

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ім. І.І.МЕЧНИКОВА

На правах рукопису



БАЗЕИ Олександр Анатолійович

ДЕЯКІ СЛАБООБМЕЖЕНІ ЗАДАЧІ ТРЬОХ ТІЛ

В АСТРОФІЗИЦІ

Спеціальність 01.03.02. – астрофізика,
радіоастрономія

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Одеса – 1994


ДНБ ім. В. Стефанька
-нінї-
АН України



00376208 (Q)

Робота виконана в Одеському державному університеті.

Дисертація є рукописом.

Науковий керівник – доктор фізико-математичних наук
Крамер Ю.Н.Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор Асланов Сергій Константинович
кандидат фізико-математичних наук
доцент Орлов Владислав ПетровичПровідна установа: Астрономічна обсерваторія Харківського
Державного університетуЗахист відбудеться "27" січня 1995 року о 14 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.24.11 в
Одеському державному університеті, 270100, Одеса, Петра
Великого, 2.З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Одеського державного університету (вул. Пресображенська, 24).Автореферат розіслано "26" чудня 1994 р.Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради  Затовський О.В.

Актуальність теми. Вивчення руху космічних тіл можна розглядати як один з найважливіших розділів астрономічних наук, якщо включати сюди поведінку дифузної матерії, рух під дією електромагнітних полів. Математичний апарат класичної небесної механіки в наш час добре розвинутий і дозволяє обчислювати рух достатньо складних систем з високою точністю. Застосування небесномеханічного підходу до деяких астрофізичних задач дає можливість дещо по іншому уявити їх розв'язок. Таким чином є можливість побудувати моделі, що пояснюють стохастичність в зміні періодів деяких затемнюваних змінних зір, перетікання матерії між компонентами подвійних зоряних систем і систем з витягнутими оболонками. Аналогічним способом можна врахувати вплив магнітних полів на геометрію поверхней нульової швидкості.

Метою даної роботи є:

- дослідження впливу сильних магнітних полів на рішення обмеженої задачі трьох тіл, якщо третє тіло являє собою об'єм провідної рідини;
- пояснення стохастичного характеру змін періоду деяких затемнюваних змінних зір;
- теоретичний розгляд обмеженої задачі трьох тіл у випадку, коли одним з тіл кінцевої маси є протяжний об'єкт і вся система занурена в дифузну речовину;

- одержання аналітичного виразу інтегралів руху в модифікованій задачі трьох тіл;
 - дослідження впливу радіаційних факторів на рух тіл, масою яких можна знехтувати, по відомих орбітах у випадку великих нахилів до площини екліптики;
 - побудова числової моделі на основі одержаних результатів для уточнення опису космічних об'єктів;
- доповнення астрофізичного моделювання.

Наукова новизна роботи визначається насамперед такими результатами:

Відкрита якісно нова геометрія поверхней нульової швидкості в круговій обмеженій задачі трьох тіл в присутності сильних магнітних полів; досліджений вплив магнітного поля на розташування точок рівноваги.

Розглянуті слабообмежені задачі трьох тіл вирішувались в системі координат, яка зв'язана з центром Сонця; числове інтегрування проводилось в координатах з врахуванням як вікових, так і періодичних складових збурень в русі третього тіла.

Спільно з професором Ю.Н.Краммером виконано дослідження поведінки субміліметрових часток на високонахилених орбітах; на основі численних радіолокаційних, телевізійних і фотографічних спостережень виявлені особливості руху таких тіл, які потребують окремого розгляду.

Практичне значення роботи.

Врахувуючи в рівняннях руху речовини негравітаційні сили, можна одержати якісно нову модель астрофізичної системи.

Одержані аналоги інтеграла Якобі в системах з магнітним полем чи дифузною матерією дозволяють дослідити астрофізичні системи більш повно.

Постановка і моделювання слабообмеженої задачі трьох тіл дає можливість по-новому подивитись на проблему подвійних зір з змінним періодом.

Розроблена математична модель системи трьох тіл, що дозволяє прогнозувати вплив деяких негравітаційних ефектів на рух малого тіла в полі тяжіння двох масивних об'єктів. Модель побудована на основі інтегрування рівнянь руху в координатах, що дозволяє максимально імітувати реальну картину.

Вперше представлена нова топологія поверхней Хілла у випадку слабообмеженої задачі трьох тіл; в частковому випадку одержана множина точок рівноваги, які при деяких умовах перетворюються в кільце.

Дослідження руху тіла кінцевої, але малої маси у гравітаційному полі двох масивних тіл дозволяє пояснити раптовість стрибків періоду, які деколи спостерігаються в подійних системах, що, в свою чергу, дозволяє прогнозувати присутність невидимого супутника по його гравітаційному впливу на компоненти подвійної затемнюваної сис-

теми, що спостерігаються.

Одержані нові дані про структуру навколосонячної пилової хмари, яка належить сферичній складовій пилового комплексу Сонячної системи.

На захист виносяться такі наукові положення:

1. Математична модель розрахунку руху тіла, масою якого можна знехтувати з урахуванням радіаційних ефектів.
2. Структура поверхней Хілла і розташування точок лібрації у випадку руху рідкої провідної маси в сильному магнітному полі чи всередині дифузного об'єкту, витягнутої зоряної атмосфери.
3. Незалежна гіпотеза стохастичних змін періодів деяких затемнюваних змінних зір.

Апробація роботи. Основні результати роботи були представлені на засіданнях кафедри астрономії Одеського держуніверситету, наукових семінарах Одеської астрономічної обсерваторії, відділу змінних зір астрономічної обсерваторії, конференції пам'яті професора К.Д.Покровського (Одеса 1994), міжнародній конференції пам'яті Г.Гамова "Астрофізика і космологія після Гамова" (Одеса 1994).

Структура и об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, списку цитованої літератури, який вміщує 43 найменування, одного додатку. Повний обсяг

складає 121 сторінку, в тому числі 37 малюнків, 11 таблиць.

Зміст роботи.

У вступі описане коло проблем, які досліджуються в дисертації, обгрунтована актуальність роботи, сформульована мета, викладений зміст дисертації, наукова новизна, практична цінність і основні положення, що виносяться на захист.

Перша глава присвячена розгляду руху двох матеріальних точок навколо миттєвого центра мас в присутності третього тіла (матеріальної точки), маса якого значно менша на маси інших компонентів системи. Таким чином моделюється подвійна зоряна система членом якої є третя "легка" зоря чи масивна планета, здатна на певний вплив на рух в подвійній системі. Припускається, що навколо центральної масивної зорі (тіло 1) по практично круговій орбіті обертається супутник, зоря дещо меншої маси (тіло 2). Площина орбіти останньої в початковий момент орієнтована так, що спостерігач бачить цю пару як затемнювану систему. Третій компонент системи (тіло 3) має на два порядки меншу масу і рухається по витягнутій еліптичній орбіті навколо центральної пари. В апоастрі тіло 3 практично не впливає на рух тіл 1 і 2, але при проходженні періастру його вплив може бути значним. Орбіти тіл центральної пари цілком лежать всередині орбіти третього тіла, так що тіло 3 ніколи не проникає всередину кругової орбіти тіла 2.

Еволюція такої трійної системи визначалась методами числового інтегрування рівнянь руху в координатах. Це дозволило виявити всі подробиці в поведінці системи на невеликому інтервалі часу – біля 400 періодів обертання тіл 1 і 2. Третє тіло рухалось в площині, що нахилена до площини орбіти другого тіла під кутами 5, 20, 35, 50, 65, 80, 95, 110, 125, 140, 155, 170°. При малих нахилах система виявляється нестійкою. При нахилах більших 80° всяка циклічність в поведінці системи зникає. При ще більших кутах нахилу орбіти третього тіла коїться подальше зростання хаотичності в змінах елементів орбіти 2-го тіла. На основі одержаних результатів обчислювались світлові елементи затемненої змінної зорі. Для різних значень нахилу одержані різноманітні типи поведінки затемнено-подвійних зір – від розпаду потрійної системи до малоамплітудних змін світлових елементів. Ці зміни можуть бути стохастичними чи вираженими в періодичних коливаннях елементів орбіти затемненої пари. Характер руху в такій потрійній системі явно залежить від кута нахилу орбіти третього тіла до площини орбіти затемнено-подвійної зорі.

В другій главі розглянуто рух елемента провідної рідини в подвійній системі, один з компонентів якої володіє сильним полоїдальним магнітним полем. Магнітний дипольний момент перпендикулярний площині руху подвійної системи. З урахуванням сили Лоренца одержаний аналог інтеграла Якобі руху елементарного об'єма рідини біля цієї

площини і на деякому віддаленні від магнітного компонента. Це дозволило дослідити лінії нульової швидкості в описаній області. При обчисленнях значення густини провідної рідини приймалось 0.0001 г/см^3 . З зростанням магнітного дипольного моменту малюнок ліній нульової швидкості різко змінюється. Спочатку середня точка Лагранжа L_2 зміщується в сторону тіла, яке не має магнітного поля, а при значеннях дипольного моменту $10^{38} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ і зовсім зникає. Зникнення точки L_2 тягне за собою якісні зміни топології ліній нульової швидкості. Тому в тісних зоряних системах при наявності сильного магнітного поля обмін речовиною повинен проходити специфічним чином. Більш визначений висновок в рамках застосованого підходу зробити не вдається – необхідно ускладнити математичну модель.

В третій главі розглянута обмежена задача трьох тіл в якій одна з матеріальних точок (тіло 2), що рухається по круговій орбіті, замінена дифузним об'єктом – сферичною хмарою, центр якої обертається навколо другої матеріальної точки (тіло 1). Радіус хмари достатньо великий, так що система цілком знаходиться всередині його, густина хмари розподілена сферично симетрично відносно центру і спадає по степенному закону ρ_0 / r^α . Дисипативні сили не враховуються. В рамках описаної моделі одержаний аналог інтеграла Якобі, побудовані розрізи поверхнею нульової швидкості в трьох перпендикулярних площинах. Ці поверхні дещо відрізняються від класичних, зокрема,

замкнуті сфероїдальні поверхні оточують матеріальну точку 1 і відсутні навколо центра дифузного об'єкта 2. Центр останнього виявляється замкнутим всередині відкритих поверхонь, схожих з асимптотичними циліндрами, що оточують всю систему.

Досліджені подвійні точки поверхней нульової швидкості в описаній системі. Одержано, що для всіх $0 < \alpha < \pi$ існує лише дві подвійні точки поверхней нульової швидкості, які лежать на прямій, що сполучає точку 1 і центр хмари. В окремому випадку, коли густина хмари постійна ($\alpha=0$), подвійні точки представляють собою кільце з центром в точечній масі 1.

Четверта глава присвячена дослідженню руху космічного пилу в гравітаційному полі Сонця та Юпітера. Із-за достатньо малих розмірів третього тіла не можна знехтувати ефектом Лойтінга-Робертсона і променевим тиском в радіаційному полі Сонця. Особлива увага приділяється гравітаційним збуренням високонахилених орбіт. На основі поняття "власні елементи орбіти" виділяються сімейства серед малих тіл Сонячної системи, вводяться квазіінтеграли

$$J = e^2(0.4 - \sin^2 i \sin^2 \omega),$$

$$\mu = \sqrt{a(1 - e^2)} \cos i,$$

де e, i, ω, a — келлерові елементи орбіти пилової частинки. Далі ці квазіінтеграли застосовуються для дослідження поведінки C-орбіт, тобто таких орбіт, для яких кут між площиною екліптики і напрямком лінії апсид задоволь-

няє нерівність $\sin^2 \beta > 0.4$ і афелійна відстань яких $Q < 4$ а.о. Окремий параграф присвячений опису ефекта Пойнтинга-Робертсона та способам його врахування. Будується числова модель слабообмеженої задачі трьох тіл з урахуванням всіх гравітаційних збурень, променевого тиску та ефекта Пойнтинга-Робертсона. Проводиться обговорення результатів моделювання руху деяких метеорних тіл, що спостерігались. Найважливіший висновок полягає в тому, що, якщо подані в каталогах елементи орбіти достатньо надійні, то ці тіла виникли порівняно недавно — згідно моделі їх вік не може перевищувати декількох тисяч років. В кінці четвертої глави досліджується поведінка квазіконстант μ і ν , можливість їх використання для описання еволюції малих тіл Сонячної системи.

Основні результати роботи.

Широке застосування методів небесної механіки при вирішенні астрофізичних задач дозволяє більш точно моделювати реальні процеси, що відбуваються в міжзоряному просторі. Застосовуючи описаний підхід, автор одержав:

— псевдохаотичне рішення слабообмеженої задачі трьох тіл, яке можна застосувати до моделі затемненої змінної зорі з періодом, що змінюється неправильно;

— аналітичний вираз аналога інтеграла Якобі біля площини орбіти зір, що обертаються, для систем з сильним дипольним магнітним полем;

- зміну геометрії поверхней нульової швидкості в обмеженій задачі трьох тіл, якщо на тіло малої маси, якою можна знехтувати, впливає додаткова сила: сила Лоренца зі сторони магнітного поля на об'єм провідної рідини чи тяжіння дифузної речовини, розсіяної в системі трьох тіл;
- знайдені точки рівноваги в обмеженій задачі трьох тіл в присутності дифузного об'єкту;
- виявлені деякі особливості руху субміліметрових частинок на високонахилених орбітах в радіаційному полі центрального тіла при гравітаційних збуреннях з боку віддаленої планети. Одержаний результат потребує самостійного дослідження.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Базей А.А. Элемент плазмы в гравитационном поле двух тел в присутствии магнитного поля. *Астрономический журнал*. 1993. т.70. вып.1. с.220-223.
2. Базей А.А. Задача 2+1 затменных звезд. Псевдохаотическое решение. *Кинематика и физика небесных тел*. 1993. т.9. №5. с.52-57.
3. Базей А.А., Свешников М.Л. Предвычисление взаимных явлений в системе Плутона. Препринт №12, Ленинград, 1990. - 44с.

Базей А.А. Некоторые слабоограниченные задачи трех тел в астрофизике. (рукопись)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия, Одесский государственный университет, Одесса, 1994.

Защищается 3 научные работы по астрофизике.

В работе автор применил методы небесной механики для решения астрофизических задач: изменение периода затменной переменной звезды под влиянием третьего тела малой массы, учет влияния сильного магнитного поля и протяженной атмосферы на топологию поверхностей Хилла, оценка постоянства псевдоинтегралов движения в слабоограниченной задаче трех тел.

The dissertation advanced for a degree of Doctor (кандидат) of Science (Physics and Mathematics) in the speciality of 01.03.02 - astrophysics, radioastronomy, the University State of Odessa, Odessa, 1994.

The author defence a three science works of astrophysics. The author used the methods of celestial mechanics in work for solution of astrophysical problems of following: the variations of period of eclipsing star are by effect the third body of small mass, the calculation influence of strong magnetic field and extent atmosphere on geo-

metry of Hill surface, the estimate of constancy pseudo-integrals of movement in feebly restrict problem of three bodies.

Ключові слова: слабообмежена задача трьох тіл, кратні затемнюванно-змінні зорі, власні елементи і квазіінтеграли руху.

7/3 31. 659
AB 31.659

entry of Hill surface,
integrals of moment in freely restricted problem of
three bodies.

Ключові слова: слабозв'язана система трьох тіл, криві
заточеної площини; криві площини і криві інтег-
рального руху.