

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ

На правах рукопису

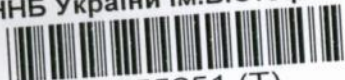
Білоус Леонтій Максимович

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ КОМЕТ З ВРАХУВАННЯМ
ПЛАНЕТНИХ ЗБУРЕНЬ І ДІЇ НЕГРАВІТАЦІЙНИХ СИЛ

Спеціальність 01.03.01 -
Астрометрія та небесна механіка

Робота на здобуття вченого ступеня доктора фізико-математичних наук у формі наукової доповіді, яка одночасно виховує функцію автореферату

Київ - 1995



00755651 (Т)

Робота виконувалась в Житомирському державному педагогічному інституті ім. І. Франка, в Північно-Західному заочному політехнічному інституті та в Житомирському вищому училищі радіелектроніки ППО.

Офіційні опоненти:

член-кореспондент Російської Академії Наук,
доктор фізико-математичних наук В. К. Абалакін
(ГАО РАН, Санкт-Петербург);
доктор фізико-математичних наук К. І. Чурюмов
(АО Київського національного університету ім. Тараса
Шевченка);
доктор фізико-математичних наук Л. М. Шульман
(ГАО НАН України, Київ).

Провідна організація Одеський університет ім. І. Мечнікова

Захист відбудеться *27 лютого 1995р* в Великому конференцзалі Головної астрономічної обсерваторії НАН України на засіданні Спеціалізованої ради по присудженню вченого ступеня доктора фізико-математичних наук в Головній астрономічній обсерваторії Національної Академії Наук України за адресою: 252650, Київ - 22, Голосієво, ГАО НАН України, тел. 266-08-69. Початок засідання о 12 годині.

З доповіддю, яка виконує одночасно функції автореферату, можна ознайомитись в бібліотеці ГАО НАН України.

Автореферат розісланий *25 вересня* 1995 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої ради
кандидат фізико-математичних
наук

Н. Г. Гусєва

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дана робота являється дисертаційною доповіддю за результатами дослідження автора по вивченню руху короткоперіодичних комет, які спостерігалися в двох і більше появленнях, а також деяких довгоперіодичних комет. Остаточні орбіти для довгоперіодичних комет дають можливість встановити належність комет до нашої Сонячної системи та можуть служити основою для обчислення попередніх і майбутніх їх орбіт. Обчислення таких орбіт має важливе значення при вивченні питань походження комет.

Для комет, які спостерігалися в двох і більше появленнях, необхідно було визначити, який вплив, крім сил гравітації, на рух комет мають сили, що одержали назву негравітаційних.

Негравітаційні сили можуть мати різноманітну фізичну природу, діяти як поблизу перигелію, так і на будь-якій ділянці кометної орбіти.

Природа негравітаційних сил мало досліджена, а тому важко побудувати фізичні чи математичні моделі, які б могли пояснити їх дію для будь-яких комет.

В нашій роботі ставиться і вирішується проблема, яким чином для комет різних планетних сімейств (Юпітера, Урана, Нептуна) по двом і більше появленням можна відокремити дію негравітаційних сил від сил гравітації. Така задача в кометній астрономії розглядається вперше.

В роботі на конкретних прикладах комет, які нами вивчалися, накреслені деякі напрямки можливого об'єднання зусиль астрофізиків і небесних механіків по різносторонньому вивченню фізичної природи негравітаційних сил.

Такі об'єднані зусилля можуть допомогти передбачати на перших порах, хоча б якісно, можливі зміни в елементах кометних орбіт в результаті впливу фізичних процесів в надрах комет або в оточуючому їх середовищі.

1.1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Комети являються досить цікавими об'єктами нашої Сонячної системи. Їх систематичне та всебічне вивчення відіграє важливу роль в астрономії, а також в ряді суміжних наук (фізика, геофізика, механіка і т.п.) і особливо для космогонії Сонячної систе-

ми.

З бурхливим розвитком обчислювальної техніки, застосуванням швидкодіючих електронних машин стало можливим дослідження руху комет на протязі сотень і тисяч років. Врахування збурень в русі комет, які викликаються впливом всіх великих планет Сонячної системи проводяться з високою ступеню точності. Все це дозволяє знаходити навіть самі незначні відхилення від такого збуреного руху.

Такі відхилення в русі комет можуть бути пов'язані як з фізичними процесами на самих кометах, так і з процесами в оточуючому комети космічному просторі. Відхилення в русі комет, які не можна пояснити законами гравітації, одержали назву негравітаційних сил.

Кометна комісія № 20 Міжнародного Астрономічного Союзу на Генеральній Асамблеї в Празі в 1967 р. прийняла рішення, що тема "Дослідження впливу негравітаційних сил на рух комет" є ведучою в кометній астрономії на найближчі роки.

Це рішення було підтверджено на Асамблеях ІААС в 1970 та 1973 рр. Згадана тематика залишається актуальною і на сучасному етапі розвитку кометної астрономії.

Всі роботи, пов'язані з дослідженням руху комет, повинні дати відповідь на питання, який вплив на цей рух мають негравітаційні сили.

Дана робота і присвячена згаданій важливій тематиці.

1.2. МЕТА РОБОТИ

Показати, як провести поліпшення елементів орбіт, якщо комета спостерігалася не менш ніж в двох появленнях, має помітний вплив негравітаційних сил, які на сучасному етапі розвитку кометної астрономії не можна задовільно представити відомими аналітичними функціями. Така задача в кометній астрономії ставиться і вирішується вперше.

До наших робіт всі відомі дослідники комет, які застосовували різні фізичні або математичні моделі, вивчали вплив негравітаційних сил тільки для комет, що мали не менш трьох появлень.

Для вивчення впливу негравітаційних сил на рух комет було відібрано: дві короткоперіодичні комети Борреллі і Дантея сім'їнства Шутера, одна короткоперіодична комета Кодзія-Стефана Отерри сім'їнства Урана; дві короткоперіодичні комети Вестфала та

Брорзена-Меткофа сімейства Нептуна. Названі комети були відібрані тому, що при їх дослідженні багато з відомих вчених не змогли пояснити значного розходження теорії руху комет з їх спостереженнями. Тому в роботі поставлена мета виявити причину такого розходження, знайти вплив негравітаційних сил на зміну окремих елементів цих комет і показати, як можна визначити системи елементів кометних орбіт, які б найкращим чином представили спостереження цих комет у всіх появленнях.

Поставлена також мета визначити закономірності зміни окремих елементів комети Борреллі під впливом негравітаційних сил, щоб з найбільш імовірною точністю обчислити ефемериди комети на наступні появлення.

В роботі також поставлена мета знайти зв'язок впливу негравітаційних сил на елементи кометних орбіт з фізичними їх спостереженнями. В цьому плані дуже цікаві закономірності стосуються зміни абсолютного блиску комет в окремих появленнях з неможливістю їх спостерігати в наступних появленнях (комета Борреллі в 1939, 1946 рр., комета Вестфала в 1975р.)

1.3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В нашій роботі при вивченні руху комет застосовувалися такі відомі методи чисельного інтегрування, як метод Бюнда-Енке [69], який частіше називають методом Енке, та метод Коуелла [65].

В роботі вперше знайшов широке застосування при дослідженні комет різних планетних сімейств метод О.І.Казимірчак-Полонської [60]. Щоб уникнути випадкових помилок, інтегрування, як правило, проводилось за різними методами, а потім порівнювалися одержані результати. Ними розроблена нова методика послідовного поліпшення кометних орбіт з застосуванням відомого метода Еккерта-Брауера [72]. Наша методика дозволила одержати надійні системи елементів для кожного появлення як для короткоперіодичних комет сімейства Юпітера, так і для комет далеких планетних сімейств Урана та Нептуна.

Наша методика перевірялася та дала надійні результати при поліпшенні елементів такого важкого для вивчення об'єкту, як комета Даніеля, для якої всі намагання провідних вчених (Дубяго, Беляєва, Штейнса, Марсдена) провести поліпшення елементів орбіт по п'яти появленнях комети не дали позитивних результатів.

При дослідженні короткоперіодичної комети Борреллі нами

вперше був застосований графічний метод врахування впливу негравітаційних сил на зміну середньої аномалії кометної орбіти. Графічний метод дозволив виявити ту невизначеність вікового прискорення для цієї комети, на яку вказував Марсден [76]. З графіку, який буде приведений в наступних розділах роботи, видно, що така невизначеність пов'язана зі зміною сповільнення на прискорення в період між 1932 - 1953рр. (в 1939р., 1946р. комета не спостерігалася).

Застосування графічного методу дозволило знайти вплив негравітаційних сил не тільки для всіх відомих появлень комети, а і для двох пропущених появлень, а також надійно обчислити ефемериди на наступні появлення у 1973р., 1980-1981рр.

В роботі показано, що для окремих комет можна встановити зв'язок між зміною абсолютного блиску комети і впливом негравітаційних сил на елементи їх орбіт.

1.4. НОВІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Вперше в історії досліджень комет в роботі виявлено, як впливають негравітаційні сили на елементи орбіт комет, які спостерігалися тільки в двох появленнях. Одержані результати знаходяться в добрій відповідності з подібними результатами різних авторів для комет, які спостерігалися в трьох і більше появленнях. Нама методика послідовного поліпшення кометних орбіт дала можливість одержати надійні системи елементів і їх задовільну відповідність з спостереженнями для всіх досліджених нами комет.

В першу чергу нама методика була застосована для поліпшення елементів орбіт тих комет, для яких були помічені значні розходження між теорією та спостереженнями у багатьох дослідників цих комет. На такі розходження вказували: Монасс [78] для комети Борреллі в появленні 1925р.; Беккер [68] для ко- и Коджія-Стефана-Отерми в появленні 1867р.; Гнатек [74] для комети Вестфал в появленні 1852-1853рр.; Дукерт [71] для комети Бронзена-Неукофа в появленні 1847р.; Етнінс [66] для комети Давіла в появленні 1943-1944рр.

В роботі вперше сформульована зворотна задача, що показує, як можна визначити вікове прискорення чи сповільнення у комет за їх фізичними спостереженнями напрямку обертання ядра комети. Одержані в роботі результати вказують на необхідність врахування як небесномеханічних, так і астрофізичних досліджень комет при по-

будові теорії їх руху.

Наша методика послідовного поліпшення конетних орбіт дозволила цілком задовільно представити спостереження досліджених нами комет у всіх їх появленнях, в тому числі і перших, подолавши ті труднощі, на які вказували згадані вище дослідники.

Врахування негравітаційних сил при розрахунках руху комет дає можливість впевнено передбачати появлення комет, у яких відбувалася зміна орбіти під дією таких сил.

Наш графічний метод, який визначав зміну тільки середньої аномалії під дією негравітаційних сил в русі комети Борреллі, дозволив обрахувати надійну ефемериду комети на 1973 р. Відхилення від наших обчислень на момент проходження через перигелій при перевідкритті комети склав $\Delta T = -0,007$.

Перевідкриття короткоперіодичної комети Коджія-Стефана-Отерми в червні 1960 р. (через 37 років після останнього появлення) знаходиться в доброму співвідношенні з нашою ефемеридою (КЦ 267, М.Р.С. 5226) - єдиною пошуковою ефемеридою, яка була надрукована в міжнародних повідомленнях до її перевідкриття.

Елементи американського дослідника Д.К. Йонанса були опубліковані вже після відкриття комети (КЦ 267).

Врахування змін тільки середньої аномалії (або моменту проходження через перигелій) за один оберт дає можливість визначити момент проходження через перигелій комети Коджія-Стефана-Отерми з точністю, що не перевищує $0,15$, яка при $P = 37,7$ р. є досить надійним результатом.

Перевідкриття комети Бронзена-Меткофа в липні 1965р. дало похибку в моменті проходження через перигелій $\Delta T = -15,6$, так як Марсден (М.Р.С. 11523) не врахував вплив негравітаційних сил. Похибці в елементах Марсдена відповідає $\Delta M_0 = +0,2160$. За нашими обчисленнями (КЦ 243, 1979) $\Delta M_0 = +0,2167$. Врахування нашої поправки дозволяє одержати момент проходження через перигелій з точністю до $0,1$, що при $P \approx 70,9$ р. дає надійну ефемериду (КЦ 410, 1990). При намаганні переобчислити елементи орбіти комети Бронзена-Меткофа, з метою перевірки нашої методики Виноградова і Щор [54] одержали похибку $\Delta M_0 = +0,2090$, що дає можливість визначити момент проходження через перигелій з похибкою $\Delta T = 0,6$, що краще, ніж у Марсдена, але гірше, ніж в наших дослідженнях.

В роботі показаний зв'язок різкого падіння абсолютного блиску комети Вестфаля (до 4^m) на протязі кожного її появлення з виникненням значних негравітаційних сил, що, можливо, і привело до

втрати цієї комети, незважаючи на зусилля багатьох відомих дослідників.

Добрі можливості для передбачення в русі комет вікового сповільнення або прискорення може мати сформульована нами зворотна задача. Вона показує, що за астрофізичними спостереженнями на прямику обертання ядра комети можна встановити, принаймні якісно, наявність вікового сповільнення чи прискорення в наступних появленнях в результаті дії негравітаційних сил.

2. КОРОТКИЙ ЗНІС РОБОТИ

2.1. НЕГРАВІТАЦІЙНІ СИЛИ

Застосування сучасних ЕОМ, висока точність обчислень дозволяють знаходити в русі комет найменші відхилення від гравітаційних теорій. Сили, які викликають такі відхилення, були названі негравітаційними. Під таким терміном часто розуміють сукупність дій сил, які мають різну фізичну природу. Іноді відхилення в русі комет від гравітаційних теорій називають негравітаційними ефектами. Вперше такі відхилення в русі комети детально досліджував на протязі 49 років Енке при вивченні комети, відкритої в 1818 р. Понсон, яка потім була названа кометою Енке. Комету Енке досліджували Е.Астен, О.Баклунд, Л.Наткович, І.Ідельсон, С.Маковер, Н.Бохан, а в останні роки Б.Марсден.

М.Ф.Субботін вважав, що елементи кометних орбіт зручно поділяти на внутрішні (M_0 , μ і φ) і зовнішні (Ω , i , ω) [64]. Для більшої комети знаходять вікові зміни під дією негравітаційних сил для внутрішніх елементів. Тільки для окремих короткоперіодичних комет знайдені такі зміни для окремих зовнішніх елементів (Брукса, Джакобіні-Ціннера). Так, наприклад, М.Каменський [75] знаходив для комети Вольфа зміну під дією негравітаційних сил переважно в M_0 і μ (комета мала вікове сповільнення) і не знаходив помітних змін в φ . Ф.О.Бредихін вважав, що зміни елементів комети Фая відбуваються під дією гальмуючого середовища. Ф.О. Бредихін [52] вважав, що у всіх випадках необхідно із спостережень виводити зміни елементів орбіти, а потім можна їх порівнювати з тією чи іншою гіпотезою.

Розвиваючи цю ідею Ф.О. Бредихіна, ми в своїй роботі при дослідженні короткоперіодичних комет різних планетних сімейств знаходили відхилення в їх русі, які відбувалися переважно під

лією негравітаційних сил незалежно від природи цих сил.

Для знаходження таких відхилень потрібно провести інтегрування з високою точністю рівнянь руху комет і мати надійні елементи орбіти в кожному появленні.

2.2. ПЛАНЕТНІ ЗБУРЕННЯ В РУСІ КОМЕТ

Для обчислення планетних збурень з багаточисельних методів ми користувалися лише методом Енке (для довгоперіодичних комет), методами Коуелла та Казимірчак-Полонської (для короткоперіодичних комет). Одним з перших чисельних методів врахування збурень в прямокутних координатах був запропонований в 1849 р. Бондом [69] та незалежно від нього в 1952 р. Енке [73].

Метод одержав назву Бонда-Енке, або частіше його називають методом Енке. Практичне застосування цього метода викладено у О.Д. Дубяго [58] та Г.О.Чеботарьова [85]. Метод Енке зручно застосовувати для довгоперіодичних комет, коли комети спостерігаються поблизу перигелію (наприклад, параболічні та гіперболічні комети) і збурення невеликі.

При обчисленні збурень за тривалий час більш надійним, ніж метод Енке, є метод, запропонований вперше в 1910 р. Коуеллом і Кроммеліном [70]. Відрізняють перший та другий методи Коуелла. Другий (квадратурний) метод Коуелла знайшов широке застосування для чисельних методів інтегрування з використанням ЕОМ і досить детально викладений у згаданих роботах [58,65].

В інституті теоретичної астрономії Н.О.Беляєвим [51] була створена універсальна програма інтегрування за квадратурним методом Коуелла зі змінним кроком з врахуванням збурень від довільного числа планет на інтервалі часу від 1650 до 2050 рр. Квадратурний метод Коуелла дає ряд похибок, на які вказав в ІТА В.Ф.Нягин [63].

Для усунення можливих похибок при інтегруванні і одержання більш надійних результатів ми при обчисленнях паралельно з квадратурним методом Коуелла користувалися і методом чисельного інтегрування в особливих прямокутних координатах О.І. Казимірчак-Полонської [60]. Останній метод дозволяє вести обчислення як зі змінним, так і з погтінім кроком інтегрування, і з подвійним числом розрядів (18 значущих цифр), з також врахуванням збурень від всіх 9 великих планет. Для того щоб одержати надійні елементи кометних орбіт при інтегруванні на протязі ряду років, потрібно з високою ступенем точності обчислити початкові елементи, які б

найкращим чином відповідали спостереженням для кожного з появлень.

2.3. ПОЛІПШЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОМЕТНИХ ОРБІТ ПО ДВОМ І БІЛЬШЕ П'ЯВЛЕННЯМ

З метою одержання початкових елементів, які могли б найкращим чином представити спостереження комети в кожному з появлень, нами розроблена нова методика поліпшення кометних орбіт, які мають не менш двох появлень. З одного боку, вона базується на загальноприйнятих методах, які застосовувалися в кометній астрономії протягом більше як віку - до появилення арифмометрів і ЕОМ (об'єднання появлень без повторного інтегрування). З другого боку, вона максимально удосконалена у відповідності з сучасними вимогами максимальної точності та широкого використання ЕОМ.

Наша методика ґрунтується на відомому методі Екхерта-Брауера [72], який можна застосувати і в тому випадку, коли комета спостерігається лише в двох появленнях і на її рух впливають негравітаційні сили.

Викладено коротко ідеї цієї методики. Якщо є тільки два появлення комети, то необхідно одержати дві незалежні системи елементів, які б найкращим чином представляли всі відомі точні спостереження комети. Це необхідно зробити для того, щоб при поліпшенні елементів орбіт по двом появленням вихідні різниці сферичних координат $\Delta\alpha - \Delta\delta$ і $\Delta\theta - \Delta\varphi$, а також вихідні поправки до наших елементів були настільки малими, щоб їх квадрати не відігравали помітної ролі.

Але при поліпшенні тільки по одному появленню кожної з систем елементів ми одержуємо непевні значення елементів з великими середніми похибками в кожному з них, особливо це відноситься до власного руху μ та ексцентриситету e . Такі системи елементів одержуються тим непевніше, чим менша кількість спостережень комети використовується в одному появленні та чим меншу дугу вони охоплюють. Практично ми можемо одержати деякий спектр орбіт в кожному появленні, які приблизно з однаковою точністю представляють всі наявні спостереження (рис. 1).

З рис. 1 ми бачимо, що на відрізку КІ, поблизу перигелію, різні системи елементів можуть приблизно однаково представити всі спостереження. Якщо у нас буде спостереження т. П з другого появлення, то можна вибрати орбіту, яка відповідала б найкращим чином як першому, так і другому появленню комети.

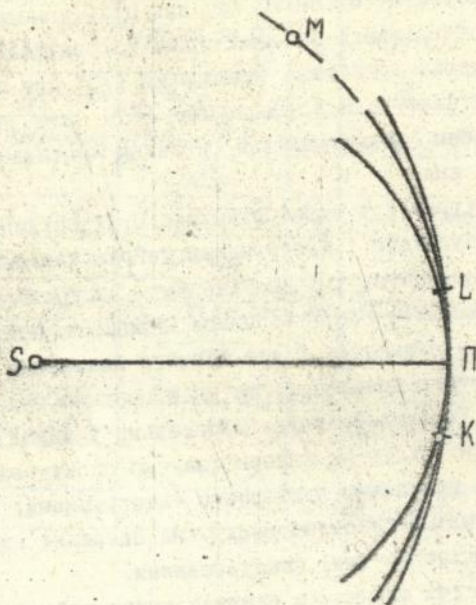


Рис. 1. Спектр орбіт

При наявності двох появиень і обчисленні елементів орбіти в кожному з них ми вибираємо найбільш сприятливе. Під сприятливим появленням ми розуміємо таке, яке охоплює точками спостереження найбільшу дугу і має найбільшу їх кількість. Вибравши за вигідну таку систему елементів, проводимо точне інтегрування з врахуванням збурень від всіх великих планет до другого появиення або через пропущене появиення. Інтегрування може вестись вперед або назад. Для найбільш точного врахування збурень від планет можна інтегрування проводити за різними програмами.

Для всіх визначених нами періодичних комет ми проводили незалежне інтегрування за методами Коуелла (програма М.Ф. Беяєва [51] та Ф.І. Казімірчак-Поялонської [50]) (програма II ж).

За елементами, одержаними в результаті інтегрування до другого появиення (при інтегруванні назад до першого), знаходимо різниці (O-C) для цього появиення.

Кількіть порядок (не вище другого) цих різниць показує, на який вплив нелінійних сил незначний і нема методика поліпшення

зводиться до звичайної методики поліпшення орбіт з повторним інтегруванням. Такий підхід знайшов добре підтвердження для комети Вольфа І між появленнями 1925-1934 рр., коли негравітаційними силами можна було нехтувати. В той же час для цієї комети в попередніх появленнях спостерігався значний вплив негравітаційних сил, на що вказували в своїх роботах Каменський [75] для появлень 1884-1919 рр., а в останні роки Ю. Недведєв [62] для появлень 1884-1925 рр., хоча вони користувалися різними методиками визначення негравітаційних сил.

Високий порядок (третьої і вище) різниць $O-C$ свідчить про вплив на одержані результати інтегрування негравітаційних сил, і звичайна методика поліпшення тут не може бути застосована. Тоді схема поліпшення елементів орбіт за намою методикою полягає в тому, що якщо є система елементів A для першого появилення комети та система B - для другого появилення, то ми проводимо поліпшення цих систем по методу Еккерта-Брауера, паралельно у формі послідовних наближень. При цьому ми використовуємо спостереження в кожному появиленні, не проводячи повторного інтегрування, так як без врахування невідомих негравітаційних сил одержані елементи не можуть надійно представити такі спостереження.

При поліпшенні систем елементів повинна виконуватися вимога, щоб похибки для всіх елементів в результаті такого поліпшення поступово зменшувалися до можливого мінімуму, а значення середньої квадратичної похибки для кожного появилення прямувало до найменших значень σ_{min} в кожному появиленні, а

$$\sigma_{Amin} = \sigma_{Bmin}$$

Схема такого поліпшення приведена в табл. 1.

Згідно з приведеною схемою видно, що поліпшення орбіти проводиться до того моменту, поки поправки елементів не перестануть змінюватися, або

$$\left| \Delta A_{n+1} - \Delta A_n \right| \rightarrow 0 \qquad \left| \Delta B_{n+1} - \Delta B_n \right| \rightarrow 0$$

На заключному етапі проводиться інтегрування рівнянь з врахуванням збурень від всіх великих планет. Порівняння елементів кометних орбіт, які були одержані в результаті інтегрування з елементами, одержаними при їх поліпшенні, дають змогу знайти зміни елементів під переважною дією негравітаційних сил. Наша методика може бути розширена на випадок більше двох появлень. В такому разі, зберігаючи незмінними $O-C$ для попередніх появлень і знаходячи

Таблиця 1

	Елем. А	$(O-C)_A, (O-C)_B$	ζ_A	Елем. В	$(O-C)_B, (O-C)_A$	ζ_B
	$A_0 \rightarrow$	$(O-C)_{A_0}$		$B_0 \rightarrow$	$(O-C)_{B_0}$	
I	$A_0 + \Delta A_1 = A_1$	$(O-C)_{A_0}, (O-C)_{B_0}$ $(O-C)_{A_1}$	ζ_{A_1}	$B_0 + \Delta B_1 = B_1$	$(O-C)_{B_0}, (O-C)_{A_1}$ $(O-C)_{B_1}$	ζ_{B_1}
II	$A_1 + \Delta A_2 = A_2$	$(O-C)_{A_1}, (O-C)_{B_1}$ $(O-C)_{A_2}$	ζ_{A_2}	$B_1 + \Delta B_2 = B_2$	$(O-C)_{B_1}, (O-C)_{A_2}$ $(O-C)_{B_2}$	ζ_{B_2}
III	$A_2 + \Delta A_3 = A_3$	$(O-C)_{A_2}, (O-C)_{B_2}$ $(O-C)_{A_3}$	ζ_{A_3}	$B_2 + \Delta B_3 = B_3$	$(O-C)_{B_2}, (O-C)_{A_3}$ $(O-C)_{B_3}$	ζ_{B_3}
...
	$\Delta A_{n-1} - \Delta A_n \rightarrow$	0		$\Delta B_{n-1} - B_n \rightarrow$	0	
		$\zeta_{A_n} \rightarrow \zeta_{A_{n+1}}$			$\zeta_{B_n} \rightarrow \zeta_{B_{n+1}}$	
				$\zeta_{B_{n+1}} = \zeta_{B_{n+1}}$		

нові O-C для наступних появлень, проводимо процес послідовного поліпшення елементів нового появлення.

Наша методика послідовного поліпшення елементів кометних орбіт, без проведення інтегрування на кожному етапі, зводиться до початкових умов поліпшення елементів за методом Еккерта-Брауера. Ці початкові умови ми послідовно повторюємо декілька разів. Точне інтегрування на заключному етапі дає можливість визначити зміну елементів орбіти під переважним впливом негравітаційних сил ніж попереднім і наступним появленнями.

Зупинимося на деяких результатах застосування запропонованої методики. Нами показано, що для комети Борреллі 1905 II зміни в елементах під дією негравітаційних сил можна звести лише до впливу цих сил на аномалію M_0 , що дозволило побудувати графік зміни M_0 з 1911 до 1981 рр., включаючи і пропущені появлення 1939 та 1946 рр.

Було доведено, що згадана комета змінила своє вікове співвідношення на прискорення і це внесло значні труднощі в об'єднанні появлень комети навіть у такого відомого дослідника, як Марсден.

Тільки по двох появленнях комет Вестфала та Брорзена-Меткофа, які можна віднести до сімейства Нептуна, були поліпшені системи

елементів кожного з появлень цих комет. Були цілком задовільно представлені 0-С в їх перших появленнях, що до нас не вдалось зробити жодному з відомих дослідників цих комет. Знайдені можливі зміни елементів під переважним впливом негравітаційних сил. Запропонована нами методика перевірялася на важкому для дослідника об'єкті - кометі Даніеля, яку можна віднести до групи Впітера.

Виходячи з елементів Марсдена, для 1937р. нами була одержана, а потім поліпшена по згаданій вище методиці, система елементів 1909 р. (ніж 1909 и 1937 рр. пропущено три появлення). Одержана нами система елементів 1909 р. задовільно представляє біля 200 спостережень 1909-1910 рр. і близька до системи Дубяго, одержаної за спостереженнями 1909 - 1910 рр. Різниця в елементах (Білаус-Дубяго) приведена в табл. 2.

Таблиця 2

$\Delta M_0 = -0.00006$	$\Delta q = +0.00006$	$\Delta \varphi = +0.00035$
$\Delta \omega = +0.00019$	$\Delta i = +0.00009$	$\Delta M = -0.000031$

Приблизно одного порядку і 0-С, одержані за обома системами, частина з яких приведена в табл. 3.

2.3. НЕГРАВІТАЦІЙНІ СИЛИ І ЇХ ВПЛИВ НА Рух КОМЕТ

Вивченням змін елементів кометних орбіт під впливом негравітаційних сил займалися ряд відомих дослідників як в попередні роки (Енке, Астен, Камєньський, Дубяго, Іаковєр та інші), так і в останні роки (Марсден, Сєханіна, Нєдведєв та інші). Всі дослідники розглядали діє таких сил для короткоперіодичних комет, що спостерігалися більє ніж в трьох появленнях. Ніхто з дослідників не намагався вивчати такі зміни для комет далеких планетних сімейств Урана та Нєптуна для випадку тільки двох появлень. В останні роки з'явилася дослідження комети Галлея, яка відноситься до сімейства Нєптуна і має помітний вплив негравітаційних сил. Порівняння впливу негравітаційних сил для цієї комети, виходячи з моделі Марсдена-Сєханіни та імпульсної моделі В. Д. Нєдведєва, приводиться в роботі В. В. Батракова, М. О. Бєляєва, В. Д. Нєдведєва, В. Д. Черниченко [50].

Нами досліджені зміни елементів під впливом негравітаційних сил як для комет сімейства Впітера, з періодом порядку 7 років, які спостерігалися в трьох і більє появленнях, так і для комет

Таблиця 3

№	пп	теп.	Е л е м е н т и			
			Білуза		Дубяго	
			$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$	$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$
1.	1909	груд. В. 16062	-0.4	-0.3	-0.9	-0.3
2.		8.86813	-1.8	-7.0	-2.4	-7.1
3.		9.20980	-2.7	+0.7	-3.3	+0.6
4.		9.97032	-0.8	-2.0	-1.2	-2.0
5.		15.30296	0.0	+2.0	-0.4	+2.0
6.		15.79303	+4.0	+2.8	+3.6	+2.8
7.	1910	січ. В. 89180	-0.3	+3.4	-0.5	+3.7
8.		лют. 3.18338	+1.4	-1.8	+1.5	-1.4
9.		8.95585	+1.0	+1.7	+1.0	+2.1
10.		11.84777	+0.8	+0.3	+0.9	+0.7
11.		15.03555	+1.8	+0.5	+2.0	+1.0
12.		17.85110	-0.2	+0.9	-0.1	+1.3
13.		28.93763	-0.4	+3.7	-0.2	+4.1
14.		бер. 1.81651	-0.3	+0.4	-0.1	+0.8
15.		3.85946	-5.0	+5.2	-4.8	+5.6
16.		8.99353	-0.6	-3.6	-0.4	-3.2
17.		16.89777	-2.1	+0.9	-1.9	+1.3
18.		квіт. 1.93716	+0.6	+1.0	+0.9	+1.4
19.		5.94778	-1.2	+0.9	-1.0	+1.3

сімейств Урана та Нептуна, з періодом від 37 до 72 років, які мали тільки по два появлення.

В своїх роботах О.Д.Дубяго приводить формулу для визначення відношення φ' та μ'

$$\frac{\varphi'}{\mu'} = -\frac{4}{3} \frac{\operatorname{tg}(45^\circ - \frac{1}{2}\varphi)}{\mu \operatorname{Sim}''}$$

де φ', μ' - середньодобові зміни елементів φ та μ під впливом негравітаційних сил.

О.Д.Дубяго приводить це відношення для короткоперіодичних

комет Енке, Бієли та Брукса, які спостерігалися в трьох і більше появленнях.

Ми застосували наведену формулу для порівняння обчислених і знайдених нами з спостережень таких відношень для комет сінейства Нептуна-Вестфалія та Брорзена-Меткофа. Результати такого порівняння дані в табл. 4.

Таблиця 4

Комета	Роки явлення	φ'/μ'	φ'/μ'	Обчислювач
		обчисл.	спост.	
Енке	1819-1865	74	70	Астен
Бієла	1806-1832	262	222	Дубяго
Брукса	1869-1910	330	322	Дубяго
Брукса	1925-1940	317	363	Дубяго
Вестфалія	1852-1913	975	945	Білоус
Брорзена- Меткофа	1847-1919	660	655	Білоус

В табл. 4 показано, що одержані відношення співпадають в межах точності їх визначення.

З цієї таблиці видно, що зміна елементів під впливом негравітаційних сил можуть бути знайдені не тільки для комет з періодами від 3 до 7 років, але і для комет з періодами від 37 до 75 років, які спостерігалися лише в двох появленнях.

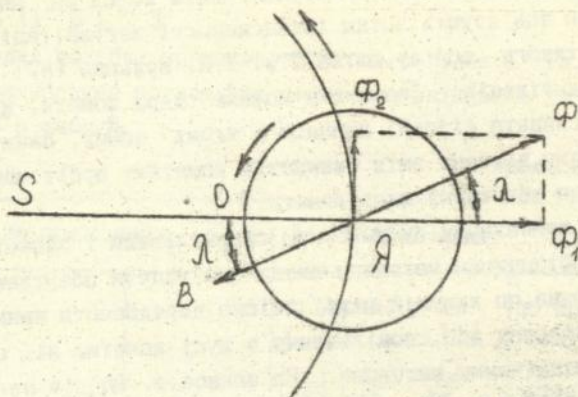
Добрі співвідношення для φ' та μ' показують, що негравітаційні сили діють в основному поблизу перигелія. Приведена вище формула Дубяго одержана з такого допущення і може служити контролем при визначенні впливу негравітаційних сил на елементи кометних орбіт.

Якщо виходити з льодової моделі ядра комети Зіппла, як робить в свої роботах Марсен, то можна пояснити виникнення вікового сповільнення чи прискорення руху комет під дією негравітаційних сил в залежності від напрямку обертання її ядра (рис. 2).

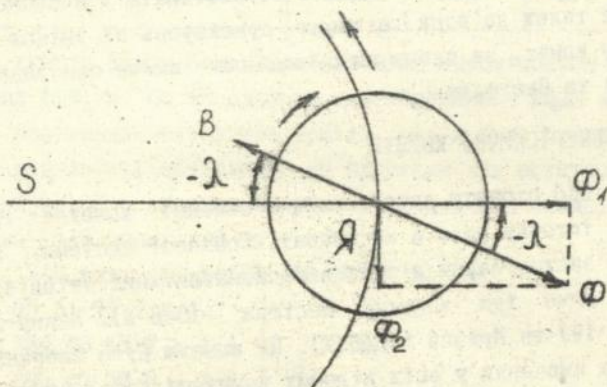
На рис. 2 такі позначення:

- S - напрям на Сонце;
- λ - довгота точки максимального викиду речовини з ядра;
- Φ - реактивна сила;
- Φ_r - радіальна складова сили Φ ;

- Φ_2 - трансверсальна складова сили Φ ;
- B - напрям максимального викиду речовини з ядра;
- $Я$ - ядро комети.



а) напрям обертання ядра співпадає з напрямом руху комети по орбіті. Вікове сповільнення.



б) напрям обертання ядра, протилежний напрямку руху комети по орбіті. Вікове прискорення.

Рис. 2. Зв'язок вікового прискорення чи сповільнення з напрямом обертання ядра

В такій моделі, яку використовує Марсден, не зовсім зрозумілий фізичний процес викиду речовини, що веде до виникнення негравітаційних сил. Можливо і не зовсім вірний поділ комет на "молоді" та "старі", з яким пов'язують зміни інтенсивності негравітаційних сил.

Замість такого поділу, в 1972 р. А.Н. Мульнан [67] запропонував нову модифікацію - "п'ятнисту модель" ядра комети, що по-ішому може пояснювати фізичні процеси в ядрах комет. Ними показано, що по знаку вікових змін елементів кометних орбіт можна визначити і напрям обертання ядра комети.

Згідно з приведеним рисунком ми сформулювали і зворотню задачу: якщо астрофізичними методами визначити напрям обертання ядра комети, то можна, по крайній мірі, якісно передбачити виникнення вікового прискорення або сповільнення в русі комети, які слід шукати небесномеханічними методами. Ми показали, що дію негравітаційних сил не завжди можна пояснити тільки фізичними процесами в кометних ядрах. Певну роль у виникненні таких сил може відігравати і зіткнення з метеорними потіками. Таким чином, іноді приходиться повертатися до теорії Ф.В. Бредихіна, яка на деякий час була забута.

На необхідність поєднання зусиль астрофізиків і небесних механіків вказує також зв'язок вікових прискорень зі зміною абсолютного блиску комет, на якому ми зупинимося нижче при розгляді комет Борреллі та Вестфалю.

2.4. ДОВГОПЕРІОДИЧНІ КОМЕТИ

Для того щоб охопити дослідженнями основні кометні групи, які відіграють істотну роль в космогонії Сонячної системи, показати практичне застосування різних небесномеханічних методів, нами вивчалися лише три комети: Бестера (1948 X), Балпу-Бока-Гьєркірка (1949 IV) та Іркосо (1948 X). Ці комети були вибрані тому, що на час їх вивчення у всіх відомих кометних каталогах не було приведено їх остаточних орбіт, які необхідно знати для одержання початкових і майбутніх орбіт. Такі орбіти дають уяву про належність комет Сонячній системі, отже можуть служити основою для вивчення їх походження. Для комети Бестера за вихідну прийнята параболічна орбіта. В результаті наших обчислень було знайдено, що остаточна орбіта являє собою витягнутий еліпс з прямих рухом і слідуючими елементами.

Епоха 1948 груд. 10.0 еф. часу

$T = 1948$ жовт. 22.88088 \pm 0.01925 еф. час.

$$\left. \begin{aligned} \omega &= 274^{\circ}13'03'' .9 \pm 54'' .5 \\ \Omega &= 66\ 58\ 09 .1 \pm 10.8 \\ i &= 87\ 36\ 11 .9 \pm 7.3 \end{aligned} \right\} 1950.0 \quad \left. \begin{aligned} q &= 1.273607 \pm 0.000172 \\ e &= 0.997781 \pm 0.000509 . \end{aligned} \right.$$

Середня похибка нормального місця складає $1'' .15$.

Представлення нормальних місць до поліпшення та після нього приведено в табл.5.

Таблиця 5

Норм місця	До поліпшення		Після поліпшення			
	$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$	по умовн. р-ян		по новим елен.	
			$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$	$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$
1	-5".3	-8".6	0".0	+0".3	0".0	+0".4
2	-2.4	-0.3	+0.4	-1.2	+0.5	-1.2
3	-0.3	+14.2	-0.8	+1.4	-0.7	+1.2
4	+4.0	+21.4	0.0	+0.3	+0.2	+0.1
5	+11.0	+29.8	+0.5	-0.8	+0.5	-1.1

Для комети Банпу-Бока-Ньжкірка було опубліковано чотири параболічних орбіти. По 10 окремих спостереженням нами знайдена попередньо поліпшена еліптична орбіта, яка й була прийнята за вихідну. В результаті обчислення ми одержали для остаточної орбіти витягнутий еліпс з зворотним рухом і слідуючими елементами.

Епоха 1949 серп. 2.0 еф. часу

$T = 1949$ жовт. 26.54189 \pm 0.00031 еф. час

$$\left. \begin{aligned} \omega &= 89\ 31\ 53.5 \pm 4.7 \\ \Omega &= 309\ 00\ 45.7 \pm 1.1 \\ i &= 105\ 45\ 50.6 \pm 0.9 \end{aligned} \right\} 1950.0$$

$e = 0.998665 \pm 0.000014$

$q = 2.058201 \pm 0.000021$

$P \approx 60505$ років.

Середня похибка нормального місця складала $1'' .99$

Представлення нормальних місць до поліпшення та після нього приведено в табл.6.

Для комети Мркоса за вихідну була прийнята гіперболічна орбіта. В результаті обчислень остаточно орбіта також виявилася

гіперболічною з зворотним рухом і слідуючими елементами.

Епоха 1953 січ. 8.0 еф. часу

$T = 1953 \text{ січ. } 24.85996 + 0.00003 \text{ еф. час}$

$\omega = 253^{\circ} 49' 23''.1 + 2''.3$
 $\Omega = 342 \ 53 \ 3.2 + 1.5$
 $i = 97 \ 10 \ 38.7 + 1.8$ } 1950.0

$q = 0.777729 + 0.000003$

$e = 1.000329 + 0.000026.$

Середня похибка нормального місяця склала 1".56.

Представлення нормальних місяць до поліпшення та після нього приведено в табл. 7.

Таблиця 6

Норм. місяця	До поліпшення		Після поліпшення			
	$\cos \delta \Delta \alpha$	$\Delta \delta$	по умовн. р-ян		по новим елен.	
			$\cos \delta \Delta \alpha$	$\Delta \delta$	$\cos \delta \Delta \alpha$	$\Delta \delta$
1	-2".6	+1".2	-0".3	-1".9	-0".4	-1".9
2	+2.3	+4.4	-1.2	+2.0	-1.2	+1.9
3	+0.3	+1.5	-1.7	-0.5	-1.7	-0.5
4	+0.3	+1.0	+0.1	+0.4	0,0	+0.5
5	-0.1	-0.8	+4.4	+1.2	+4.5	+1.2
6	-9.9	-0.1	-0.5	+0.4	-0.5	+0.3
7	-12.6	-16.7	+0.7	-1.8	+0.5	-1.9
8	-7.9	-21.7	+0.9	-0.8	+0.9	-0.9

Одержані нами елементи для остаточних орбіт комет Бестера (1948 X), Балпу-Бока-Ньюкірка (1949 IV) та Іркоса (1952 II) звіймали в кометні каталоги 1972, 1975 рр. Б.Нарсдена (США).

За найближчими елементами для комети 1949 IV З. Секаніна [79] визначив її початкову та майбутню орбіти. З цих комет Бестера (1948 X) спостерігалася лише після проходження через перигелій і мала тільки 24 точні спостереження з 2 грудня 1948 р. до 24 лютого 1949 р. Балпу-Бока-Ньюкірка спостерігалася по обидві сторони перигелія з 29 червня 1949 р. до 15 травня 1950 р. - 83 спостереження. Іркоса з 10 грудня 1952 р. до 18 липня 1953 р. - 71 спостереження.

Для всіх цих комет при поліпшенні за нормальними місяцями се-

Таблиця 7

Норм. місяця	До поліпшення		Після поліпшення			
	$\cos \delta \Delta \alpha$	$\Delta \delta$	по умовн. р-ян		по новин елен.	
			$\cos \delta \Delta \alpha$	$\Delta \delta$	$\cos \delta \Delta \alpha$	$\Delta \delta$
1	+2 ⁿ .1	+3 ⁿ .1	-1 ⁿ .2	-0 ⁿ .5	-1 ⁿ .3	-0 ⁿ .4
2	+3.8	+2.9	+1.5	-0.4	+1.5	-0.4
3	-0.6	+2.9	-1.5	-0.2	-1.7	-0.2
4	-0.6	+5.3	+0.2	+2.7	+0.1	+2.7
5	-1.5	+0.3	+1.2	-0.5	+1.2	-0.2
6	-0.7	-1.1	+1.0	+1.3	+1.0	+1.3
7	-2.1	-3.1	-0.2	-1.8	-0.3	-1.7
8	-13.8	+39.4	-0.8	-1.7	-0.8	-1.8
9	-16.6	+48.1	+0.9	+1.7	+0.9	+1.7

редня квадратична похибка задиалась менше 2ⁿ, що свідчить про те, що негравітаційні сили помітного впливу на елементи орбіти не мали.

В той же час слід відмітити, що дослідження американських вчених свідчать про можливий вплив негравітаційних сил і для довгоперіодичних комет в одному появленні з $P > 1000$ р. [77].

2.5. КОРОТКОПЕРІОДИЧНІ КОМЕТИ СІМЕЙСТВА ЮПІТЕРА

а) Комета Борреллі (1905 II).

Для перевірки нашої методики поліпшення кометних орбіт була вибрана комета Борреллі 1905 II. Перші дослідники цієї комети Файє та Монасс не змогли подолати утруднень, пов'язаних з неможливістю пояснити значні відхилення в θ - S навіть при самому точному врахуванні збурюючої дії великих планет. Для приведення елементів орбіти комети у відповідність з спостереженнями, Монасс [78] вводив емпіричну поправку для моменту проходження через перигелій в 1925 р., хоча в своїй роботі він не відмічає дію будь-яких сил крім гравітаційних.

Користуючись загальноприйнятими класичними методами, ми об'єднали появлення 1925 та 1932 рр. і по 87 спостереженням одержали систему елементів з $\sigma = 2ⁿ.44$. Ці же два появлення об'єд-

нав Марсден і по 38 спостереженням одержав $\sigma = 2''.5$. При об'єднанні появлень 1932-1953-1960 рр. Марсден одержав $\sigma = 30''$. При об'єднанні трьох появлень 1918-1925-1932 по 188 спостереженням одержана $\sigma = 15''.4$.

Порівняння цих об'єднань приведено в табл. 8.

Таблиця 8

Роки появлень	Число спостер.	σ	Обчислювач
1925 - 1932	38	2''.5	Марсден
1925 - 1932	87	2.4	Білоус
1932 - 1953 - 1960	-	30.0	Марсден
1918 - 1925 - 1932	188	15.4	Білоус

З таблиці видно, що відомі класичні методи не дозволяють об'єднати більше двох появлень комети Борреллі.

Не зміг Марсден [76] спочатку об'єднати появлення цієї комети і за своїми методами, які давали для інших комет цілком задовільні результати.

Тому в нашій роботі ми поставили мету об'єднати всі відомі появлення комети Борреллі та діти надійні елементи, які б цілком задовільно представляли всі відомі точні спостереження в кожному з появлень.

Для цього було проведено поліпшення елементів 1905 та 1911р., а потім 1905-1911 рр. та 1918 р. за намов методикою, а потім в результаті інтегрування з врахуванням збурень від великих планет були знайдені зміни середньої аномалії, які не залежать від цих збурень для появлень 1911 та 1918 рр.

Вважаючи, що такі зміни відбуваються під переважним дією негравітаційних сил, а також прийнявши в першому наближенні, що вони змінюються лінійно, ми побудували графік таких змін для M_0 (рис. 3) комети Борреллі.

На графіку по горизонтальній осі дані моменти проходження через перигелій (інтервал 6.9 р.), по вертикальній - зміна середньої аномалії ΔM_0 під дією негравітаційних сил (інтервал 0''.01). В подальшому при інтегруванні з 1918 до 1981 рр. поправки в середній аномалії бралися з графіку. Так як графік дає лише наближені значення цих поправок, то вони уточнювалися шляхом порівняння з одержаними положеннями комети.

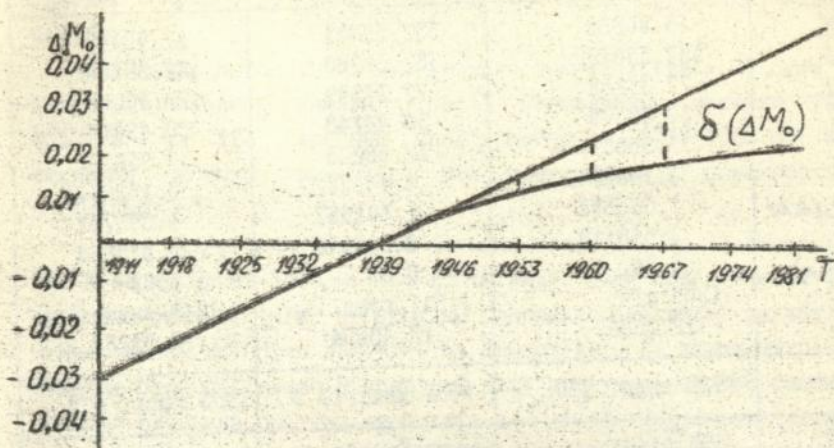


Рис. 3 Графік змін M_0 комети Борреллі

Для 1925 та 1932 рр. відхилень від лінійної залежності таких поправок практично не було.

Починаючи з 1953 р. це відхилення, яке ми позначимо $\delta(\Delta M_0)$, постійно росте і досягає наступних значень :

1953 - 0,0030; 1967 - 0,0050; 1981 - 0,0070.

1960 - 0,0040; 1974 - 0,0060;

Таблиця 9

№ № п/п	Рік появи комети	ΔM_0 (негравіт.)	ΔT (негравіт.)
1.	1911	-0,0317	+0,2227
2.	1918	-0,0237	+0,1660
3.	1925	-0,0154	+0,1076
4.	1932	-0,0072	+0,0502
5.	1939	0,0000	0,0000
6.	1946	+0,0065	-0,0454
7.	1953	+0,0135	-0,0959
8.	1960	+0,0204	-0,1453
9.	1967	+0,0275	-0,1951
10.	1974	+0,0355	-0,2432
11.	1981	+0,0440	-0,3024

Таблица 10.

Эпоха	1905 грав. 15.0	1911 ноят. 26.0	1919 берез. 23.0
M_0	16. ⁰ 80638	352. ⁰ 39061	17. ⁰ 97443
ω	352.35048	352.37280	352.39104
Ω	77.38158	77.37589	77.36865
i	30.48526	30.44148	30.49014
φ	37.96051	37.88223	37.95656
μ	0.1427762	0.1422622	0.1427527
$q(a.a.)$	1.395382	1.402657	1.395731
e	0.615118	0.614040	0.615064
$P(p)$	6.90	6.93	6.90
T	1905 січ. 17.28887	1911 груд. 18.48894	1918 лист. 17.09264
Эпоха	1925 серп. 3.0	1932 лип. 17.0	1953 груд. 9.0
M_0	350. ⁰ 61821	354. ⁰ 07853	25. ⁰ 67536
ω	352.42365	352.55046	350.94851
Ω	77.37863	77.30840	76.17804
i	30.51082	30.52947	31.08971
φ	38.05324	38.07653	37.15471
μ	0.1431732	0.1434018	0.1406791
$q(a.a.)$	1.3888186	1.385553	1.450035
e	0.616393	0.616713	0.603969
$P(p)$	6.88	6.87	7.01
T	1925 ноят. 7.52507	1932 серп. 27.29301	1953 черв. 9.50931
Эпоха	1960 серп. 29.0	1967 лип. 9.0	1973 груд. 19.0
M_0	10. ⁰ 77433	2. ⁰ 99645	338. ⁰ 93614
ω	350.97423	351.03215	352.66169
Ω	76.19424	76.14203	75.12241
i	31.06624	31.11531	30.21257
φ	37.11497	37.19261	39.20123
μ	0.1403814	0.1408979	0.1456290
$q(a.a.)$	1.454112	1.446806	1.316530
e	0.603416	0.604496	0.632046
$P(p)$	7.02	7.00	6.77
T	1960 черв. 13.25327	1967 черв. 17.73356	1974 грав. 12.65247

Одержані нами поправки в μ_0 для кожного появилення (або відповідні поправки до моменту проходження через перигелій) наведені в табл.9.

За нашою методикою з врахування поправок (табл.9) було об'єднано 7 появилень комети і за 17 нормальними місцями (1904-1912 рр.) та 120 окремими спостереженнями 1910-1960 рр. була одержана система елементів, яка представляє ці спостереження з $\sigma=1''.89$.

Про результати цього об'єднання доповідалося на симпозіумі МАС № 45 в серпні 1970 р. (м. Ленінград). Наше повідомлення було зроблено раніше, ніж це зробили американські вчені на чолі з Б.Марсденом, які були присутні на симпозіумі. За нашою методикою пізніше було об'єднано 8 появилень цієї комети та за 186 спостереженнями одержана система елементів з $\sigma=1''.42$. Поліпшені елементи комети Борреллі для появилень з 1905 до 1973р. наведені в табл.10, всі вони віднесені до рівнодення 1950.0, час ефemerидний.

Представлення спостережень для появилень 1905 - 1975 рр. за елементами табл.10 наведені в табл.11.

Перевідкриття комети в 1973 і 1981р.р. знаходиться в доброму співвідношенні з нашими елементами.

Так, для 1973р. $\Delta T = -0''.01$, а для 1981р. $\Delta T = -0''.03$.

Таблиця 11

Роки появлення	Число спостережені	Спостереження з ухиленням		
		менш 5"	більш 5" менш 10"	більш 15"
1904-05	392	254	112	5
1911-12	266	172	80	3
1918-19	99	84	12	2
1925-26	78	56	15	5
1932-33	31	29	2	-
1954	10	9	1	-
1960	7	3	2	1
1967-68	6	4	2	-
1974-75	6	4	2	-
Всього:	855	615	228	16

Ці результати співпадають з тими, які одержали інші автори (у Йонанса для 1973 р. $T=+0,01$), користуючись зовсім іншими методами.

Наші результати свідчать, що для окремих комет можна користуватися і графічними методами врахування дії негравітаційних сил.

Подібний графічний метод до нас ніким з дослідників комет не використовувався.

Для комети Борреллі ми проаналізували, чому в перших появленнях не можна було застосовувати методи (наприклад, Марсдена), які давали задовільні результати для інших комет, але для цієї комети вікові прискорення були не зовсім зрозумілі. З рис. 3 видно, що між появленнями 1932 р. та 1953 р. (в 1939 р. та 1946 р. комета не спостерігалася) вікове сповільнення змінюється на вікове прискорення. Наші дослідження еволюції комети Борреллі за період 1660-2060 рр. показали, що 27 березня 1936 р. комета наблизилася до Юпітера до $0,539a.u.$ Цікаво для цієї ж комети прослідкувати за зміною абсолютного блиску, який між 1932 та 1954 рр. зменшився від 9^m до $12,5^m$ або впав на 3^m , і це знову приходиться на проміжок часу для пропущених появлень (рис. 4).

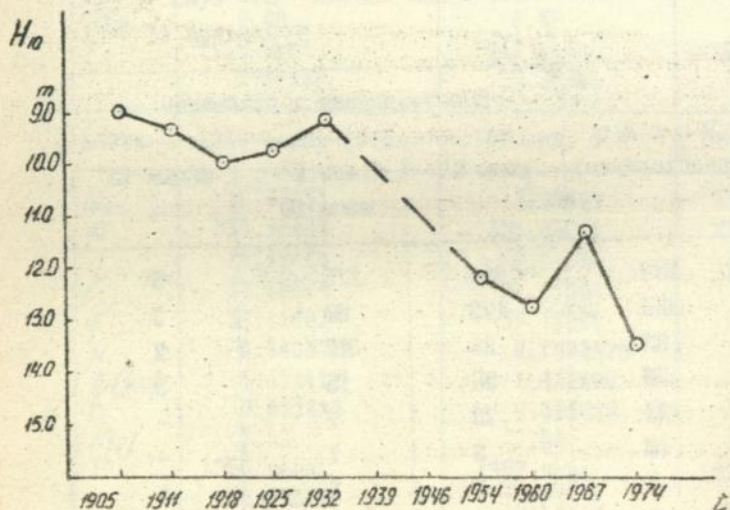


Рис. 4. Зміна H_0 комети Борреллі

Абсолютний блиск комети знаходився за формулою С.К.Всехсвятського

$$H_{10} = m - 5 \lg \Delta - 10 \lg Z$$

В цій формулі m - видимий блиск комети,

Δ - геоцентрична віддаль комети,

Z - геліоцентрична її віддаль.

Приклад комети Борреллі показує, що для вивчення впливу негравітаційних сил на комету бажано провести і астрофізичні спостереження хоча б за знімом блиску комети в різних появленнях.

б). Комета Даніеля (1909 IV).

Була відкрита 6 грудня 1909 р. як об'єкт 9^m і систематично спостерігалася до 12 квітня 1910 р. коли вона вже послабла до 15^m . Абсолютний блиск комети в першому появленні становив за Всехсвятським 9.5 [55].

Незважаючи на велику кількість спостережень, можливість визначення надійних елементів і обчислення ефемериди, комета не була відкрита в появленнях 1916, 1923, 1930, 1957 рр.

Ретельні дослідження руху комети в першому появленні провів О.Д. Дубяго [57]. Його система елементів для 1909 р. дала можливість надійно представити більшість спостережень 1909-1910 рр. (близько 200) і провести інтегрування рівнянь руху до 1937 р., коли після трьох пропущених появлень комета знову була відкрита. Комета спостерігалася в 1943-1944 та 1950-1951 рр., не була знайдена в 1957 р. і останній раз її бачили (Е.Рьомер, США) в 1964 р. як слабкий об'єкт 20^m-21^m , а за Всехсвятським $H_{10} = 16^m$.

Ретельне дослідження комети провів М.О.Беляев [51], розглянувши еволюцію комети за 400 років. Але ніхто з дослідників цієї комети не провів поліпшення елементів її орбіти по всіх відомих появленнях 1909-1964 рр. Спробу провести поліпшення елементів комети по 4 появленнях 1937-1964 рр. зробив Б.Марсден [76]. Враховуючи тільки сили гравітації при поліпшенні елементів по трьох появленнях 1937-1943/44-1950/51 рр., він сдержав відхилення від спостережень до $60''$, а по чотирьох появленнях до $100''$. Він прийшов до висновку, що комета Даніеля має вікове спотворення, але його значення важко встановити. З врахуванням негравітаційних сил за своїм методом Б. Марсден за 26 спостереженьми 1937-1964 рр. одержав систему елементів для 1943 р. з $\sigma = 1''57$.

Але він не зміг задовільно представити єдиною системою всі спостереження 1943-1944 рр. Для представлення спостережень 1943-

1944 рр. єдиною системою він довільно прийняв, що спостереження 1944 р. Д.Я.Мартінова в Казані віднесені не до 1944.0, а до 1943.0.

Таке довільне припущення дозволило йому при об'єднанні чотирьох появлень комети залишити лише одне з шести спостережень 1944 р.

Казанські спостереження 1944 р. ретельно перевірялися Беляєвим Н.О., положення комети заново переніряв Черних Н.С., які підтвердили вірність публікацій Д.Я.Мартінова.

Нюжна прийти до висновку, що об'єднання Марсденом чотирьох появлень комети Даніеля не є надійними ще і тому, що в ньому не враховано перше появлення комети, яке охоплює найбільшу дугу (більше 200 спостережень), а в спостереженнях 1944 р. необгрунтовано зроблена зміна рівнодення.

Одержані ним поправки для негравітаційних сил ґрунтуються на малому числі спостережень (26) і не можуть надійно показати дію негравітаційних сил за 1937-1964 рр. На ці затруднення Б.Марсдена вказували К.А.Мтейнс і І.Е.Залькалке [66], хоча вони і не показали, як же можна одержати надійні елементи для всіх появлень цієї комети.

Ми поставили за мету одержати надійні елементи орбіти комети Даніеля для всіх п'яти появлень, які є найкращим чином представляли всі точні спостереження комети. Приймаючи за вихідні елементи Б.Марсдена для 1937 р., ми одержали за нашою методикою елементи для 1909 р., які були близькими до елементів Дубяго. Потім за нашою методикою послідовно були поліпшенні всі елементи відомих появлень комети. В результаті наших обчислень вперше для цієї комети ми об'єднали всі 5 появлень і по 109 спостереженнях (80 - першого, 8 - другого, 6 - третього, 13 - четвертого та 2 - п'ятому) з $\sigma=1''.64$ одержали нові елементи, які наведені в таблиці 12, рівнодення 1950, еф.час.

Елементи (табл.12) цілком задовільно представляють всі точні спостереження комети.

В першому появленні це 199 спостережень, в другому - 8, третьому - 7, четвертому - 13, п'ятому - 2.

Приводимо значення $O-C$ за нашими елементами (табл.12) для 1943-1944 рр., навколо яких виникло непорозуміння в дослідженнях [66].

таблиці 13 представлені 7 таких спостережень, з яких перші 6 були використані для поліпшення елементів орбіти. Ніяких

Таблиця 12

Елемент	Е п о х а				
	1909 лист. 20.0	1937 січ. 27.0	1943 лист. 12.0	1950 серп. 27.0	1964 трав. 5.0
Mo	358 ^o .59765	359 ^o .87494	358 ^o .47490	0 ^o .45899	1 ^o .94585
ω	3.49702	6.05883	6.11021	7.23700	10.70057
η	71.54048	70.47557	70.43864	69.74720	68.51511
ξ	19.45178	19.82361	19.85061	19.70220	20.15448
φ	37.05796	34.97174	35.07335	35.88314	33.38496
μ	0.1519340	0.14441000	0.1449360	0.1480552	0.1388672
q(a.a.)	1.3818309	1.5355762	1.5268300	1.4645807	1.6609747
ε	0.6026226	0.5731723	0.5746247	0.5861340	0.5502616
P(p)	6.485	6.825	6.800	6.657	7.097
T	1909 лист. 29.22761	1937 січ. 27.86568	1943 лист. 22.52326	1950 серп. 23.89928	1964 квт. 20.98753

інших спостережень для 1943-1944 рр. в світовій пресі опубліковано не було.

Для поліпшення елементів використані майже всі точні спостереження другого-п'ятого появлень та 80 з 199 для першого.

Провівши інтегрування рівнянь руху з 1909 по 1937 р., а потім послідовно з 1937 р. по 1943 р., з 1943 р. до 1950 р. та з 1950 р. по 1964 р. ми одержали значення поправок елементів в розумінні обчислення мінус інтегрування (табл.14).

Ми вважаємо, що найбільш імовірними ці поправки можуть бути

Таблиця 13

№№	t в.о.	$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$	Спостерігач	Обсерваторія
1.	1943 ховт. 26.94130	+1.9	-0.6	Д.Я.Мартинов	Казань
2.	лист. 20.87530	-1.4	-1.2	--	--
3.	23.93020	+1.0	+3.8	--	--
4.	1944 лют. 12.68710	-3.1	-2.9	--	--
5.	27.80930	-1.9	-1.1	--	--
6.	бер. 12.70690	-1.2	+3.1	--	--
7.	14.77460	+9.7	-4.9	--	--

із-за дії негравітаційних сил. Такі сили важко передбачити, але без їх врахування неможливо було об'єднати більш двох появлень цієї комети за відомими класичними методами. Слід звернути увагу і на те, що в русі комети Даніеля відбулась зміна прискорення на сповільнення між 1937 та 1943 рр.

Таблиця 14

	1937	1943	1950	1964
ΔM_0	+0.03826	-0.01927	-0.00656	-0.05008
$\Delta \omega$	-0.00524	-0.01747	-0.01245	-0.15758
ΔQ	+0.00528	+0.00101	+0.00167	+0.02647
Δi	+0.00192	-0.00055	+0.00105	-0.00415
$\Delta \varphi$	+0.00064	+0.00289	-0.00934	+0.08691
ΔM	-0.0000003	-0.0000093	+0.0000724	-0.0000029

Якщо порівняти комети Даніеля та Борреллі, то ми бачили, що для комети Борреллі відбулась зміна сповільнення на прискорення. Слід також відмітити, що в 1959 р. комета Даніеля наближалася до Юпітера до 0.53а.о (ми відмічали, що комета Борреллі наближалася до Юпітера до 0.54а.о.).

Значення ΔM для комети Даніеля на інтервалі 1909-1937 рр. (табл.14) добре співпадає з наближеними теоретичними обчисленнями О.В. Добровольського та Н.З. Нарковича [56], які вважали, що льодяна модель ядра відповідає фотометричним даним і приводить до негравітаційних ефектів в русі комет, максимальними поблизу перигелію.

Таблиця 14 показує, що поправки в елементах в 1964 р. відрізняються від подібних поправок інших появлень. Це можна пояснити двома причинами: по-перше, комета мала зближення з Юпітером ніж появленнями 1950 р. та 1964 р. (в 1957 р. вона не спостерігалася); по-друге, в 1964 р. було тільки 2 близьких спостережень і тому елементи 1964 р. можуть бути не зовсім надійними.

Аналіз руху комети Даніеля на протязі всіх відомих появлень показує, що вплив негравітаційних сил носить складний характер, ніж окремими появленнями вікове прискорення змінюється на сповільнення, що вносить невизначеність дії цих сил, які можуть значно відхилятися від багатьох фізичних або математичних моделей.

2.6. КОРОТКОПЕРІОДИЧНІ КОМЕТИ СІНЕЙСТВА УРАНА ТА НЕПТУНА

Нани досліджені короткоперіодичні комети Коджія-Стефана-Отерни (1867 I - 1942 IX), Вестфала (1852 IV - 1913 VI) та Бронзена-Меткофа (1847 V - 1919 III).

Першу з комет можна віднести до сімейства Урана, а дві останні - до сімейства Нептуна.

Всі три комети спостерігалися тільки в двох появленнях (у першої з цих комет одне появлення було пропущено).

Дослідники цих комет зустрілися з значними труднощами при спробах знайти системи елементів, які задовільно представляли б сукупність всіх спостережень цих комет в перших їх появленнях. Такі труднощі були пов'язані з тим, що ніхто з дослідників цих комет не враховував вплив негравітаційних сил на їх рух, а в результаті такого впливу відбувались значні зміни в елементах орбіт.

Була поставлена мета за нашою методикою провести об'єднання появлень кожної з цих комет, знайти елементи, які б надійно представляли всі спостереження, особливо для перших їх появлень. Необхідно було знайти для кожної з комет зміни їх елементів в результаті впливу негравітаційних сил, щоб можна було врахувати такі зміни при наступних появленнях комет.

а). Комета Коджія-Стефана-Отерни (1867 I).

Комета була відкрита 22 січня 1867 р. спостерігачем Коджія на обсерваторії Марселя. Комета була відкрита та спостерігалася після проходження через перигелій (за нашими обчисленнями $T=1867$ січень 20.631 ефен. часу). Комета була видима з 25 січня до 4 квітня 1867 р. За цей короткий період її видимий блиск упав з 7^m до $11^m - 12^m$. Комета належала до сімейства Урана, мала період 37 років, але в наступному появленні була втрачена. Тільки в 1942 р. була відкрита як нова комета, одержала позначення 1942 IX і її спостерігали з 5 листопада 1942 р. до 2 травня 1943 р. по обидві сторони від перигелію.

Вивченням руху комети в першому появленні займався Беккер (68). Система елементів Беккера давала помітні односторонні відхилення для $Q-C$ по прямому шодженню ($A d. Co S^D$ від $+25''$ до $+40''$).

Намагання інших дослідників провести поліпшення системи елементів Беккера тільки по спостереженням першого появлення не дали позитивних результатів. Неможливість одержати надійну систему для першого появлення слід пояснити тим, що спостереженнями була

охоплена порівняно мала дуга на протязі трохи більш, як 2 місяці, і спостереження розташовувалися лише по один бік від перигелію. Дослідженнями комети в 1942 р. займався О. Д. Дубяго, який обрахував систему елементів для цього появлення, цілком задовільно представляла всі спостереження 1942-1943 рр. При об'єднанні двох появлень комета М. Я. Шмакова по 128 спостереженням комети дала нові елементи для 1867 и 1942 рр. Одержані нові елементи невпевнено представляють як спостереження 1867 р., так і 1942-1943 рр.

В результаті об'єднання двох появлень комети значно була погіршена надійна система елементів 1942 р. і не одержала понітного поліпшення система 1867 р. Нами поставлена мета одержати по двом появленням такі елементи, які б задовільно представляли всі відомі точні спостереження як першого, так і другого появлень. Приймаючи за вихідну систему 1942 р. ту саму, що і приймала М. Я. Шмакова, ми провели інтегрування від 1942 р. назад до 1866 р. і представили спостереження першого появлення, які спочатку давали О-С третього порядку по координатах α та δ . За намов методиком було проведено ряд послідоених поліпшень як елементів 1866 р., так і 1942 р.

На кожному етапі поліпшення ми одержали О-С для всіх спостережень, частина з яких використовувалася при подальшому поліпшенні.

В результаті такого поліпшення за двома появленнями по 85 спостереженням (11+74) були одержані з $\sigma = \pm 1''$ системи елементів для 1866 та 1942 рр. (табл. 15), рівнодення 1950.0, час ефенеридний.

Таблиця 15

Епоха 1866 жовт. 6.0 еф. час.	1942 жовт. 18.0 еф. час.
M_0 357.06695 \pm 0.000001	358.42444 \pm 0.000000
ω 357.50298 \pm 0.000045	358.27216 \pm 0.000009
Ω 79.64295 \pm 0.000035	78.60842 \pm 0.000008
i 18.20452 \pm 0.000008	17.90123 \pm 0.000004
φ 59.13479 \pm 0.000009	59.41887 \pm 0.000002
M 0.0265689 \pm 0.00000000	0.0253741 \pm 0.00000000
e 0.858377	0.860910
q 1.575272	1.595290
P 37.096	38.843
T 1867 січ. 20.63145 еф. час.	1942 груд. 10.09142 еф. час.

Значення θ - σ по елементам 1966 р. показують, що з 40 спостережень 1867 р. з відхиленням $(\Delta \alpha \cos \delta) < 15''$, $(\Delta \delta) < 15''$ 32 спостереження, або 80% дають $(\Delta \alpha \cos \delta) < 10''$, $(\Delta \delta) < 10''$, а 14 спостережень, або 35% дають їх менше $5''$.

Для 1942-1943 рр. ці цифри відповідно рівні: 92 спостереження з 95, або 97% з відхиленням менше $10''$ та 85, або 89% з відхиленням менше $5''$. При інтегруванні назад від елементів 1942 р. до елементів 1866 р. з врахуванням збурень від всіх великих планет були одержані слідуючі поправки (табл.16), які можуть залежати від переважного впливу дії негравітаційних сил.

Таблиця 16

$\Delta M_0 = -0.00228$	$\Delta C = +0.00045$
$\Delta \omega = -0.00390$	$\Delta \varphi = +0.00011$
$\Delta \varrho = -0.00049$	$\Delta \mu = +0.0000315$

Поправки (табл. 16) показують зміни в елементах орбіти за два оберти (між 1967 р. та 1942 р. було пропущено появлення комети 1904 р.).

Нами були опубліковані ефемериди комети на 1980 р. як без врахування негравітаційних ефектів (КЦ 247), так і з їх врахуванням (КЦ 245). Це були єдині елементи, опубліковані по даній кометі до її відкриття. В 1980 р. комета перевідкрита в добрій відповідності з нашими елементами, а також з елементами Д.К. Йонанса (які опубліковані тільки після перевідкриття комети (КЦ 267)).

Порівняння з нашими ефемеридами на момент перевідкриття комети дає слідуючі значення :

КЦ247 КЦ245

1980 ІІ

черв. 13.34583 + 1.45 +14.1 -1.85 =16.4

19.36979 + 1.51 +15.6 -1.96 =17.4

Проаналізувавши 180 спостережень комети з 10 червня 1980 р. до 4 квітня 1981 р. і виключивши 21 спостереження, ми по 159 спостереженням з врахуванням збурень від всіх 9 планет поліпшили нашу систему елементів (КЦ 247) і одержали нову систему з $\bar{\sigma} = \pm 1''.58$ Якщо врахувати тільки зміну $\Delta M_0 = -0.04614$ за один оберт для нашої системи (КЦ247), то момент проходження через перигелій комети визначається з точністю до $0''.15$, що при $T=37.7$ р.

можна вважати досить надійним результатом.

Для комети Коджія-Стефана-Отерми необхідно звернути увагу на різке падіння видимого блиску, який за короткий період з 22 січня 1867 р. до 4 квітня 1867 р. впав з 7^m до $11^m - 12^m$. Можливо, таке падіння блиску привело до того, що в наступному появленні 1904 р. комета не була знайдена.

б). Комета Вестфаля (1852 IV).

Була відкрита 24 липня 1852р. Вестфален (Геттінген), як об'єкт $7^m - 8^m$. Багато дослідників комети відмічали різке падіння блиску 14 жовтня поблизу перигелію. Дослідження комети в появленні 1852-1853 рр. проведено Гнатеком в 1910 р. [14]. Він показав, що його система елементів задовільно представляє спостереження тільки до 13 грудня 1852 р. (з 14 до 30 грудня комета не спостерігалася), а для останніх спостережень (з 31 грудня до 11 січня) є значні розходження між спостереженнями та обчисленнями.

Нагагання Гнатека поліпшити один з елементів орбіти (e) тільки по Δ привело до різкого погіршення $0-S$ по δ та навпаки. Такий чиним, виникли значні труднощі при поліпшенні елементів уже в першому появленні комети.

В другому появленні комета відкрита 26 вересня 1913 р., як об'єкт $7,5^m - 8,0^m$, спостерігалася до кінця жовтня цього ж року. Багато спостерігачів звернули увагу на різке падіння блиску ще до проходження через перигелій. М. Вільєв [53]. Система Вільєва добре представляла появлення 1913 р., але об'єднати два появлення комети ходному з дослідників не вдавалося. Тому ми поставили задачу:

1) за нашою методикою провести поліпшення елементів за двона появленнями та одержати надійні системи елементів для 1852 р. та 1913 р.;

2) визначити причину відхилень останніх спостережень 1852 - 1853 рр.;

3) обчислити елементи для наступного появлення комети в 1974 р.

За вихідну прийнята система I Вільєва.

Епоха 1913 серп. 21.0 еф. часу

$$K_0 = 358.43742$$

$$\omega = 57.05479$$

$$\Omega = 347.30917$$

$$i = 40.87130$$

$$\varphi = 66.87456$$

$$e = 0.0159834.$$

1950.0 (1)

Провіями інтегрування від (1) до 1852 р. ми одержали систему елементів, яка давала значні 0-С. В результаті ряду послідовних поліпшень елементів 1852 та 1913 рр. по 101 спостереженню (45 з 29.07 до 13.12 1852 р. і 56 для 1913 р.) одержали елементи 1852 р. та IV.1913 р., які представляли ці спостереження з $\sigma = \pm 2''.55$. Такі системи елементів для цих років з малими середніми похибками були одержані вперше.

За намов нетодікою була поліпшена також система 1852 р. по 7 з 9 останніх спостережень першого та 56 другого появлення. Були одержані системи III 1852 р. та IV 1913 р. Системи IV та IV майже не відрізняються. Невелика відмінність елементів II та III (табл. 17) пояснюється впливом негравітаційних ефектів уже в першому появленні. В табл. 17 елементи віднесені до рівнодення 1950.0 еф. часу.

Таблиця 17

Сист.	II	III	IV
Епоха	1852 черв. 21.0		1913 серп. 21.0
Mo	358 ^o .18272±0.00000	358 ^o .18299±0.00002	358 ^o .43737±0.00001
ω	57.05387±0.00015	57.06443±0.00287	57.05652±0.00025
Ω	347.54869±0.00010	347.58007±0.00335	347.30820±0.00013
i	40.94515±0.00005	40.95107±0.00107	40.87267±0.00016
φ	66.94918±0.00002	66.94772±0.00008	66.87450±0.00003
μ	0.0159076±0.0000000	0.0159076±0.0000000	0.159834±0.0000000
e	0.920159	0.920148	0.919647
q	1.250159	1.250316	1.254180
β	61.959	61.958	61.664
T	1852 жовт. 13.2369	1852 жовт. 13.2217	1913 лист. 26.7685

Значення 0-С для 9 останніх спостережень першого появлення комети, які проведено на 4 різних обсерваторіях, показані в табл. 18.

Відхилення одного порядку для спостережень на різних обсерваторіях і з різними інструментами свідчать про те, що тут справа не в систематичних похибках спостережень, а в наявності негравітаційних ефектів, які можуть відбуватися в перших появленнях комети, коли в їх ядрах проходять бурхливі процеси. В слідуючих появленнях комети такої помітної зміни елементів може не спостерігатися навіть тоді, коли спостереженнями охоплені біля тризлі

Таблиця 18

$t_{\text{ср.}}$	Система II		Система III		Обсерваторія
	$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$	$\Delta \alpha \cos \delta$	$\Delta \delta$	
1852 груд. 31. 75105	-19.0	+19.4	+5.7	+0.4	Бонн
1853 січ. 1. 73135	-22.4	+23.3	+2.9	+4.4	Бонн
3. 73508	-31.1	+16.0	-4.6	-2.6	Бонн
6. 74420	-23.6	+20.3	-1.2	+2.4	Бонн
6. 74660	-29.7	+21.3	-1.3	+3.3	Бонн
7. 88035	-37.1	+15.2	-7.9	-2.4	Кенігсберг
9. 98048	-32.2	+18.4	-2.3	+1.1	Ліверпуль
9. 99428	-23.4	+17.2	+6.3	0.0	Ліверпуль
10. 05902	-33.3	+11.2	-2.7	-5.0	Берлін

проміжки часу. На можливі зміни елементів орбіти в одному появленні для ряду довгоперіодичних комет ($P > 1000$ р.) вказували в своїй роботі Б. Марсден, З. Соканіна та Д. Йонанс [77].

Системи елементів II, III, IV (табл. 17) добре представляють спостереження в обох появленнях. Так, з 180 спостережень 1852-1853 рр. з відхиленням $\Delta \alpha \cos \delta$ та $\Delta \delta$ менш 15", 155 спостережень (81%) дають відхилення менш 10", а для 1913 р. - відповідно 119 з 127 (97%) відхилення менш 10". Так як зміна елементів орбіти комети в 1952 р. відбулась через деякий час після проходження кометою перигелію, то для першого появлення більш імовірним слід вважати такий момент для системи II (табл. 17).

При інтегруванні від 1913 р. (сист. IV) до 1952 р. одержана система II'. Різниця між системами II і II' (на ту ж епоху) має наступні значення:

$$\begin{aligned} \Delta N_0 &= +1.27224 & \Delta c &= +0.02022 \\ \Delta \omega &= +0.07600 & \Delta \varphi &= +0.14209 \\ \Delta Q &= +0.00553 & \Delta \mu &= -0.0003007. \end{aligned}$$

Спостережені поправки для комети Вестфалія та одержані з обчислень добре співпадають (див. табл. 4). Це свідчить, що зміна елементів у комети відбулась поблизу перигелію.

Для комети Вестфалія спостерігалося різке падіння блиску поблизу перигелію як в 1852 р., так і в 1913 р. Зміна абсолютного блиску H_0 в кожному появленні показана на рис. 5 та 6.

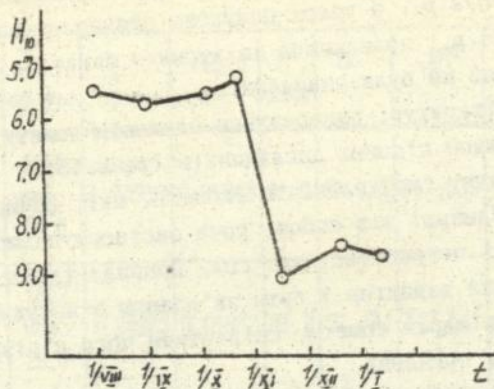


Рис. 5. Зміна H_{10} комети Вестфала (1852-1853)

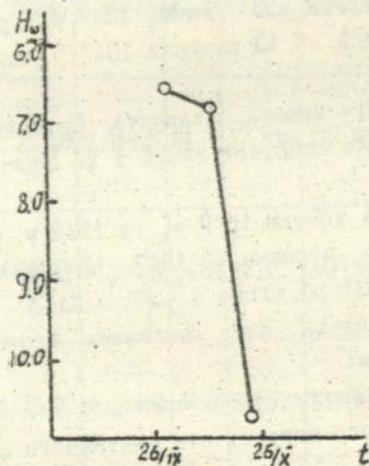


Рис. 6. Зміна H_{10} комети Вестфала (1913)

Максимальна зміна абсолютного блиску як в першому, так і в другому появленні складає $\Delta H_{10} \approx 4^m$. З рис. 5 та 6 видно, що є деяке розходження між абсолютним блиском комети в кінці першого і на початку другого появиень (7.01.1853 р. $H_{10} = 8.4$, а 26.03.1913 р. $H_{10} = 6.5$). Таке розходження можна пояснити тим, що видимої блиск m в кінці першого появиення найімовірніше відносився до центрального згущення, а на початку другого видіння величина m могла визначити інтегральний блиск комети.

Провівши інтегрування з 1913 р. (сист. IV) до 1974 р. з вразу-

вання збурень від 9 великих планет і приблизним значенням можливих змін елементів в результаті негравітаційних ефектів, ми обчислили елементи для 1974 р., а також пошукову ефемериду на 1974 р.

На жаль, в 1974 р., незважаючи на зусилля багатьох дослідників цієї комети, вона не була знайдена.

В зарубіжній літературі приводяться елементи комети Вестфаля, обчислені нами та рядом відомих дослідників (табл. 19).

Табл. 19 показує, що елементи комети, які обчислювалися різними авторами, близькі між собою, хоча застосовувалися різні методи врахування дії негравітаційних сил. Природа таких сил може носити досить складний характер і бути зв'язаною з потужними фізичними процесами в ядрах комети, свідченням чого є різка зміна її блиску в кожному з появлень.

в). Комета Брорзена-Меткофа (1847 V).

Комета була відкрита 20 липня 1847 р. Брорзенон (обс. Альтона) і спостерігалася до 13 вересня 1847 р. по обидві сторони перигелію.

В другому появленні комета відкрита Меткофом (обс. Саутс Херо, США) і систематично спостерігалася з 22 серпня до 15 листопада 1919 р.

Об'єднання появлень комети 1847 р. та 1919 р. провів Дукерт [71] і за 13 нормальними місцями (3-1847, 10-1919) одержав нові елементи, які представляли ці місця з $\sigma = \pm 11''$.

При об'єднанні Дукертон двох появлень комети залишилися невіршеними такі питання:

- 1) порівняно велика похибка одного нормального місця;
- 2) ухилення обчислювального періоду від фактичного майже на 2 роки.

В нашій роботі ми поставили мету провести об'єднання двох появлень комети та знайти нові елементи, які б задовільно представляли всі точні спостереження комети.

Намагання провести поліпшення будь-яких систем елементів тільки по спостереженням 1847 р. завжди давали $\sigma > 6''$. В той же час роботи багатьох дослідників комет з різних країн показують, що сучасні методи дозволяють такі обчислення робити з $\sigma \leq 3''$ для комет, які спостерігалися в XIX ст. та з $\sigma \leq 2''$ при спостереженнях XX ст.

Крім того, при поліпшенні орбіт, які охоплюють малу дугу (комета Брорзена-Меткофа з $P \approx 71$ р. спостерігалася в 1847 р. немн

Таблиця 19

Дослід- ник	T, еф. час	T ₀ , еф. час	φ , з.о.	e	P, роки	ω°	ϱ°	i°	Збур. планети	Література
Шрутка, Марсден	1852, новт. 13.218	1852, вер. 29.0	1.24990	0.91948	61.2	57.033	347.538	40.931	Юпітер- Плутон	Quarterly Jornal R.Astron. Soc. 1974,15, P.450 - 451.
Карр	1852, новт. 13.222	1852, вер. 29.0	1.24985	0.91952	61.2	57.034	347.541	40.932	Венера- Плутон	
Білоус	1852, новт. 13.239	1852, черв. 21.0	1.25016	0.92016	62.0	57.054	347.549	40.945	Мерк.- Плутон	— // —
Білоус	1913, лист. 26.769	1913, серп. 21.0	1.25418	0.91965	61.7	57.056	347.308	40.873	Мерк.- Плутон	— // —
Карр	1913, лист. 26.826	1913, лист. 9.0	1.25402	0.91983	61.9	57.112	347.302	40.884	Венера- Плутон	— // —
Шрутка, Марсден	1913, лист. 26.827	1913, лист. 9.0	1.25407	0.91980	61.8	57.110	347.299	40.883	Юпітер- Плутон	— // —
Карр	1976, січ. 3.8	1974, груд. 19.0	1.25990	0.92056	63.2	57.029	347.295	40.805	Венера- Плутон	Handbook Brit. Astr. Ass., 1975
Білоус	1975, груд. 26.9	1974, новт. 20.0	1.26094	0.91937	61.8	56.896	347.279	40.774	Мерк.- Плутон	IAUC 2770, 2886
Шрутка, Марсден	1975, груд. 28.7	—	—	—	—	—	—	—	Юпітер- Плутон	Q.J.Astr. Soc. 1974, 15,P.459.

двох місяців), ми одержали нестійку орбіту з великими похибками в елементах, а тому важко робити висновок про можливий вплив негравітаційних сил на її елементи орбіти.

За відомими класичними методами вікону з дослідників не вдалося об'єднати двох появлень комети з малими середніми квадратичними похибками.

Користуючись нашою методикою послідовного поліпшення елементів орбіти для двох появлень і не проводячи інтегрування рівнянь руху на кожному етапі по 63 спостереженням 1847 р. та 1919 р. (18+45), були одержані системи елементів комети для 1847 та 1919 рр. (табл. 20). Табл. 20 показує, що нові елементи задовільно представляють всі точні спостереження в кожному появленні.

Так, з 41 спостереження 1847 р. з відхиленнями $|\Delta \log \cos \delta| \leq 15''$, $|\Delta \delta| \leq 15''$ більшість, або 29 спостережень (70%), дають ці відхилення менш 10".

Для 1919 р. ці цифри відповідно рівні: 117 спостережень з 135, або 86% дають відхилення менш 10".

Таблиця 20

Епоха	1847 лют. 18.0 еф. час	1919 серп. 20.0 еф. час
M_0	359.25320 ± 0.00000	359.20052 ± 0.00000
ω	129.37267 ± 0.00078	129.46850 ± 0.00045
Ω	311.25287 ± 0.00078	311.20161 ± 0.00034
i	19.14278 ± 0.00002	19.21679 ± 0.00021
φ	76.32117 ± 0.00006	76.40224 ± 0.00004
M	0.0136159 ± 0.0000000	0.0136984 ± 0.0000000
q	0.487879	0.484891
e	0.971636	0.971970
P	71.34	71.95
T	1847 IX 10.0538 еф. час	1919 X 17.3632 еф. час
N	63	63
σ	2.9	2.9

При інтегруванні від елементів 1919 р. (табл. 20) до 1847 р. одержуємо нову систему елементів, яка відрізняється від елементів 1847 (табл. 20) на невеликі поправки в елементах, які можуть викликатися різними причинами, але основна з них це дія негравітаційних сил. Різниця між елементами табл. 20 і одержаними при інтегруванні має наступні значення:

$$\begin{aligned} \Delta N_0 &= +0.21669 & \Delta i &= -0.00177 \\ \Delta \omega &= +0.01645 & \Delta \varphi &= -0.10943 \\ \Delta \mathcal{L} &= -0.01560 & \Delta \mu &= -0.0003342. \end{aligned}$$

Середньолобові зміни елементів φ та μ для спостережень і обчислень знаходяться у добромu співвідношенні між собою (див. табл. 4)

$$\varphi'/\mu'_{обл} = 660. \quad \varphi'/\mu'_{сл} = 655.$$

Ці співвідношення показують, що зміни елементів комети відбувалися поблизу перигелію.

О. Д. Дубяго [59] ввів термін "косого" обертання, показавши, що якщо прийняти в першому наближенні сферичну форму ядра комети, то кут I , утворений віссю обертання ядра з напрямом руху комети, можна визначити за формулою

$$\operatorname{tg} I = \frac{(1 - \sin i) \sin \omega}{2 \sin i \cos \varphi} \frac{\Delta \varphi}{\Delta \mathcal{L}}$$

Для комети Брукса він одержав $I = 33^\circ$.

Комета Бронзена-Меткофа за різницею елементів, приведених вище, має $I = 44^\circ$, а екватор комети утворює кут $\Theta = 46^\circ$ з площиною її орбіти (рис. 7). На рис. 7 T - трансверсальна складова реактивного прискорення; W - його радіальна складова.

Такі розрахунки, хоча і досить наближені, дають уяву про можливе відхилення осі обертання комети від напрямку, перпендикуляр-

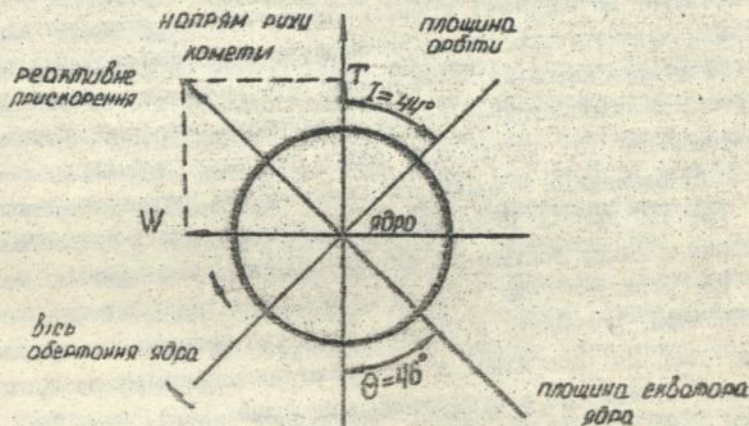


Рис. 7. "Косе" обертання комети Бронзена-Меткофа

ного до площини її орбіти.

Вперше такі результати одержав О. Д. Дубяго для комети Брукса, яку можна віднести до сімейства Юпітера. Дослідження проводилось по п'яти її появленням.

Для комети Брорзена-Неткофа подібні результати здержані лише по двох появленням (комету можна віднести до сімейства Нептуна, її $P \approx 71$ р.).

В липні 1989 р. комета Брорзена-Неткофа була відкрита в своєму третьому появленні з досить великою похибкою в моменті проходження через перигелій ($\Delta T = -15^{\text{d}}.6$) порівняно з ефemerидою Б. Марслена, яка не враховувала дію негравітаційних сил (КЦ 404, 1989р.).

Така похибка відповідає для комети Брорзена-Неткофа $\Delta N_0 = +0^{\circ}.2186$. За нашими розрахунками, які наведені в роботі вище, $\Delta N_0 = +0^{\circ}.2167$ (КЦ 243, 1979 р.), що відповідає моменту проходження через перигелій $\Delta T = 0^{\text{d}}.1$.

В роботі по кометі Брорзена-Неткофа Т. А. Виноградової та В. А. Цора [54] показано, що за класичними методами різниця $\Delta N_0 = +0^{\circ}.2090$, що дало б можливість одержати (за нашими розрахунками) $\Delta T = 0^{\text{d}}.6$, що трохи гірше, ніж у наших роботах, але значно краще, ніж ΔT при перевідкритті комети. Крім того, за нашими розрахунками, в згаданій роботі $\varphi''/\mu'_{\text{од}} = 674$, $\varphi''/\mu'_{\text{сл}} = 645$, а $I = -39^{\circ}$. Все це показує, що одержані різниці елементів, які наведені авторами [54], свідчать про те, що різниці не випадкові похибки обчислень (за думкою авторів), а результат дії негравітаційних сил. Так як за класичними методами не можна одержати нові елементи з малими похибками, то орбіта буде більш нестійка, але загальний характер змін елементів залишається залежним від негравітаційних ефектів. Навіть кут I зберігає як свій знак, так і приблизне своє значення в межах доступного астрофізичного експерименту. Ми вважаємо, що різноманітний підхід до вивчення такої комети, як Брорзена-Неткофа, дозволить з більшою точністю виявити дію негравітаційних сил, які пов'язані з складними процесами, що відбуваються в ядрах комети або в оточуючому середовищі.

3. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Виконана робота показує, що при дослідженні всіх комет, як короткоперіодичних, так і довгоперіодичних, необхідно враховувати можливі зміни елементів під впливом негравітаційних сил. Такі сили пов'язані з фізичними процесами, які протікають як на самих

кометах, так і в оточуючому їм космічному просторі. Так як на сучасному етапі розвитку науки не достатньо вивчені закономірності всіх фізичних процесів, які можуть привести до виникнення негравітаційних сил, то ми не будували ніяких моделей таких процесів. Ми вважаємо, що жодна з моделей не може охопити всіх складних фізичних явищ, що відбуваються в космічному середовищі. Не можна зараз відповісти, на якій ділянці кометних орбіт виникають негравітаційні ефекти: поблизу перигелію, чи далі від нього, де може мати вплив проходження комети через гальмуєче середовище, чи вплив сонячного вітру, чи вплив магнітних полів або якихось інших недостатньо вивчених факторів.

В роботі показано, що одним з можливих шляхів дослідження дії таких ефектів є відокремлення змін елементів під впливом сил гравітації та негравітаційних сил.

Застосована нами методика послідовного поліпшення кометних орбіт дозволила знаходити зміни елементів під переважним впливом негравітаційних сил як для короткоперіодичних комет сімейства Юпітера таких, як комети Борреллі та Даніеля, так і для комет з більш значними періодами Коджія-Стефана-Отерни, Вестфаля та Брорзена-Меткофа, які можна віднести до далеких сімейств Урана та Нептуна.

В результаті проведених в роботі досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Знайдені по перших трьох появленнях комети Борреллі закономірності змін в середній аномалії під впливом негравітаційних сил дозволили представити ці зміни графічно. Одержаний нами графік дав можливість врахувати вплив таких сил на H не тільки для всіх появлень комети, але і для двох пропущених появлень 1939 та 1946 рр., а також надійно обчислити елементи для появлень 1973 р. та 1980 р. Графічний метод також дозволив дослідити, що для комети Борреллі відбулася зміна вікового сповільнення на вікове прискорення, що утруднявала об'єднання елементів орбіт в її перших появленнях.

Графічний метод врахування впливу негравітаційних сил на рух комети, яка спостерігалася в декількох появленнях, застосований вперше, що дозволяло об'єднати 8 появлень комети. Такого об'єднання в інших авторів не було.

2. Методика послідовного поліпшення елементів кометних орбіт дозволила вперше одержати надійні елементи для перших появлень комет Коджія-Стефана-Отерни, Вестфаля та Брорзена-Меткофа.

Ніякими іншими методами до наших досліджень не вдавалося представити переважну більшість спостережень в перших появленнях цих комет, або вони представлялись з значними похибками.

3. Проведений контроль змін елементів C_f та M для комет Вестфаля та Брорзена-Меткофа показали, що для цих комет вплив негравітаційних сил на елементи орбіт відбувався в основному поблизу перигелію. Такий контроль для комет далеких планетних сімейств Нептуна, які спостерігалися лише в двох появленнях, проведений вперше і дав результати такого ж порядку, що і у інших авторів для комет з більш короткими періодами, які мали по три та більше появлень. По двох появленнях комети Брорзена-Меткофа було знайдено приблизне значення нахилу осі обертання ядра до напрямку руху комети, що добре підтверджує ідею О.Д. Дубяго про існування "косого" обертання ядра у деяких комет, що раніше було знайдено тільки для комети Брукса, яка спостерігалася в більш як трьох появленнях.

4. Наведені в роботі поліпшення кометних орбіт, інтегрування рівнянь руху за різними методами з врахуванням збурень від всіх великих планет, дозволяють розділити зміни елементів, які викликають сили гравітації, від впливу негравітаційних сил. При цьому заздалегіть не робиться допущень про те, чи вплив негравітаційних сил відбувається неперервно на всій орбіті, чи скачком поблизу перигелію. Такий підхід дозволяє за єдиною методикою досліджувати рух періодичних комет різних планетних сімейств, які спостерігалися в двох і більше появленнях.

Подібні дослідження можуть зберігати своє значення і при подальшому підвищенні точності спостережень, удосконалення методів поліпшення елементів кометних орбіт або методів інтегрування рівнянь руху. Подібні удосконалення методів досліджень дозволять одержати більш точні значення змін елементів кометних орбіт під впливом негравітаційних сил і з більшою надійністю знаходити закономірності таких змін.

5. Для короткперіодичних комет сімейства Шпітера, які мали декілька появлень, за відомими класичними методами не вдавалось об'єднати більш 3-4 появлень, пропускаючи іноді появлення з більшим числом спостережень (наприклад, при об'єднанні появлень комети Даніеля не було враховано її перше появлення, яке охоплювало більше 200 спостережень). Нам вдалося в ряді випадків одержати задовільні результати тоді, коли інші методи не працювали (наприклад, елементи для 1943/1944 р., або елементи для перших по-

явленнь комет Коджія-Стефана-Отерми, Вестфаля, Брорзена Меткофа).

Для комети Борреллі нами одержаний більш простий шляхом результат, аналогічний тому, що в подальшому одержали американські вчені за більш складним методом.

Ми вважаємо, що для різностороннього вивчення впливу негравітаційних сил на рух комет слід використовувати різноманітні методи дослідження, що дозволить виявляти різні сторони складних фізичних явищ, які ведуть до виникнення негравітаційних ефектів.

6. При дослідженні комет, проведенні поліпшення їх орбіт, необхідно, щоб всі одержані нові елементи задовільно представляли точні спостереження, які були опубліковані в пресі. При дослідженні нами 8 комет задовільно була представлена новими елементами переважна більшість з 1910 точних спостережень. При поліпшенні кометних орбіт бажано, щоб середня квадратична похибка одного спостереження або нормального місця не перевищувала 2" для спостережень XX ст., та 3" для спостережень XIX ст. Для всіх досліджених нами комет така умова виконується (такого ж порядку середня похибка у багаточисельних дослідженнях американських вчених).

7. Так як виникнення негравітаційних сил в багатьох випадках може бути пов'язано з фізичними процесами, то одним з можливих шляхів вивчення негравітаційних ефектів та їх прогнозування може бути вивчення зміни абсолютного блиску комет на протязі одного або декількох появлень. В зв'язку в цим представляє інтерес графік змін блиску комети Вестфаля в кожному появленні, та можливий зв'язок такої зміни з дією негравітаційних сил на елементи орбіти уже в першому появленні комети, а також неможливість спостереження комети в третьому появленні. Графік зміни абсолютного блиску комети Борреллі, який приведений в роботі теж, в деякій мірі пояснює, чому комета не була відкрита в 1939 та 1946 рр. Значний інтерес може представляти і зворотна задача, яка сформульована в нашій роботі.

На основі проведених нами досліджень та аналізу робіт інших авторів по вивченню руху комет ми приходимо до висновку, що на сучасному етапі при визначенні комет в різних їх появленнях завжди слід виходити з положень, що негравітаційні сили впливають на рух комет.

Тому, незалежно від того, які методи застосовуються, або які фізичні чи математичні моделі лежать в основі досліджень, необ-

хідно довести, як можна врахувати вплив негравітаційних сил, чи довести, що йа даному відрізку часу вони незначні, а тому їх можна не враховувати при вивченні руху окремих комет.

Основні результати роботи доповідалися на слідуєчих симпозиумах, колоквіумах і семінарах.

Симпозиум №45 НАС (Ленінград, серпень 1970)

ХІ Пленум Комісії по кометам і метеорам Астрономічної Ради АН СРСР (Київ, листопад 1971).

Колоквіум №22 НАС (Ніца, квітень 1972)

Симпозиум №62 НАС (Варшава, вересень 1972)

Київська конференція дослідників комет і астероїдів (жовтень 1974).

ІХ Всесоюзна конференція з фізики та динаміки комет і астероїдів (Київ, жовтень 1976).

Науковий семінар з проблем кометної астрономії в Інституті теоретичної астрономії АН СРСР (Ленінград, 1961-1974 рр.)

Науково-технічні конференції Північно-Західного зооного політехнічного інституту (Ленінград, 1967-1976 рр.)

Наукова конференція Київського держуніверситету, присвячена 325-річчю возз'єднання України з Росією (квітень 1989).

Перші Всесвятські читання (Київ, липень 1985).

Другі Всесвятські читання (Київ, червень 1988).

Треті Всесвятські читання (Київ, червень 1995).

Публікації робіт Л.М.Білоуса, які ввійшли в доповідь :

1. Белоус Л.М. Комета 1949 ІУ Баппу-Бока-Ньюкирка//Астр.Цирк. АН СССР, 1961, N 226, С.2-3.
2. Belous L.M. Comet Varpu-Bock-Newkirk (1949 IV)// IAUCirc 1961, N 1778.
3. Белоус Л.М. Окончателъная орбита кометы Баппу-Бока-Ньюкирка (1949 ІУ)// Блл. ИТА, 1964, т.9, №8, С.569-575.
4. Белоус Л.М. Окончателъная орбита кометы 1953 П Меркоса// Кометный циркуляр, 1965, N 24.
5. Белоус Л.М. Окончателъная орбита кометы Меркоса (1953 П)// Блл. ИТА, 1966, т.10, N 8, С.543-548.

6. Белоус Л.М. Окончательная орбита кометы 1945 X Бестера// Кометный циркуляр, 1967, N 54.
7. Белоус Л.М. Окончательная орбита кометы Бестера 1948 X // Бюлл. ИТА, 1970, т.12, N3, С.257-260.
8. Белоус Л.М. Исследование движения кометы Боррелли с 1904 по 1967 (тезисы)// Симпозиум N45 МАС. Ленинград, 1970, С.17-18.
9. Белоус Л.М. Движение кометы Боррелли с 1904 по 1968г.г. и влияние негравитационных сил (тезисы)// XIII Пленум комиссии по кометам и метеорам Астросовета АН СССР, Киев, 1971, С.59.
10. Белоус Л.М. Использование нормальных мест и отдельных наблюдений при улучшении кометных орбит (тезисы)// XIII Пленум комиссии по кометам и метеорам Астросовета АН СССР, Киев, 1971, С.59-60.
11. Belous L.M. An Investigation of the Motion of Periodic Comet Borrelly from 1904 to 1967// IAU Symp. N 45, 1972, P. 190 - 194.
12. Belous L.M. Comet Bester 1948 X// Catalogue of cometary orbits. Cambridge, USA, 1975.
13. Belous L.M. Comet Bappy-Bock-Newkirk 1949 IU// Catalogue of cometary orbits. Cambridge, USA, 1975.
14. Belous L.M. Comet Mrkos 1953 II// Catalogue of cometary orbits. Cambridge, USA, 1975.
15. Belous L.M. P/Comet Borrelly// Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, 1972, vol.13, P. 430 - 432.
16. Belous L.M. P/Comet Borrelly 1973// IAU Circ, 1973 N 2531.
17. Белоус Л.М. Движение периодической кометы Вестфала в 1852 - 1913 гг.// Кометный циркуляр, 1973, N150.
18. Белоус Л.М. Эфемерида периодической кометы Вестфала 1852 19-1913 91// Кометный циркуляр, 1973, N 154.
19. Белоус Л.М. Использование нормальных мест и отдельных наблюдений при улучшении орбиты кометы Боррелли по восьми появлениям 1904-1968 гг.// Проблемы космической физики, 1973, вып.8, С.118-122.
20. Белоус Л.М. Комета Брорзена-Меткофа 1847 U - 1913 III// Кометный циркуляр, 1974, N 161.
21. Белоус Л.М. Исследование движения кометы Боррелли (1905 II) с 1904 по 1968 гг.// Бюлл. ИТА, 1974, т. 13, N 8, С.501-506.

22. Белоус Л.М. Комета Вестфала 1852 IV - 1913 VI// Бюлл. ИТА, 1974, т.13, № 9, С.548-549.
23. Белоус Л.М. Эволюция кометы Боррелли (1905 П) за 400 лет (1660-2060 гг.)// Бюлл. ИТА, 1974, т.13, № 9, С. 546-547.
24. Belous L.M. P/Comet Borrelly (1973 ш.)// IAU Circ., 1974 N 2694.
25. Белоус Л.М. Комета Брорзена-Меткофа 1847 U - 1919 III// Бюлл. ИТА, 1974, т.13, № 9, С.550.
26. Белоус Л.М. Элементы и эфемериды кометы Вестфала 1852 IV - 1913 VI// Кометный циркуляр, 1974, № 169.
27. Белоус Л.М. Исследование движения кометы Вестфала за 1852 - 1913 гг.// Труды Казанской городской астрономической обсерватории, 1974, т.40, С.69-78.
28. Belous L.M. Le mouvement de la comete Borrelly de 1904 a 1968 et l'influence des forces non gravitationnelles // IAU Collog., 1974, N 22, P. 175 - 179.
29. Belous L.M. The Motion of Comet Westphal in 1852 - 1974 // IAU Symp. 1975, N 62, P. 135.
30. Belous L.M. P/Comet Westphal// IAU Circ. 1975, N 2770.
31. Белоус Л.М. Исследование движения периодической кометы Брорзена-Меткофа за 1847-1919 гг.// Проблемы космической физики, 1975, вып.10, С.16-23.
32. Белоус Л.М. Об улучшении кометных орбит по двум появлениям// Кометный циркуляр, 1977, № 208.
33. Белоус Л.М. О положении оси вращения ядра кометы Брорзена-Меткофа (1847 U)// Проблемы космической физики, 1977, вып.12, С. 110-112.
34. Белоус Л.М. Элементы орбиты короткопериодической кометы Коджия-Стефана-Отерми// Кометный циркуляр, 1978, № 237.
35. Белоус Л.М. Негравитационные силы в движении кометы Брорзена-Меткофа (1847 U - 1919 III)// Кометный циркуляр, 1979, № 243.
36. Белоус Л.М. Элементы короткопериодической кометы Боррелли (1974 VII)// Кометный циркуляр, 1979, № 243.
37. Белоус Л.М. Короткопериодическая комета Коджия-Стефана-Отерми (1867 I - 1942 IX)// Кометный циркуляр, 1979, № 245.
38. Белоус Л.М. Короткопериодическая комета Коджия-Стефана-Отерми (1867 I - 1942 IX)// Кометный циркуляр, 1979, № 247.
39. Белоус Л.М. Об улучшении кометных орбит по двум появлениям//

Проблемы космической физики, 1979, вып.14,
С. 102 - 108.

40. Белоус Л.М. О движении кометы Даниэля 1909 IV с 1909 по 1964// Проблемы космической физики, 1979, вып.14.С. 108-113.
41. Belous L.M. P/Comet Stephan-Oterma (orbital Elements)// М.Р.С., 1979, 4658.
42. Belous L.M. P/Comet Stephan-Oterma (Ephemerides)// М.Р.С., 1980, 5226.
43. Белоус Л.М. Влияние негравитационных сил на движение кометы Брорзена-Меткофа 1847 U - 1919 III// Проблемы космической физики, 1980, вып.15, С.128-132.
44. Белоус Л.М. О движении кометы Коджия-Стефана-Отермы за 1867-1943 гг.// Проблемы космической физики, 1980, вып.15, С.132-136.
45. Белоус Л.М. Короткопериодическая комета Боррелли (1980 i)// Кометный циркуляр, 1987, N 369.
46. Белоус Л.М. О необходимости учета негравитационных сил в движении кометы Боррелли// Кометный циркуляр, 1987, N 369.
47. Белоус Л.М. Негравитационные эффекты в движении кометы Стефана-Отермы (1980 д)// Кометный циркуляр, 1990, N 410.
48. Белоус Л.М. О необходимости учета влияния негравитационных сил в движении кометы Брорзена-Меткофа (1989 о)// Кометный циркуляр, 1990, N410.
49. Белоус Л.М. Определение направления вращения ядра кометы по негравитационным эффектам// Кометный циркуляр, 1990, N 413.

Цитована література :

50. Батраков Ш.В., Беляев Н.А., Медведь В.Д., Чернетенко В.А. Улучшение элементов кометы Галлея// КЦ , 1986, N 353.
51. Беляев Н.А. Эволюция орбиты кометы Даниэля 1909 IV за 400 лет (1660-2060 гг.)// Бюлл. ИТА, 1967, N 10, С.696.
52. Бредихин Ф.А. Возмущения комет, не зависящие от планетных притяжений// 1864. М.(докт.дисс.).

53. Ulljev M. Uber die Bahn des Westphalischen Kometen in Jahre 1913// AN, 1914, N 199, P.11.
54. Виноградова Т.А., Шор В.А. К вопросу о негравитационных эффектах в движении кометы Брорзена-Меткофа// Бюлл. ИТА, 1979, т. XIV, N 8, С.472.
55. Всехсвятский С.К. Физические характеристики комет// М., 1958. С.25 - 32.
56. Dobrovolsky O.V., Markovitch M.Z. On nongravitational effects of two classes of models for cometary nuclei// JAU Symp., 1972, N 45, 287.
57. Doubjago A.D. Die Bahn des periodischen Kometen 1909 IV (Daniel)// Astr. Abh. AN, 1924, N 4, P.8.
58. Дубяго А.Д. Определение орбит. М., 1949, С.234 - 256.
59. Дубяго А.Д. Движение периодической кометы Брукса. Уч. Зап. Каз. у-та, 1956, т. 116, кн.6.
60. Казимирчак-Полонская Е.И. Применение методов численного интегрирования в особых прямоугольных координатах к исследованию планетоцентрического движения комет// Бюлл. ИТА, 1962, т. 8, С.459.
61. Маковер С.Г. Комета Энке-Баклунда// Тр. ИТА, 1955, т.6, С.66.
62. Медведев Ю.Д. Орбита кометы Вольфа на интервале 1884-1925 гг. // КЦ, 1986, N 353.
63. Мячин В.Ф. Об оценке погрешности численного интегрирования уравнений небесной механики// Бюлл. ИТА, 1959, т.7, С.257.
64. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., 1968, С.306 - 311.
65. Чеботарёв Г.А. Аналитические и численные методы небесной механики. М-Л., 1965, С.284 - 306.
66. Штейнс К.А., Залькаяне И.Э. О наиболее вероятной эволюции орбиты кометы Даниэля 1909 IV// Уч. зап. Латв. у-та, 1970, т.137, С.3.
67. Шульман Л.М. Динамика кометных атмосфер. Киев, 1972.
68. Becker J. On the orbit of the Periodic Comet 1867 I // MN, 1891, N 57, P.489.
69. Bond I.P. Mem. Americ Acad. and Sc. Now. 1849, Ser. 4.
70. Cowell P.H., Crommelin. Essay en the Return of Halleys Comet. Leipzig, 1910.
71. Duckert P. Untersuchungen uber die Bahn des Brorsen-Metcalfschen Kometen// AN, 1922, N 215, P.200.

72. Eckert W., Bronwer D. The use of rectangular coordinates in the differential correction of orbit// *Astron. J.* 1937, N 46, P.125.
73. Encke J.F. Über eine neue Methode der Berechnung der Planetenstörungen// *AN*, 1852, N 183, P.207.
74. Hnateck A. Comet Westphal// *AN*, 1910, N 185, P.288.
75. Kaminski M. Über die Bewegungen des Kometen Wolf I in den Zeiträume 1884-1919// *Actn. Astr.*, 1933, Vol. 3.
76. Marsden B.J. Comets and Nongravitational Forces// *Astr. J.*, 1968, N 73, P.367.
77. Marsden B., Sekanina Z., Jeomans D. Comets and nongravitational forces// *U Astron. J.*, 1973, N 78, P.211.
78. Schanmassé A. Sur l'orbite de la comète périodique Borrelly// *J. Obs.*, 1925, N 8, P.141.
79. Sekanina Z. New original and future comet orbits. Prague, 1966.

ДЛЯ ПОДАТК

ДЛЯ ПОДАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

453314

AB 33.808

AB 33.808