі співавторами дисертант брав повноцінну участь у постановці і вирішенні фізико-математичних задач.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дослідження представлені та доповідалися на наукових конференціях:

- Астрономічна школа молодих вчених. Актуальні проблеми астрономії і космонавтики. Україна, 2013 (Біла церква, 15-17 травня);
- Семінар пам'яті Б.Л.Кащеева, ХНУРЕ, Харків, Україна, 2010. «Метеорні дослідження: наукові та прикладні аспекти» (12 березня);
- 3-й Міжнародний радіоелектронний форум «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку». МРФ'2008. ХНУРЕ, Харків, Україна, 2008, 22-24 жовтня;
- 200th Anniversary of Astronomy in Kharkiv. International conference “The Solar system bodies: from optics to geology”, 2008, Ukraine, Kharkiv, May 26-29;
- 22th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo'2012). Sevastopol, Crimea, Ukraine, 2012, 10-14 September;
- Memorial international conference CAMMAC 2008 (Comets, Asteroids, Meteors, Meteorites, Astrolems, Craters) dedicated to 100-th anniversary of I.S. Astapovich, 2008, Ukraine, Vinnytsia, September 28-October 3;
- Memorial international conference. Astronomy and space physics at Kiev University, devoted to 100-th anniversary of S.K. Vsekhsvyatsky & 160-th anniversary AO of National Taras Shevchenko University of Kyiv, 2005, May 23-26.
- Meteoroids: 2007 (Spain, Barcelona, June 11-15), 2010 (USA, Breckenridge, Colorado, 24-28 May), 2013 (Polska, Poznan, 26-30 August);
- COSPAR 2008 (37th Montreal, Canada, 13-20 July);
- IAU XXVIth General Assembly, S236, Near Earth Objects, our Celestial neighbors: opportunity and risk. Prague, Czech Republic, 2006, August 14-15;
- 13th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of Mesospheric-Stratosphere-Tropospheric Radars (MST13). 2012, Germany, Kuhlungsborn, March 19-23;
- International Conference on atmospheric dust, DUST 2014, 2014, Italy, Castellaneta Marina, 1-6 June.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 25 наукових робіт: 4 статті [1-4] у провідних вітчизняних наукових фахових виданнях у галузі фізико-математичних наук та 5 закордонних [5 - 6, 8- 9, 7- глава книги]; 6 статей [10-15] у додаткових виданнях, 4 доповіді і 6 тез [16-19, 20-25] у матеріалах наукових конференцій (5 публікацій зі списку SCOPUS).

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з переліку умовних позначень, вступу, п'ятих розділів, загальних висновків, списку використаних джерел кількістю 238 найменувань (22 сторінки), одного додатка (7 сторінок), вона містить 48 рисунків, 21 таблицю. Обсяг дисертації складає 165 сторінок, загальний – 194.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертації, поставлена мета роботи і сформульовані завдання, які вирішуються, визначена практична спрямованість і наукова новизна, описана структура роботи і коротко викладено зміст її розділів.

У першому розділі дано огляд загальних і спеціальних відомостей з фізики та динаміки метеорної речовини в атмосфері Землі і в Сонячній системі та з наземного дистанційного радіолокаційного зондування атмосфери Землі, зроблено огляд літератури за тематикою дисертації з виділенням невирішених проблем щодо структури

малодослідженого комплексу метеороїдів в Сонячній системі на орбітах з великими значеннями ексцентриситетів, включаючи ексцентриситети більші одиниці. Коли аналізуються дані наземних спостережень, є обставина, яка полягає у тому, що рух небесних світил і тіл спостерігається з поверхні небесного тіла Землі, що обертається навколо своєї вісі і рухається по одній з орбіт Сонячної системи розміром в ~ 1 а.о., і яка перешкоджає усвідомленню дійсної структури Сонячної системи. Відносно вивчення метеорної речовини спостережні перепони ще більш складні. За даними припливу метеорної речовини з навколосемного простору в атмосферу Землі в діапазоні висот $\sim 70 - 130$ км (в залежності від методу є варіації діапазону висот) необхідно відтворити структуру метеорного комплексу у Сонячній системі, розміри якої сягають 100 000 а.о. і більше (рис.1-2). Тож важливим носієм астрономічної інформації про структуру та еволюцію космосу в масштабах Сонячної системи від Сонця до міжзоряного простору є розподіл метеорної речовини по геліоцентричним орбітам. Структура орбітального простору тіл Сонячної системи є складною (на рис.2 фрагмент). В небесній механіці орбіта - це траєкторія небесного тіла в гравітаційному полі іншого тіла, що має значно більшу масу (планети, комети, астероїда, метеороїда в полі зірки, зокрема, Сонця). Кеплерова орбіта вважається визначеною, якщо відомо 6 орбітальних елементів (ексцентриситет e , велика піввісь a , нахил i , аргумент перигелію ω , довгота висхідного вузла Ω та момент проходження небесного тіла через перигелій T_{II} , який задає прив'язку за часом). У прямокутній системі координат, початок якої збігається з центром мас, траєкторія визначається формою конічного перетину (кола, еліпса, параболи або гіперболи). Фокус орбіти збігається з центром мас системи. За геометричною формою високоексцентричні метеорні орбіти ($e > 0,9$) поділяються на еліптичні, параболічні $e = 1$ і гіперболічні $e > 1$. Розміри замкнених метеорних орбіт визначає велика піввісь і орбіти, які при одному і тому ж ексцентриситеті можуть в значній мірі відрізнятися за розмірами, наприклад, як орбіти комет 1P/Галлея і 2P/Енке (див. рис.2) і навіть в логарифмічному масштабі. Афелій орбіти може вказувати, з якої відстані у просторі усталених колових орбіт Сонячної системи наблизилися до Землі метеороїд, комета або астероїд. Метеорні високоексцентричні орбіти можна структурувати за можливим місцем походження (у вузлах, афелії, тощо), механізмом походження (зіткнень, еруптивним, збурень, міжзоряним), за генетичним зв'язком з батьківськими тілами (з кометами або астероїдами) та за пов'язаністю орбіт між собою (потоків та спорадичні).

Метеорні тіла Сонячної системи, що рухаються по еліптичних орбітах навколо Сонця, при перетині Земної орбіти можуть мати максимальну геліоцентричну швидкість V_{hII} близько 42,1 км/с за розрахунками з інтегралу енергії (1):

$$V_{hII}^2 = k^2 \left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a} \right), \quad (1)$$

де k – стала Гауса, R – радіус-вектор, a – велика піввісь.

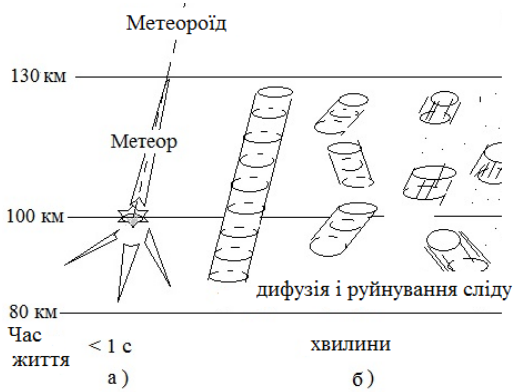


Рис.1 Висота метеорної зони атмосфери Землі (по вертикалі) і фази життя метеорного сліду (по горизонталі)

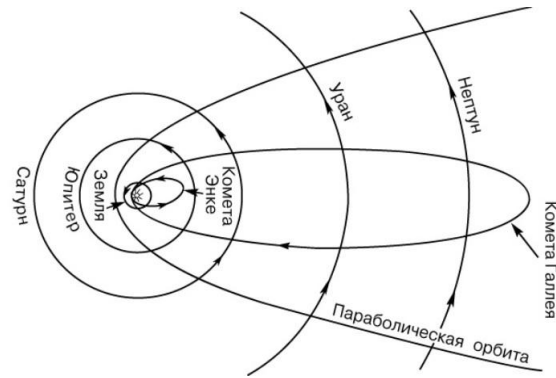


Рис.2 Структура орбітального простору фрагмента Сонячної системи (0-35 а.о.) з колових ($e \sim 0$) та високоексцентричних орбіт небесних тіл ($e > 0,9$, еліптичних, включно з незамкнутою параболічною $e = 1$), афелії комет, а.о: 2P/Енке ~ 4 ; 1P/Галлея ~ 35

Тіло, яке на цій відстані від Сонця буде мати більшу швидкість, покине межі Сонячної системи, рухаючись по параболічній чи гіперболічній орбіті. Внаслідок того, що спостережними наземними методами реєструються метеорні геліоцентричні швидкості більші за вказану, виникає проблема гіперболічних метеорів, як її називають, а точніше проблема гіперболічних орбіт метеороїдів, яка полягає в тому, що орбіти можуть бути реальними, а можуть бути наслідком похибок спостережень, причому процент гіперболічних орбіт більший у радіоданих у порівнянні з найточнішими фотографічними. До сьогодні консенсусу у цьому питанні не винайдено, хоча цей аспект є провідним щодо визначення структури комплексу метеорних високоексцентричних орбіт Сонячної системи (разом з питанням, чи є серед зареєстрованих гіпербол міжзоряна складова), у тому числі, в залежності від маси метеороїдів.

У другому розділі наведені результати з їх обговоренням експериментальних метеорних даних, які покладені в основу дисертаційного дослідження та які отримані наземним дистанційним радіолокаційним методом зондування атмосфери Землі. Наведено параметри метеорної автоматизованої радіолокаційної системи (МАРС), на якій виконувалися експериментальні дослідження в Харкові. Дано зведену таблицю 1, в якій знаходяться відомості про МАРС як орбітальний радар (радіолокаційну систему, що виконує реєстрацію орбіт метеорних тіл) в порівнянні з іншими найбільш відомими в світі метеорними орбітальними радарми: AMOR (the Advanced Meteor Orbit Radar Facility, Нова Зеландія), CMOR (Canadian Meteor Orbit Radar, Канада) і Arecibo MR (Arecibo Meteor Radar, Пуерто-Ріко).

Описано процедуру і надано алгоритм розрахунку швидкостей і координат радіантів метеорів, які реєструються МАРС. Метеорні швидкості і радіанти визначалися з використанням імпульсно-дифракційного методу Девіса [33] (див. рис.3).

Закон амплітудної модуляції відбитого сигналу описується інтегралом дифракції $I(2)$:

$$I = \left(\frac{C^2 + S^2}{2} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

$$\text{де } C = \int_{-\infty}^{x_0} e^{-D_{am}(x-x_0)} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \cdot x^2 dx, \quad S = \int_{-\infty}^{x_0} e^{-D_{am}(x-x_0)} \cdot \cos \frac{\pi}{2} \cdot x^2 dx,$$

$$t = \frac{x \cdot \sqrt{R \cdot \lambda}}{2 \cdot V}, \quad (3)$$

t – час, x – наведена відстань (для прикладу, довжина зони ВД в масштабі $x = F\left(\frac{2}{\sqrt{R \cdot \lambda}}\right)$ дорівнює ~ 0.86 відповідно, рис.3), V – швидкість метеороїда, λ – довжина хвилі передавача, R – похила дальність, D_{am} – параметр, що враховує амбіполяру дифузію.

Таблиця 1. Параметри орбітальних радарів MAPC, CMOR, AMOR, Arecibo MR

Ім'я радара	MAPC	CMOR	AMOR	Arecibo MR
Країна	Україна	Канада	Нова Зеландія	Пуерто-Ріко
Тип радара	Зворотного розсіювання	SkiYMET	Зворотного розсіювання	HPLA некогерентний
Діапазон Δf	VHF	HF/VHF	HF/VHF	UHF
Поле огляду	вузьке	усе небо	вузьке	вузьке
Метод	Дзеркальне відбиття			Недзеркальне відбиття
	Імпульсно-дифракційний	Модифікований імпульсно-дифракційний	Модифікований імпульсно-дифракційний	
Частота f	31,1 МГц	29,85 МГц	26,2 МГц	430 МГц
Місто поблизу дислокації	Харків	Тавісток, Онтаріо	Крайстчерч	Аресібо
Широта сайту	49, ⁰ 417 N	49, ⁰ 264 N	43, ⁰ 6 N	18, ⁰ 344 N
Довгота сайту	36, ⁰ 867 E	80, ⁰ 772 W	172, ⁰ 6 E	66, ⁰ 753 W
Період спостережень	1972 - 1978	2002 - 2004	1995-1999	1997 - 1999, 2002
Реєстрація	Ехо Френеля	Time of Flight	Time of Flight	головне ехо
Запис на носій	паперовий	комп'ютер	комп'ютер	комп'ютер
Зберігання	Ел.форма	Ел.форма	Ел.форма	Ел.форма
Кількість орбіт	~250 000	>1 000 000	~500 000	~50 000
Зор. величина	12^M	8^M	(8-13)^M	
Розмір, мікрон		>100	~40	<20-100
% гіпербол	1-3%	1-10%	1-3%	~2%
σV_h	2 км/с	~5 %	~5 %	
$\sigma e; \sigma E_a$	0,2; 2 ⁰ ,7		~5 %; 2%	
Посилання	[29]	[30]	[31]	[32]

Для вирішення математичної задачі використовується апарат для наближення функцій поліномами, ортогональними на множині точок [34].

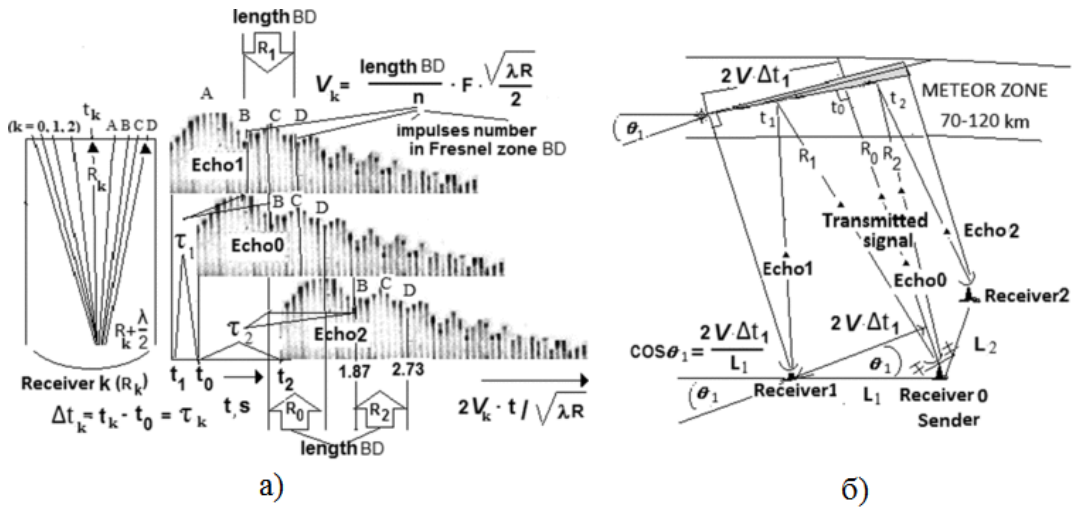


Рис.3. Геометрія дифракції Френеля і методу часової затримки для визначення скалярних швидкостей і радіантів метеорів МАРС

Вибірка значень представляється у вигляді рекурентного співвідношення

$$t_i = t_0 + \Delta t_{10} \cdot \frac{\Delta t_{i0}}{\Delta t_{10}}, \quad (4)$$

де: t_0 - початок відліку, $\Delta t_{i0} = t_i - t_0$. Узагальнюючи формулу (3) отримуємо (5):

$$V_{i,j} = \frac{x_{i,j} \cdot \sqrt{R \cdot \lambda}}{2 \cdot \Delta t_{i,j}}, \quad (5)$$

де: i, j – відповідні номери екстремумів обвідної і зроблено заміну

$$\frac{\Delta t_{i0}}{\Delta t_{10}} = \frac{\Delta x_{i0}}{\Delta x_{10}}. \quad (6)$$

Коли введемо позначення $\frac{\Delta t_{i0}}{\Delta t_{10}} = \delta_{i0}$, $i (1 \div m)$, m - кількість точок на вісі аргументу (кількість зареєстрованих екстремумів), то можемо отримати рішення системи нормальних рівнянь для коефіцієнтів поліному апроксимації. Значення t_0 використовується для розрахунку швидкості метеороїдів із застосуванням всієї наявної інформації про коливання Френеля і з мінімальною середньоквадратичною помилкою. Величини t_i використовується для розрахунку часових зміщень між відображеннями на виходах різних приймачів при визначенні координат радіантів індивідуальних метеорів за методом Девіса [33] (рис. 3). Оскільки початок відліку вибрано довільно, то в якості t_0 можна було взяти будь-який екстремум. Вимірювання похилої дальності до відбиваючої точки сліду R_0 , положення екстремумів і значення часових затримок разом з розрахунком швидкостей і орбіт проводилося в повністю автоматизованому режимі [29,34]. Вихідними даними для розрахунку є час появи метеора T , часові затримки τ_1 , τ_2 між вимірними радіоехо на основному приймачі Receiver 0 і двома виносними пунктами (рис.3): Receiver 1 (довжина бази 4,2 км, астрономічний азимут 214^0) і Receiver 2 (довжина бази 8,4 км, астрономічний азимут 290^0) і середня спостережна швидкість метеороїдів $V = F(V_i)$, де V_i – спостережна швидкість ($i = 1, 2, 3$) для кожного приймача Receiver k , $\kappa = 0, 1, 2$ відповідно). Відомо, що застосовуючи в розрахунках головний максимум амплітудно-часової характеристики, ми

вносимо у значення швидкості значну помилку, обумовлену амбіполярною дифузією. Показано [34], що вплив дифузії і початкового радіуса на похибки отриманої швидкості зводиться до мінімуму, якщо для визначення швидкості не користуватися першим максимумом обвідної. Це важлива умова. Брався перший мінімум обвідної в якості початкового. Для вибору узагальненого параметра Δ амбіполярної дифузії D_{am} були використані рекомендації [34]. Були виключені з розгляду такі радіоехо Френеля, які спотворено турбулентним вітром, спалахами, дробленням і якщо вони були насиченими. Середня швидкість за трьома вимірами розраховувалася з ваговими коефіцієнтами. Якщо довжини баз набагато менші, ніж відстань до точки дзеркального відображення на сліди, кути між базовими лініями і слідом θ_k , $k = 1,2$ можуть бути виведені із системи рівнянь (7). За допомогою (7) визначалися горизонтальні координати метеорного радіанту (азимут A і зенітна відстань Z) (φ_k - кути між базами і напрямом на північ, $k = 1,2$):

$$\cos \theta_k = 2 \cdot V \cdot \tau_k / L_k = -\sin Z \cdot \cos(A - \varphi_k), \quad k=1,2. \quad (7)$$

МАРС цього періоду (таблиця 1, 2) був розроблений у Харківському національному університеті радіоелектроніки. Потужна мегаватна система МАРС забезпечувала високу ефективну чутливість, що означає, що гранична зоряна радіовеличина метеорного спостереження була близька до 12^М.

Концепція ефективної чутливості була введена для МАРС в припущенні, що всі метеори недоущільнені (з лінійною щільністю електронів $\sim 10^{11} \text{e} \cdot \text{m}^{-1}$) і ідеалізовані (без необхідності корекції зсуву вітру тощо), що є дійсним для простої моделі слабких метеорів. МАРС, на

якому було зареєстровано близько 250 тисяч індивідуальних орбіт метеороїдів (по 300-700 орбіт щодня протягом періоду 1972-1978 рр. з масами $10^{-3} - 10^{-6}$ г) з точок зору чутливості і тривалості періоду спостереження, а також деяких інших властивостей астрономічних додатків, має переваги серед інших радарів і сьогодні [35]. Більш ніж 7000 орбіт з $e > 0,8$ були знайдені у даних МАРС (таблиця 2), зокрема, використовувалися вибірки 1975 р. гіпербол - 1350, 640, еліпсів - 533; 1976 р. - 950, 461.

У **третьому розділі** надано опис алгоритму розрахунку невизначеностей параметрів орбітального руху метеороїдів та емпіричної моделі їх розподілу для гіперболічних орбіт. Наведено результати розрахунків, зроблених автором. Швидкість (V) і координати радіанту (азимут A і зенітна відстань Z) знаходяться за формулами (5,7) через вхідні дані (V , τ_1 , τ_2 , t). Для розрахунку орбіт був застосований удосконалений алгоритм на підставі методу Клейбера-Дубяго визначення параметрів орбіт та його модифікацій з чисельними формулами цієї схеми, що в узагальненому вигляді виражає функціональна залежність (8):

$$F(V_h, V_g, q, \omega, i, \Omega, a, e, t) = F(V_0, A, Z, t). \quad (8)$$

Таблиця 2. Статистика по орбітах МАРС

Ексцентриситет	Кількість орбіт	Велика піввісь, а.о
$0,8 < e < 7$	7911	$a > 0, a < 0$
$e > 5$	28	$a < 0$
$7 > e > 5$	15	$a < 0$
$2 > e > 1$	2300	$a < 0$
$1,1 > e > 1$	1102	$a < 0$
$0,9 < e < 1$	5300	$0,4956 < a < 1100$
$0,972 < e < 1,00$	259	$38,0 < a < 1100$

Точність непрямих вимірювань була оцінена шляхом аналізу невизначеностей параметрів з використанням стандартної формули кореня квадратного середньоквадратичної похибки (RMS) - σ (9) в застосуванні до функціональних залежностей (8) схеми розрахунку параметрів орбіт:

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \sigma^2 x_1 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \sigma^2 x_2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \sigma^2 x_n}, \quad (9)$$

де $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

При цьому передбачається, що середньоквадратичні похибки $\sigma x_1, \sigma x_2, \dots, \sigma x_n$, від яких залежить результат опосередкованих вимірювань, малі, а другими похідними функції можна знехтувати в порівнянні з першими похідними.

Метеорні орбітальні дані, зареєстровані за допомогою орбітального радару МАРС, були використані для розробки алгоритму отримання невизначеності орбітальних елементів і деяких інших параметрів метеорних тіл та побудови експериментальної моделі цих невизначеностей. Виведені формули алгоритму та результати розрахунків методу через значний обсяг наведено тут вибірково, невизначеності параметрів досліджуються як їхні середньоквадратичні похибки.

Геоцентрична швидкість V_g та її середньоквадратична похибка σV_g :

$$V_g = V' \cdot \frac{\sin(\psi_E - \Delta s)}{\sin \psi_E}$$

$$\Delta s = \sqrt{(\Delta \alpha \cdot \cos \delta_u)^2 + (\Delta \delta)^2}$$

$$\sigma(\Delta s) = \frac{1}{\Delta s} \cdot \sqrt{(\Delta \alpha)^2 \cdot \cos^4 \delta_u \cdot \sigma^2(\Delta \alpha) + (\Delta \delta)^2 \cdot \sigma^2(\Delta \delta) + (\Delta \alpha)^4 \sin^2 \delta_u \cdot \cos^2 \delta_u \cdot \sigma^2 \delta_u},$$

$$\sigma V_g = \frac{1}{\sin \psi_E} \cdot \sqrt{\sin^2(\psi_E - \Delta s) \cdot \sigma^2 V' + V'^2 \cdot \cos^2(\psi_E - \Delta s) \cdot \sigma^2(\Delta s) + \frac{V'^2 \cdot \sin^2(\Delta s)}{\sin^2 \psi_E} \sigma^2 \psi_E}. \quad (10)$$

Ввели позначення (11)

$$\begin{cases} Q = (V_h/V_t)^2, \\ \cos E'_\odot = \cos \beta' \cos(\lambda' - \lambda_\odot), \end{cases} \quad (11)$$

беручи до уваги (12):

$$Q = \frac{V_h^2 \cdot R}{k^2} = \left(\frac{V_h}{V_{t_0}}\right)^2, \quad \sigma Q = 2 \frac{V_h \cdot R}{k^2} \cdot \sigma V_h, \quad (12)$$

де $V_t = V_{t_0} = 29.76$ км/с, V_{t_0} – кругова швидкість метеорного тіла при $R = a_{\text{Землі}}$, радіус-вектор вузла $R \approx a_{\text{Землі}} \approx 1$ а.о., λ_\odot – довгота Сонця в момент спостереження метеора.

Геліоцентрична швидкість V_h та її середньоквадратична похибка σV_h :

$$V_h = \sqrt{V_g^2 + V_t^2 - 2 \cdot V_g \cdot V_t \cdot \cos E_a},$$

$$\sigma V_h = \frac{1}{V_h} \cdot \left\{ [V_g + V_t \cdot \cos \beta \cdot \cos(\lambda - \lambda_a)]^2 \cdot \sigma^2 V_g + V_g^2 \cdot V_t^2 \cdot \left[\frac{\sin^2 \beta \cdot \cos^2(\lambda - \lambda_a) \cdot \sigma^2 \beta + \cos^2 \beta \cdot \sin^2(\lambda - \lambda_a) \cdot \sigma^2 \lambda}{\cos^2 \beta \cdot \sin^2(\lambda - \lambda_a) \cdot \sigma^2 \lambda} \right] \right\}^{1/2} \quad (13)$$

Нахил метеорної орбіти до площини екліптики i та його середньоквадратична похибка σi :

$$i_{zn} = \arct \left[-\frac{|\operatorname{tg} \beta'|}{\sin(\lambda_{\odot} - \lambda')} \right],$$

$$\begin{cases} i = i_{zn} \text{ нпу } i_{zn} > 0, \\ i = i_{zn} + \pi \text{ нпу } 0 < i_{zn}; \end{cases}$$

$$\sigma i = \frac{|\sin 2i|}{2} \left[\frac{4}{\sin^2 2\beta'} \sigma^2 \beta' + \operatorname{ctg}^2(\lambda' - \lambda_{\odot}) \sigma^2 \lambda' \right]^{1/2}. \quad (14)$$

Аргумент перигелію ω ($0 \leq \omega \leq 2\pi$) та його середньоквадратична похибка $\sigma\omega$:

$$\omega = \begin{cases} \pi - \nu \text{ нпу } \beta' > 0 \\ -\nu \text{ нпу } \beta' < 0 \end{cases},$$

$$\omega = \operatorname{arctg} \frac{Q \cdot \operatorname{tg} E'_{\odot}}{1 + (1 - Q) \cdot \operatorname{tg}^2 E'_{\odot}},$$

$$\sigma\omega = \frac{1}{e^2} \cdot \sqrt{\sin^2 2E'_{\odot} \cdot \sigma^2 Q + [e^2 - (1 - Q)]^2 \cdot \sigma^2 E'_{\odot}}. \quad (15)$$

Ексцентриситет e і його середньоквадратична похибка σe :

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} \text{ при } a > 0$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ при } a < 0,$$

$$e = |c/a|,$$

$$e = \sqrt{1 - Q \cdot (2 - Q) \cdot \sin^2 E'_{\odot}},$$

$$\sigma e = \frac{1}{2ae} \left\{ \sigma^2 p + \frac{\sigma^2 a}{a^2} \right\}^{1/2}, \quad (16)$$

$$\sigma e = \frac{|1 - e^2|}{e} \cdot \left[\frac{(1 - Q)^2}{Q^2 \cdot (2 - Q)^2} \cdot \sigma^2 Q + \operatorname{ctg}^2 E'_{\odot} \cdot \sigma^2 E'_{\odot} \right]^{1/2}. \quad (17)$$

Запропонована модель, математично представлена (8-17), мала такі припущення: початкові похибки в вимірній швидкості є однаковими для усіх випадків і рівні 5%; початкові похибки у часових затримках на обох приймачах рівні 1 мкс. Ми використовували емпіричну модель, отриману на основі експериментальних харківських даних 1967-1971 років, для врахування в швидкості поправки гальмування, яка описана формулою

$$V_0 = 1.0398 \cdot V + 0.65. \quad (18)$$

В роботах [27-28] приведено і прийнято інше співвідношення для врахування поправки гальмування.

Нами отримано експериментальне підтвердження того, що тільки незначна кількість гіперболічних орбіт має занадто великі геоцентричні швидкості (до ~ 90 км/с), в цілому має місце незначне зміщення праворуч (в бік збільшення швидкостей) розподілу метеороїдних швидкостей V_g для гіперболічних орбіт відносно еліптичних орбіт. Зіставлення наших оцінок невизначеностей в динамічних параметрах орбітального руху метеороїдів з оцінками інших дослідників наведено в таблиці 3 (фотографічний метод: 1 - в Одесі та Душанбе для індивідуальних орбіт, 6 - за спостереженням Персеїд в Душанбе; радіолокаційний метод в Харкові: 2 - за спостереженням метеороного потоку Гемініди; 3 - для еліптичних орбіт; 4 - для гіперболічних

орбіт; радіолокаційний метод: 5 - в Обнінську [27], 7 - в Крайстчерч Нової Зеландії на AMOR). Висновки нашої роботи щодо точності вимірювань радіолокаційних даних, зокрема, МАРС, узгоджуються з [28]. Підтверджується, що з ростом e похибка σe не має тенденції надмірного зростання (16), і що в окремих випадках точність МАРС у визначенні параметрів індивідуальних орбіт наближується до точності фотографічного метода.

Таблиця 3. Невизначеності параметрів метеорів за різними даними

	Vg, км/с	σA°	σZ°	$\sigma \alpha^\circ$	$\sigma \delta^\circ$	σe	$\sigma(1/a)$ a.o. ⁻¹	σi°	$\sigma \omega^\circ$
1	0,6	-	-	0,5	0,5	0,052	0,054	2,12	2,46
2	2,0	-	-	2,7	2,4	0,028	0,15	5,6	4,3
3	1,4	-	-	-	-	0,25	0,12	6,6	-
4	2,4	1,8	4,2	-	-	0,205	0,253	7,0	7,6
5	1,6	-	-	2,0	2,0	0,04	0,08	3,0	4,0
6	0,6			0,5	0,05	0,048	0,050	1,78	1,92
7	5%(V _h)							2°	2°

Усі відібрані нами гіперболічні орбіти з $e \geq 1$ ми назвали формально гіперболічними, а ті, для яких ексцентриситет перевищує одиницю за правилом два сигма ($e \geq 1 + 2\sigma e$), - реальними. Вибірково представляємо середні похибки у формальних гіперболічних орбітах разом з похибками для реальних гіперболічних орбіт (в круглих дужках), для радіо еліптичних орбіт за [28] (у квадратних), і для фотографічних еліптичних орбіт (у фігурних): $\bar{\sigma}V_g = 2,4$, [1.5], {0.6} км/с; $\bar{\sigma}Z = 4,2^\circ$; $\bar{\sigma}A = 1,8^\circ$; $\bar{\sigma}V_h = 2.4$ км/с, (2.4 км/с); $\bar{\sigma}e = 0,193$, (0,205), [0,12], { 0,052}; $\bar{\sigma}(a^{-1}) = 0,25$, [0,25], {0,054}; $\bar{\sigma}E_a = 2,7^\circ$; $\bar{\sigma}\beta' = 5,50$, $\bar{\sigma}\lambda' = 3,60$, $\bar{\sigma}\omega = 7,60$, {2,460}, $\bar{\sigma}i = 7,00$, [6,60], { 2,120}. Мінімальні значення були знайдені такого порядку: $\sigma V_g < 1,5$ км/с; $\sigma Z < 0,50$; $\sigma A < 0,50$; $\sigma V_h < 1$ км/с. На Рис.4: а - $N = F(\sigma e)$; б - $\sigma e = f(e)$.

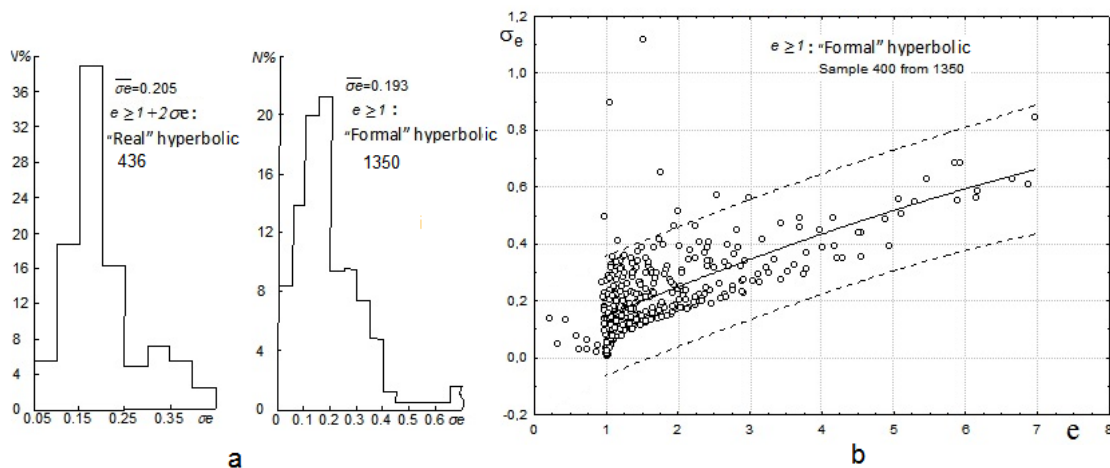


Рис. 4: (а) Гістограми розподілів похибок ексцентриситету σe для метеорних орбіт: 1350 з $e \geq 1$ - формальних і 436 з $e \geq 1 + 2\sigma e$ - реальних, вгорі наведено усереднену похибку. N – кількість орбіт; (б) $\sigma e = f(e)$

Зроблено висновок, що точність визначення параметрів індивідуальних орбіт метеорних тіл на комплексі МАРС достатня для аналізу його спостережного матері-

алу, даних по гіперболічним орбітам. За реальність гіперболічних орбіт відповідають невизначеності в ексцентриситеті. Залежність похибок ексцентриситету від ексцентриситету за даними МАРС представляє рис.4. Відносні помилки σ_e менші 10% (для більшості). 30% досліджених гіперболічних орбіт за критерієм 2σ можна вважати реальними, що склало 0,8 % від загальної кількості в 1975 р.

Четвертий розділ присвячено механізмам утворення гіперболічних орбіт та розподілу параметрів метеорних високоексцентричних орбіт (зокрема, рис.5).

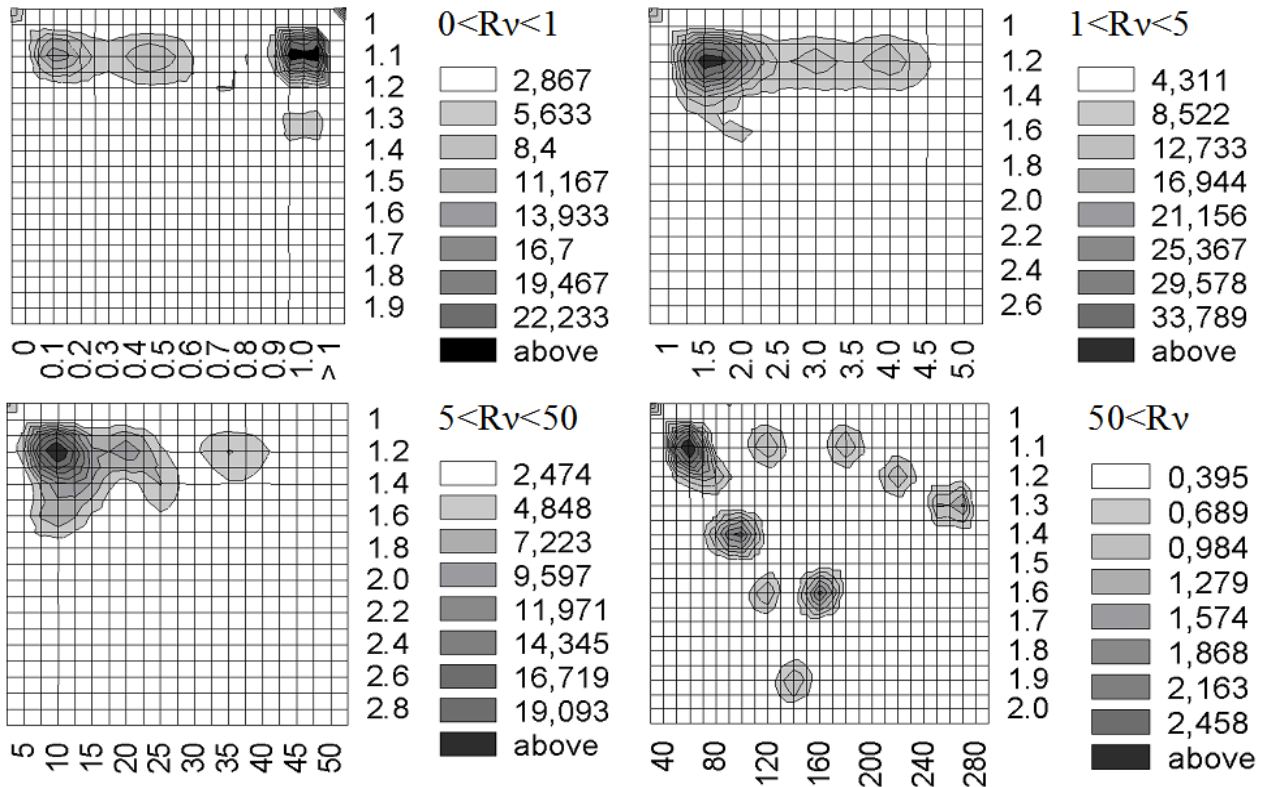


Рис. 5. Розподіли $N = N(R_v, e)$: радіус-вектор спадного вузла метеорної орбіти R_v (вісь x), ексцентриситет e (вісь y), кількість орбіт N (вісь z), тіньові перепади відображають коливання N (R_v : 0-1, $N=106$; 1-5, $N=167$; 5-50, $N=99$; >50 , $N=17$)

За експериментальними даними здійснено перевірку прояву механізмів утворення гіперболічних орбіт в Сонячній системі та з міжзоряного простору. В структурі Сонячної системи орбітальний простір розділено на внутрішню і зовнішню зони. Внутрішня зона Сонячної системи зазвичай поділяється на зону, що всередині земної орбіти (~ 1 а.о.) і ту, що лежить зовні, але обмежена орбітою Юпітера (~ 5 а.о.). У зв'язку з тим, що афелій в гіперболічних орбітах не визначається, автором запропоновано для оцінки відносних розмірів гіперболічних орбіт до їхнього перетину з площею екліптики використовувати радіус-вектори вузлів орбіт, якщо вузли знайдені. Для масиву гіперболічних орбіт з вузлами отримані розподіли R_v по параметрах e, q, ω . Рис.5. демонструє розподіл кількості орбіт N по ексцентриситету e та R_v вибірки метеорної речовини на гіперболічних орбітах : 0 - 1; 1 - 5; 5 - 50; >50 а.о.

Представлені теоретичне обґрунтування та експериментальна перевірка можливості переведення еліптичних метеорних орбіт в гіперболічні орбіти в результаті тісних зближень з планетами. Здійснено моделювання процесу утворення гіперболічних орбіт при огинанні планети метеороїдом на початкових еліптичній та парабо-

лічній орбітах. Було промодельовано падаючий потік метеороїдів, рівномірно розподілений по E_g . Для кожного значення елонгації задавалося три прицільних відстані і розглядалося обгинання планети метеороїдами як з боку апекса, так і антиапекса. Аналіз цих розрахунків дозволив зробити висновки, що будь-яка з планет Сонячної системи здатна трансформувати початкові еліптичні орбіти в гіперболічні. Найбільшою ефективністю перекидання майбутніх гіперболічних орбіт в зону орбіти Землі володіють внутрішні планети. В цьому випадку 100% гіпербол, які лежать в площині екліптики, будуть перетинати орбіту Землі. Метеороїди, що йдуть від внутрішніх планет, можуть фіксуватися практично тільки в денний час доби. Можливо, що харківські спостережні дані розподілу числа орбіт за елонгацією істинного радіанта від Сонця, служать підтвердженням припущення про домінуючу роль внутрішніх планет відносно поставки гіперболічних метеорів на Землю: 68% від усіх змодельованих гіперболічних метеорів можна зареєструвати в денний час доби. З числа зареєстрованих на Землі гіперболічних орбіт, що виникли шляхом трансформації їх початкових орбіт в полі тяжіння планет, основну частку складуть метеороїди Сонячної системи, а не ті, що прийшли із міжзоряного середовища.

Було досліджено структуру метеороїдного комплексу високоексцентричних орбіт МАРС з використанням радіус-векторів висхідного R_Ω і спадного R_N вузлів метеороїдної орбіти. Для переведення форми метеороїдної орбіти з еліптичної в гіперболічну внаслідок збурення від планети мусить виконуватись умова перетину метеороїдної орбіти з орбітою планети і орбітою Землі. Цю умову можна записати з використанням радіус-векторів вузлів метеороїдної орбіти: $R_{N,\Omega} \cong r_p \pm \Delta r_p$,

$$R_{\Omega,N} \cong r_E \cong 1a.e., \pm e \cos \omega = \frac{R-1}{R+1}.$$

Для орбіти тіла Сонячної системи $p = R_{\Omega,N}(1 \pm e \cos \omega)$; $0,558 \leq p < 2$.

Встановимо обмеження на справжню аномалію g : $tg(180 - g_{\max}) = \frac{p}{q}$ и $g \leq g_{\max}$. Тоді

для метеороїдів, що спостерігаються на Землі, $\omega_\Omega \leq g_{\max} \leq 116,6$; $63,4 \leq \omega_N$.

Ми позначимо $\omega_0 = |p-1|$ і введемо наступні обмеження.

Для метеороїдних орбіт, пов'язаних з внутрішніми планетами ($p < 1$): $q \leq R_p$;

$\omega_{\Omega 1} \leq \omega \leq \omega_{\Omega 2}$ (для висхідного вузла Ω : $\omega_{\Omega 1} = 180 - \omega_0$, $\omega_{\Omega 2} = 116,6^\circ$) та

$\omega_{N 1} \leq \omega \leq \omega_{N 2}$ (для спадного вузла \bar{U} , позначення N): $\omega_{N 1} = 63,4^\circ$, $\omega_{N 2} = \omega_0$).

Для метеороїдних орбіт, пов'язаних із зовнішніми планетами ($1 \leq p < 2$): $q \leq 1$;

$\omega_{\Omega 1} \leq \omega \leq \omega_{\Omega 2}$ (для висхідного вузла Ω : $\omega_{\Omega 1} = \omega_0$, $\omega_{\Omega 2} = 116,6$) та

$\omega_{N 1} \leq \omega \leq \omega_{N 2}$ (для спадного вузла \bar{U} (позначення N): $\omega_{N 1} = 63,4$, $\omega_{N 2} = 180 - \omega_0$).

Набір обмежень для конкретної планети наведено в табл.4, яка складена для пошуку орбіт, що утворилися за рахунок зближення з планетами в результаті впливу планет. Пошук дав такі результати. Серед даних 1975 відібрано 1304 орбіти з $e \geq 1$. 63% цих орбіт мають два вузли. Табл.4 підтверджує міграцію досліджуваних частинок до Землі з різних областей Сонячної системи. Використовуючи параметри табл.4, були знайдені метеорні орбіти з вузлом поблизу орбіт: Марса

($R_M \sim 1,52$ а.о.) – 51, Юпітера ($R_J \sim 5,2$ а.о.) – 42, Сатурна ($R_{Sat} \sim 9,5$ а.о.) – 35, Kuiper-Edworth області ($40 < R_{K-Ed} \sim 10000$ а.о.) – 43.

Таблиця 4. Параметри для пошуку вузлів гіпербол, збурених планетами

Планети/ орбіти	R_p , а.о.	p , а.о.	q , а.о.	ω_{V1} , град	ω_{V2} , град	ω_{N1} , град	ω_{N2} , град
Меркурій	0,39	0,558	0,379	116,2	116,6	63,4	63,8
Венера	0,72	0,840	0,420	99,2	116,6	63,4	80,8
Марс	1,52	1,208	0,604	78,0	116,6	63,4	102,0
Астероїди 1	2,2	1,375	0,687	68,0	116,6	63,4	112,0
Астероїди 2	3,6	1,524	0,672	58,4	116,6	63,4	121,6
Юпітер	5,2	1,678	0,839	47,3	116,6	63,4	132,7
Сатурн	9,5	1,810	0,905	35,9	116,6	63,4	144,1
Уран	19,2	1,901	0,950	25,7	116,6	63,4	154,3
Нептун	30,1	1,936	0,968	20,7	116,6	63,4	159,3
Плутон	39,4	1,951	0,975	18,1	116,6	63,4	161,9
Трансплутон	1000	2,000	1,000	0	116,6	63,4	180,0

Розподіли параметрів різних вибірок орбіт МАРС (рис.6 -9) є складовими нашої моделі.

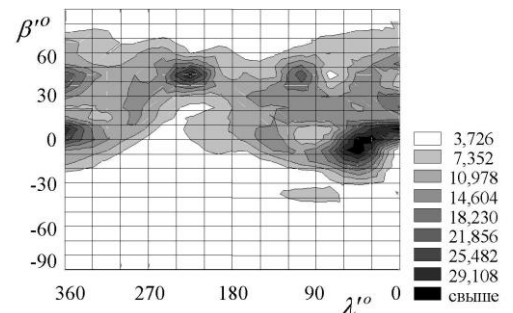
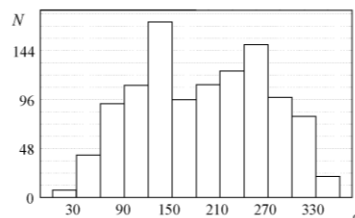
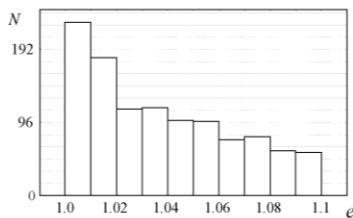
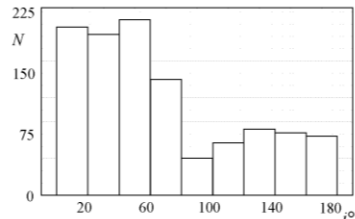
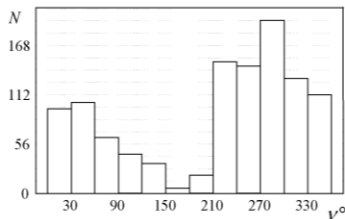
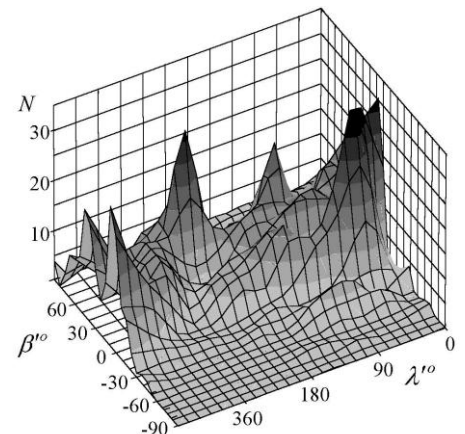
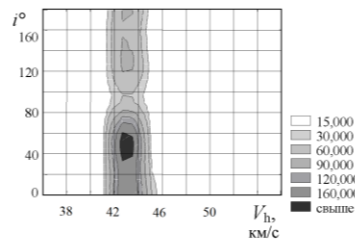
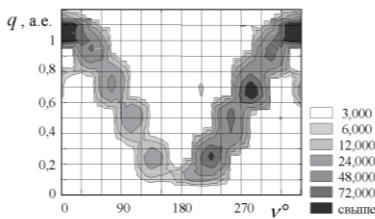


Рис.6 Розподіл 1101 метеорних орбіт з $1 < e < 1,1$ по справжній аномалії ν , геліоцентричній швидкості V_h , ексцентриситету e , нахилу i , аргументу перигелію ω (за даними МАРС)

Рис. 7 Пошук міжзоряних метеороїдів по концентрації до апексу руху Сонця, 1101 орбіт з $1 < e < 1,1$ (за даними МАРС)

Аналогія обліку чинників вибірковості в розподілах орбіт МАРС всіх метеорів і метеорів з гіперболічними орбітами дозволяє використовувати харківські дані без урахування селекції при порівнянні їх між собою.

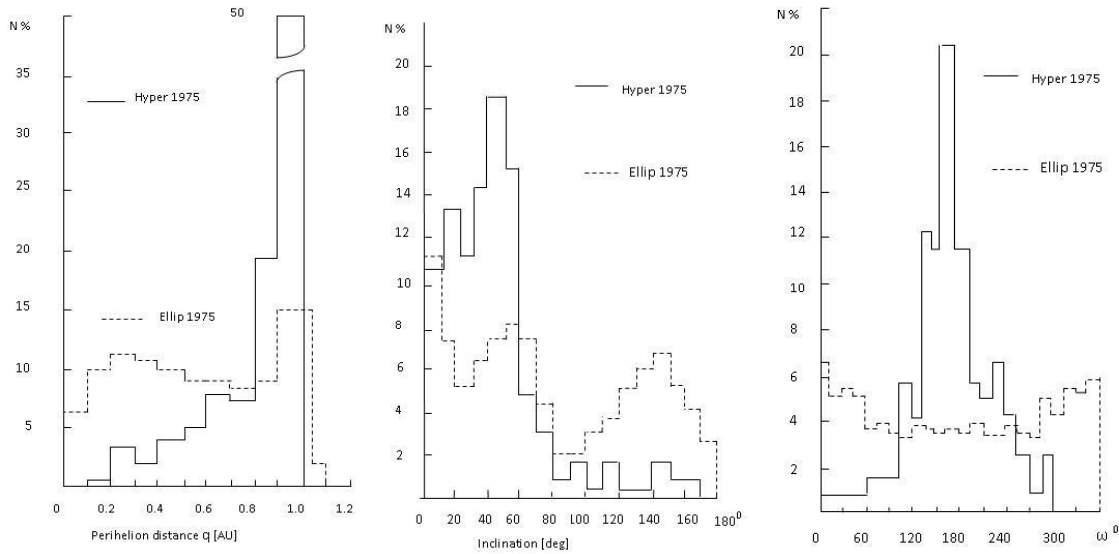


Рис. 8 Розподіли по q, i, ω (зліва направо) 1350 формальних гіперболічних (—) та еліптичних (-----) метеорних орбіт МАРС

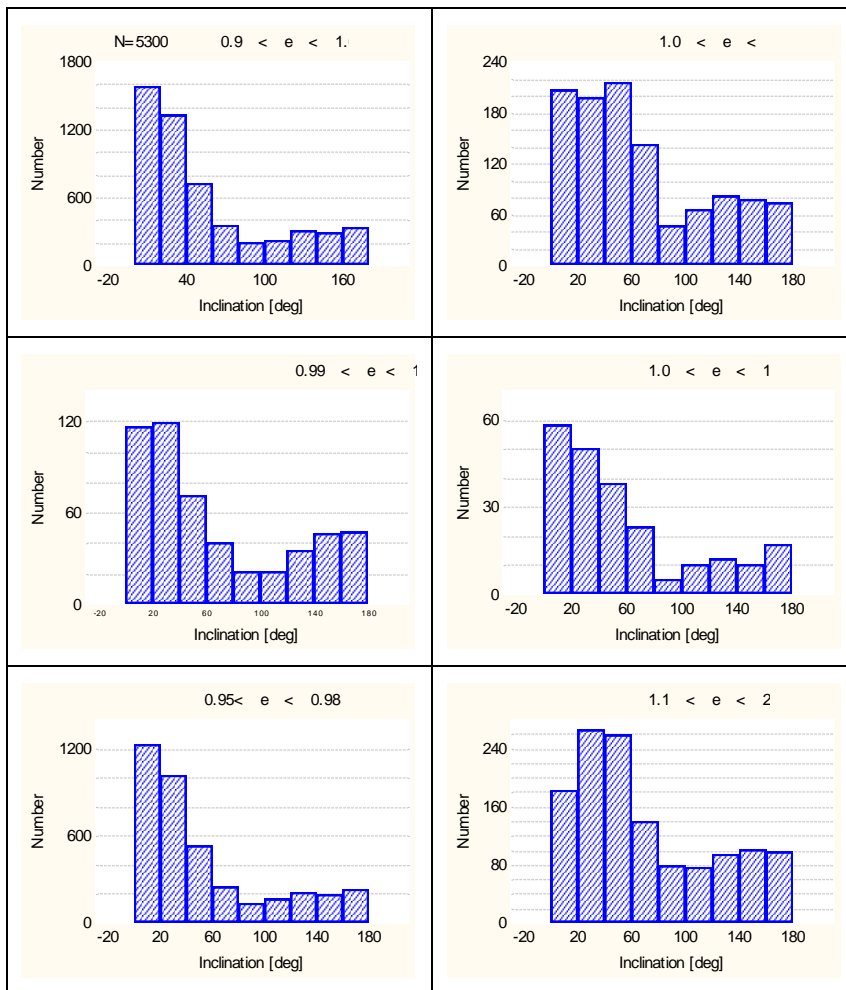


Рис. 9. Емпірична модель для майже параболічних орбіт МАРС. Фрагмент: розподіли i для різних e

Для пошуку моменту зближення тіл (метеороїда і планети, метеороїда і Землі) під час тісного зближення метеороїдної орбіти з орбітами планет був застосований метод Штола. Серед досліджуваного матеріалу результатів радіолокаційних спостережень у Харкові нами знайдені гіперболічні орбіти метеороїдів та їх орбітальні параметри, які були утворені за рахунок планетних збурень: Марса (чотири з 51), Юпітера (три з 42) і Сатурна (дві з 35).

За оцінками Всесвятського міжзор'яні метеори повинні спостерігатися практично щодня і мати $e \gg 1$. За іншими оцінками (наприклад, Бельковича і Потапова) навпаки, ексцентриситети гравітаційно сфокусованих міжзор'яних орбіт

мають бути сконцентровані до одиниці. Орбіти, які стали гіперболічними через збурення від зближень з планетами, будуть мати ексцентриситети $e \sim 1$. Можливим механізмом походження гіперболічних метеорів з $V_h > 57$ км/с може бути зіткнення астероїдів. Міжзор'яні метеори можна шукати по датах «до і після 21 березня» серед гіперболічних орбіт з $e \sim 1,1$. Представлено результати пошуку міжзор'яних метеорів з кінематичної точки зору по концентрації радіантів до апексу руху Сонця ($\lambda=272^\circ$, $\beta=57,5^\circ$), перигелійних напрямків метеорних орбіт відносно небесно-механічного напрямку $\lambda_\pi = 246^\circ$, $\beta_\pi = 66^\circ$ при захопленні довгоперіодичних комет.

У п'ятому розділі проаналізовано масив метеорних високоексцентричних орбіт значного ($Q \sim 35$ а.о.) та малого ($Q \sim 1$ а.о.) розмірів бази даних ХНУРЕ з точки зору структури метеорного комплексу за генетичними зв'язками метеороїдів з кометними комплексами, зокрема, комети Галлея та кометами, які "дряпають Сонце", також з метеорно-астероїдним комплексом Ексцентрид, до якого входять метеорити та потенційно небезпечні астероїди (PHA/NEA), що близько підходять до орбіти Землі.

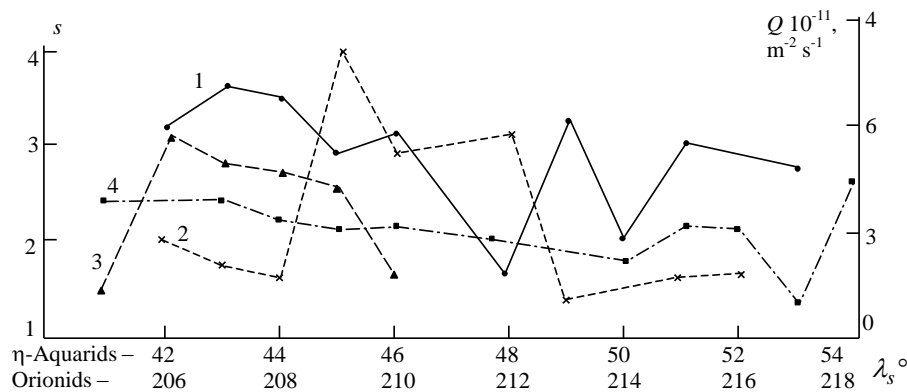


Рис. 10. Залежність параметра s і щільності потоку Q від довготи Сонця λ_s для η -Акварид (s - №1, Q - №2) і Оріонід (s - №3, Q - №4)

Таблиця 5. Параметри 12 потоків типу Ексцентрид

N_2	N_3	M_s	e	i	q	Q
11	855	7	0,983	32,5	0,008	0,99
15	1167	10	0,998	172,9	0,001	1,02
16	3621	10	0,914	148,2	0,045	1,00
24	2807	13	0,958	163,3	0,022	1,02
31	313	13	0,943	41,4	0,029	1,00
36	4333	21	0,906	137,7	0,049	0,99
42	3175	18	0,923	160,2	0,041	1,03
45	3155	13	0,966	110,2	0,018	1,01
51	4123	8	0,943	159,1	0,030	1,03
62	3981	13	0,935	77,1	0,034	1,00
65	2596	7	0,996	155,2	0,002	1,04
98	3530	9	0,910	27,4	0,049	1,04

Структура метеорних потоків комети Галлея досліджувалася за результатами вимірювання чисельності метеорів на двох рівнях чутливості. Коли мінімальна гранична маса M^* і параметр s були знайдені ($s=1,65$ для обох потоків), розраховувалася щільність потоку метеорів з масою більше заданої $M \geq M_1$:

$$\frac{Q_0(M^*)}{Q_1(M_1)} = \left(\frac{M_1}{M^*} \right)^{s-1}$$

При визначенні щільності потоку чисельності метеорів $Q(M^*) = N(t) / S_{ep}(t)$ було ви-

користано властивості заздалегідь розрахованого графіка геометричного фактору селективності МАРС - ефективної збираючої поверхні МАРС $S_{ef}(t_A, \delta)$. Для другого амплітудного рівня (6,4 мкВ) і потужності передавача 390 кВт, $\alpha_{min} = 9 \cdot 10^9 \text{ см}^{-1}$ ($H = 97 \text{ км}$ для $V = 65 \text{ км/сек.}$). Це значення відповідає мінімально зареєстрованій масі $M^* \sim 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ г}$ відповідно до радіометеорної шкали. Отримані орбітальні параметри потоків комети Галлея. У таблиці 6 наведено параметри 12 потоків типу Ексцентрид з ХНУРЕ каталогу 5160 [35] (потоки з $e > 0.9$ з найбільшою ймовірністю зустрічі з Землею): N_2 – номер списку найбільш небезпечних потоків, N_3 – номер каталогу [35], M_s – кількість членів, e - ексцентриситет, i - нахил, q - перигелійна відстань, Q – афелійна відстань.

У **висновках** сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

У **додатку** розміщено вибіркового каталог метеорних гіперболічних орбіт МАРС с розрахованими невизначеностями параметрів.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і розв'язано наукову задачу про структуру і властивості метеорного комплексу високоексцентричних орбіт тіл Сонячної системи за експериментальними результатами дистанційного радіолокаційного зондування атмосфери в Харкові. В роботі доведено, що структуру комплексу високоексцентричних орбіт метеорних тіл Сонячної системи за експериментальними даними наземного дистанційного радіолокаційного зондування атмосфери в Харкові можна аналізувати на предмет присутності реальних гіперболічних орбіт з урахуванням оцінок невизначеності динамічних параметрів метеорних тіл МАРС. Зроблено висновок про те, що частину отриманих в Харкові гіперболічних орбіт не можна пояснити помилками спостережень і що, принаймні, 30% досліджених гіперболічних орбіт за критерієм два сигма ($e \geq 1 + 2\sigma e$) можна вважати реальними, що склало 0,8 % від загальної кількості в 1975 р.

При розв'язанні основної задачі дисертаційної роботи отримано наступні наукові й практичні результати.

1. Розроблено методику і побудовано алгоритм оцінки невизначеностей швидкостей, координат радіантів і параметрів орбіт метеорних тіл для метеорної автоматизованої системи МАРС.

2. Створено електронну базу даних і вибіркового каталог метеорних орбіт з великими значеннями ексцентриситетів за результатами радіолокаційних спостережень 1972-1978 рр. у Харкові для метеороїдів інтервалу мас $10^{-6} - 10^{-3} \text{ г}$.

3. Обчислені невизначеності і побудовано експериментальну емпіричну модель розподілу невизначеностей для швидкостей, координат радіантів і орбітальних елементів метеорів МАРС (апробація для гранично найгіршого випадку - гіпербол).

4. Отримано розподіли для параметрів метеорних тіл на гіперболічних і майже параболічних орбітах і проведено їх порівняння з аналогічними розподілами для еліптичних орбіт за даними наземного дистанційного радіолокаційного зондування атмосфери та розроблено емпіричну модель розподілу орбітальних характеристик метеорних тіл з ексцентриситетом поблизу одиниці.

5. Отримано докази на користь реальності метеорних гіперболічних орбіт при дослідженні механізмів походження гіперболічних орбіт, підвищення точності обчислень, аналізу орбітальних елементів.

6. Запропоновано та використано радіус-вектор вузлів гіперболічної метеорної орбіти в якості характерного параметра для визначення відносного розміру гіперболічної орбіти та можливого місця її утворення, зокрема, від збурення планет.

7. Виявлено структурні та отримано орбітальні характеристики високоексцентричних метеорних потоків η -Акварид і Оріонід зі значно віддаленими афеліями ($Q \sim 35,0$ а.о), які пов'язанні з кометою 1P/Галлея, та виділено з каталогу ХНУРЕ 12 високоексцентричних метеорних потоків на малих орбітах ($Q \sim 1,1$ а.о), батьківські тіла яких невідомі, проте є небезпечними з точки зору кометно-астероїдної загрози для Землі.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коломієць С. В. Каталог 67 гіперболічних орбіт метеорних тіл за архівними даними радіолокаційних спостережень в Харкові / С. В. Коломієць // Вісник астрономічної школи. – 2014. – Т. 2, № 1–2. – С. 123–127.
2. Коломиец С. В. Погрешности определения орбит метеорных тел и проблема гиперболических метеоров / С. В. Коломиец, Ю. В. Черкас // Радиотехника. – Харьков, 2010. – Вып. 160. – С. 145–149.
3. Кащеев Б. Л. Обнаружение межзвездных частиц и критерии отбора метеорных потоков / Б. Л. Кащеев, С. В. Коломиец // Радиотехника. – Харьков, 2002. – Вып. 130. – С. 56–61.
4. Kolomiyets S. V. Search for interstellar meteoroids / S. V. Kolomiyets // Kinematics and physics of celestial bodies. Supplement. – 2000. – № 3. – P. 277–282.
5. Kolomiyets S. V. Uncertainties in MARS Meteor Orbit Radar Data / S. V. Kolomiyets // Journal Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2015. – Vol. 124, March. – P. 21–29.
6. Kolomiyets S. V. Distribution of orbital elements for meteoroids on near parabolic orbits according radar observation data / S. V. Kolomiyets // Proceedings of the Meteoroids 2010 Conference, May 24 –28, 2010, Breckenridge, Colorado, USA. – Huntsville, Alabama, 2011. – P. 88 –105. – (NASA/CP–2011–216469).
7. Kolomiyets S. V. Complex of Meteoroid orbits with eccentricities near 1 and higher / S. V. Kolomiyets, B. L. Kashcheyev // Modern meteor science. An interdisciplinary view / ed. R. Hawkes, I. Mann, P. Brown. – Springer, 2005. – P. 229–235.
8. Kashcheyev B. L. Interstellar particle detection and selection criteria of meteor streams / B. L. Kashcheyev, S. V. Kolomiyets // Proceedings of the Meteoroids Conference, August 6–10, 2001, Swedish Institute for Space Physics, Kiruna, Sweden (ESA-SP 495). – Noordwijk, Netherlands : ESA Publication Division, 2001. – P. 643–650.
9. Kolomiyets S. V. Determination of the structure of meteor showers from radar observations / S. V. Kolomiyets, I. A. Milyutchenko // Solar System Research. – 1995. – Vol. 29, № 4. – P. 318–322. – Translated from *Astronomicheskii Vestnik*. – 1995. – Vol. 29, № 4. – P. 367–372.

10. Кашцев Б. Л. Противоречие проблемы гиперболических метеоров / Б. Л. Кашцев, Г. В. Андреев, С. В. Коломиец // Метеорные исследования. – 1987. – № 13. – С. 93–104.
11. Коломиец С. В. Изменение рассчитанной формы орбит метеорных тел в зависимости от точности вычислений / С. В. Коломиец // Метеорные исследования. – 1986. – № 12. – С. 75–86.
12. Ткачук А. А. Распределение угловых элементов почти параболических и гиперболических орбит метеорных тел / А. А. Ткачук, С. В. Коломиец // Метеорные исследования. – 1985. – № 10. – С. 67–74.
13. Кашцев Б. Л. Статистика перигельных направлений почти параболических и гиперболических орбит метеорных тел / Б. Л. Кашцев, С. В. Коломиец // Метеорные исследования. – 1984. – № 11. – С. 81–88.
14. Кашцев Б. Л. О проблеме гиперболических метеоров / Б. Л. Кашцев, А. А. Ткачук, С. В. Коломиец // Проблемы космической физики. – 1982. – № 17. – С. 3–15.
15. Ткачук А. А. Области видимости метеорных радиантов / А. А. Ткачук, С. В. Маценко (С. В. Коломиец) // Метеорные исследования. – 1981. – № 7. – С. 63–73.
16. Коломиец С. В. К проблеме метеорных орбит с большими значениями эксцентриситетов при радиолокационных наблюдениях / С. В. Коломиец // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития (МРФ'2005) : сб. науч. тр. 2-го Междунар. радиоэлектронного форума, 19–23 сент. 2005 г. – Харьков : ХНУРЭ, 2005. – Т. 1. – С. 224–227.
17. Kolomiyets S. V. Structure of the meteoroids complex with about parabolic and hyperbolic orbits near the Earth, according to data the KHURE catalogue / S. V. Kolomiyets // Proceedings of the International Conference on Asteroids, Comets, Meteors (ACM 2002), July 29 – August 2, 2002, Berlin, Germany. – Noordwijk, Netherlands : ESA Publications Division, 2002. – P. 237–239.
18. Meteors streams associated with the P/Halley comet: the structure from the Kharkiv radar observations / S. V. Kolomiyets, Yu. I. Voloshchuk, B. L. Kashcheyev, I. A. Milutchenko // Proceedings of the International Conference on Asteroids, Comets, Meteors (ACM 2002), July 29 – August 2, 2002, Berlin, Germany. – Noordwijk, Netherlands : ESA Publications Division, 2002. – P. 241–244.
19. Коломиец С. В. Харьковская метеорная автоматизированная радиолокационная система МАРС: историческое значение в радиоастрономии / С. В. Коломиец // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. КрыМиКо'2012 = Microwave & Telecommunication Technology. CriMiCo'2012 : материалы 22-й Междунар. Крым. конф., 10–14 сент. 2012 г., Севастополь, Крым, Украина. – Севастополь ; Москва ; Киев ; Минск : Вебер, 2012. – С. 46–47.
20. Kolomiyets S. V. Catalogue of meteoroid orbits with large eccentricities from the KhNURE database of radar observations in Kharkiv [Electronic resource] / S. V. Kolomiyets, Yu. I. Voloshchuk // The Conference Program and Abstract book of the International Conference Meteoroids 2013, Poznań, Poland, August 26–30, 2013. – P. 093. – Mode of access : [www. URL](http://www.url):

http://www.astro.amu.edu.pl/Meteoroids2013/main_content/data/abstracts.pdf. – Title from the screen.

21. Kolomiyets S. V. Meteoroids in the Earth atmosphere: model for highly eccentricity Solar system orbits / S. V. Kolomiyets // Book of Abstracts of the International Conference on Atmospheric Dust, DUST 2014, Castellaneta Marina, Italy. – Bari : Digilabs Pub., 2014. – P. 483.

22. Kolomiyets S. V. Orbit complex of meteor bodies with great values of eccentricities in the system of small bodies of the Solar system / S. V. Kolomiyets // Proceedings of the International conference «The Solar system bodies: from optics to geology», May 26–29, 2008, Kharkiv, Ukraine. – Kharkiv, 2008. – P. 65.

23. Коломиец С. В. Выборочный каталог гиперболических орбит метеорных тел по результатам наземных радиолокационных наблюдений в Харькове / С. В. Коломиец // Астрономічна школа молодих вчених : матеріали XV Міжнар. наук. конф., 15–17 трав. 2013 р., Біла Церква, Україна. – Київ ; Біла Церква, 2013. – С. 31–32.

24. Kolomiyets S. V. Meteor astronomy: history and future trends / S. V. Kolomiyets // Programme and Book of Abstracts of the Memorial international conference CAMMAC 2008 (Comets, Asteroids, Meteors, Meteorites, Astroblemes, Craters) dedicated to 100-th anniversary of I. S. Astapovich, September 28 – October 3, 2008, Vinnytsia, Ukraine. – Vinnytsia, 2008. – P. 71.

25. Kolomiyets S. Heliophysical problems of meteor discipline / S. Kolomiyets // Abstracts of the 37th COSPAR Scientific Assembly, July 13–20, 2008, Montreal, Canada. – Montreal, 2008. – P. 1570.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

26. Бабаджанов П. Б. Фотографические наблюдения Персеид / П. Б. Бабаджанов // Бюллетень института астрофизики АН Таджикской ССР. – Сталинабад, 1958. – № 26. – С. 13–20.

27. Лебединец В. Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры / В. Н. Лебединец. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. – 247 с.

28. Волощук Ю. И. Метеоры и метеорное вещество / Ю. И. Волощук, Б. Л. Кашеев, В. Г. Кручиненко ; АН УССР, Главная астрономическая обсерватория. – Киев : Наук. думка, 1989. – 296 с.

29. Метеорная автоматизированная радиолокационная система / Б. Л. Кашеев, Ю. И. Волощук, А. А. Ткачук и др. // Метеорные исследования. – 1977. – № 4. – С. 11–61.

30. The Canadian Meteor Orbit Radar: system overview and preliminary results / J. Jones, P. Brown, K. J. Ellis et al. // Planetary and Space Science. – 2005. – Vol. 53, № 4. – P. 413–421.

31. The Advanced Meteor Orbit Radar Facility – AMOR / J. W. Baggaley, R. G. T. Bennett, D. I. Steel, A. D. Taylor // Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society. – 1994. – Vol. 35, № 3. – P. 293–320.

32. Meisel D. D. Extrasolar micrometeors radiating from the vicinity of the local interstellar bubble / D. D. Meisel, D. Janches, D. Mathew // *Astrophysical Journal*. – 2002. – Vol. 567, № 1. – P. 323–341.
33. Кащеев Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли / Б. Л. Кащеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. – Москва : Наука, 1967. – 260 с.
34. Дьяков А. А. Определение скорости метеора с минимальной среднеквадратической ошибкой / А. А. Дьяков, Б. Л. Кащеев // *Астрономический вестник*. – 1972. – Т. 6, № 2. – С. 99–103.
35. Волощук Ю. И. Метеорные потоки и ассоциации, выявленные по результатам многолетних радиолокационных наблюдений метеоров в Харькове / Ю. И. Волощук, Д. Ю. Горелов ; под ред. Ю. И. Волощука. – Харьков : НТМТ, 2011. – 383 с.

АНОТАЦІЯ

Коломієць С.В. Структура метеорного комплексу високоексцентричних орбіт Сонячної системи за результатами радіолокаційного зондування атмосфери в Харкові. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 05.07.12 - дистанційні аерокосмічні дослідження (фізико-математичні науки). - Національний авіаційний університет, Київ, 2015.

У дисертації представлено вирішення актуальної наукової задачі про структуру метеорного орбітального комплексу з великими значеннями ексцентриситетів поблизу одиниці.

Основний результат роботи полягає в тому, що досліджено структуру маловивченого комплексу високоексцентричних орбіт метеорних тіл і виявлено особливості розподілу параметрів таких орбіт на основі експериментального матеріалу радіолокаційного зондування атмосфери в Харкові. За розробленим алгоритмом розрахунку невизначеностей параметрів орбітального руху метеорних тіл та їх оцінками знайдено, що близько 30% досліджених гіперболічних орбіт метеорних тіл не можуть бути пояснені помилками і можуть вважатися реальними (0,8% від загальної кількості орбіт). Досліджено механізми утворення таких орбіт. Надано окремі моделі комплексу. Обговорено структуру метеорних потоків комети Галлея і Ексцентрид.

Практична цінність в тому, що нові знання отримані на основі якісних експериментальних даних. Результати дисертації важливі при вирішенні проблеми гіперболічних метеорів і загальної проблеми інфінітного руху тіл в планетарних дисках зірок, при розробці моделей метеорної речовини, для космічних досліджень.

Ключові слова: метеор, метеорна радіолокація, метеороїд, метеорні орбіти, проблема гіперболічних метеорів, високоексцентричні орбіти.

АННОТАЦИЯ

Коломиец С.В. Структура метеорного комплекса высокоэксцентричных орбит Солнечной системы по результатам радиолокационного зондирования атмосферы в Харькове. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.07.12 – дистанционные аэрокосмические исследования. – Национальный авиационный университет, Киев, 2015.

В диссертационной работе представлено решение актуальной научной задачи относительно структуры и особенностей метеорного орбитального комплекса с большими значениями эксцентриситетов вблизи единицы, являющейся частью общей проблемы инфинитности движения в Солнечной системе.

Основной результат работы состоит в том, что с использованием обширного (около 250 тысяч орбит) экспериментального материала радиолокационного зондирования атмосферы в Харькове в 1972-1978 гг. исследован малоизученный комплекс высокоэксцентричных орбит метеорных тел с $e \geq 0,9$ (включительно с $e \geq 1$, которые составляют 2-3 % от общего числа орбит) и выявлены особенности распределения параметров таких орбит. Предложены эмпирические модели распределения параметров орбит для метеорных тел с эксцентриситетом вблизи 1 и их неопределенностей. На основе созданного алгоритма расчета и оценок неопределенностей скоростей, орбитальных элементов и других параметров метеорных тел найдено, что около 30% исследованных гиперболических орбит метеорных тел не могут быть объяснены ошибками определения их орбит и могут считаться реальными (что составило около 0,8 % от числа всех зарегистрированных орбит). Предложено использовать радиус-вектор восходящего или нисходящего узлов орбит для оценки размера гиперболической метеорной орбиты и места ее возможного происхождения, а также структурировать гиперболические орбиты в зависимости от механизма их возможного образования. Информация о структуре метеорных потоков кометы Галлея и их орбитальные данные рассчитаны по результатам радиолокационных данных 1984-1988 гг. Показано, что сведения о метеорных потоках на высокоэксцентричных орбитах малых размеров (тип -Эксцентриды) могут быть полезны в решении проблемы защиты Земли от кометно-астероидно-метеороидной опасности.

Практическая ценность работы состоит в том, что выводы относительно малоизученного класса метеорных тел на высокоэксцентричных орбитах получены на основе качественных экспериментальных данных. Результаты диссертации являются важным этапом в поиске решения проблемы гиперболических метеоров, определения вклада межзвездного метеороидного компонента, исследовании различных областей Солнечной системы как "царапающих Солнце", так и удаленных до пояса Койпера и дальше, разработке модели метеорного вещества в Солнечной системе и решения общей проблемы инфинитности движения в планетарных дисках отдельных звезд и звездных систем, исходя из задач дистанционных аэрокосмических исследований.

Ключевые слова: метеор, метеорная радиолокация, метеороид, метеорные орбиты, проблема гиперболических метеоров, высокоэксцентрические орбиты.

ABSTRACT

Kolomiyets S.V. The structure of the meteor complex of high eccentric orbits of the Solar system on the results of the radar sensing of the atmosphere in Kharkiv. - Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, spe-

cialty 05.07.12 - Remote Aerospace Researches. - National Aviation University, Kyiv, 2015.

The thesis presents the solution of the actual scientific problem as to the structure of a meteor orbital complex with large eccentricities near the unit.

The main result is that the research of the following areas was done:

- the structure of an insufficiently explored complex of high eccentric orbits of meteoroids;
- the peculiarities of the distribution parameters of the orbit on the basis of experimental data of radar sensing of atmosphere in Kharkiv.

The algorithm for calculating the uncertainty of the parameters of the orbital motion of meteoroids was created. We revised our estimations and found out that about 30% of the studied hyperbolic orbits of meteoroids cannot be explained by errors. Such orbits can be considered as real ones (0.8% of the total number of orbits). The mechanisms of formation of these orbits were presented. Some models of the complex are presented. We have discussed the structure of meteor showers of the Halley comet and Eccentrids.

Keywords: meteor, meteor radar, meteoroid, meteor orbits, the problem of hyperbolic meteors, high eccentric orbits.