ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **Троянського Володимира Володимировича**
«Динаміка обраних подвійних і кратних малих тіл Сонячної системи»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка
(104 – Фізика та астрономія)

Дисертація Троянського В.В. присвячена проблемі динамічної еволюції орбіт подвійних та кратних малих тіл Сонячної системи, зокрема, вибраних астероїдних систем та супутників Плутона. Дане дослідження, з одного боку, є важливим для вивчення еволюції Сонячної системи, а з іншого – має практичну значущість, оскільки числове моделювання руху астероїдів, орбіти яких перетинають орбіту Землі, є основою для передбачення космічної небезпеки. Метою дисертаційного дослідження було вивчення числовими методами динаміки супутників астероїдів з врахуванням різного роду збурень (несиметричність гравітаційного поля астероїда, вплив Сонця та великих планет Сонячної системи, світловий тиск з врахуванням тіньової функції), а також дослідження вкладу періодичних та вікових збурень в еволюцію елементів орбіт астероїдних систем.

Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

В *першому розділі* охарактеризована сучасна класифікація груп та сімейств малих тіл Сонячної системи, перелічено методи відкриття подвійних та кратних астероїдів, вказано кількість астероїдів з супутниками, відкритих на сьогоднішній час кожним з методів. Описано особливості спостереження астероїдів при їх русі по геліоцентричним орбітам на телескопі ОМТ-800 на астрономічній станції «Маяки» НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету. Дано опис методу Вяйсяля визначення орбіти небесного тіла за двома спостереженнями.

В *другому розділі* дисертації викладено основні теоретичні положення, які є основою чисельного моделювання орбіт малих тіл Сонячної системи, а саме: динамічні рівняння та інтеграли руху задачі N тіл, розкладання зовнішнього гравітаційного потенціалу небесного тіла за сферичними функціями, методи врахування збурюючих факторів, які діють на астероїд (припливна деформація з боку супутника астероїда, гравітаційне притягання з боку Сонця, великих планет та супутників планет, тиск сонячного випромінювання).

В *третьому розділі* представлено отримані автором результати по чисельному моделюванню астероїдних систем. Вказано умову розриву та для 168 подвійних астероїдних систем розраховано критичні відстані, на які вони повинні зблизитись з кожною із планет Сонячної системи, щоб відбувся відрив супутника від астероїда. Наведено приклади деяких потрійних астероїдних систем, у яких спостерігається орбітальний резонанс між супутниками

НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Вх.№ 958/05
Дата 20.06.2017

астероїда, а також приклади систем, в яких спостерігаються спін-орбітальний та спін-спіновий резонанси між астероїдом та його супутником. Обчислено масу, велику піввісь та період обертання гіпотетичного супутника-пастуха, який, на думку автора, підтримує стійкість кілець у астероїда (10199) Chariklo. Автором проведено чисельне моделювання дев'яти систем малих тіл в Сонячній системі шляхом інтегрування методом Еверхарта рівнянь руху на інтервалі 100 та 1000 років; при цьому враховувались такі збурюючі фактори, як вплив великих планет Сонячної системи, несферичність форми компонентів, тиск сонячного випромінювання. За допомогою програмного забезпечення «Multi-Column View» автором виявлено резонансні співвідношення між періодами коливань окремих кеплерових елементів орбіт астероїдних систем та орбітальними періодами зближення досліджуваних астероїдних систем з Сонцем та великими планетами. Виокремлено астероїдні системи, які знаходяться у резонансі Козаї.

У *висновках* перераховано основні результати дисертаційного дослідження. *Додатки* містять таблиці з числовими даними про елементи орбіт подвійних та кратних астероїдів, що належать до окремих груп або сімейств, з результатами критичної планетоцентричні відстані, при яких відбувається розпад вибраних подвійних та кратних астероїдних систем, наведено графіки еволюції орбітальних елементів супутників астероїдних систем, отримані шляхом чисельного моделювання. *Список використаних джерел* містить 105 посилань, серед яких 23 посилання на публікації автора за темою дисертації.

Найбільш вагомими *результатами* дисертаційного дослідження є такі:

1. Чисельно промодельовано руху супутників в дев'яти подвійних та кратних астероїдних системах, отримані зміни елементів орбіт на інтервалах 100 та 1000 років, виявлено резонансні співвідношення в русі супутників астероїдів.
2. Виявлено 10 орбітальних, 26 спін-орбітальних і 28 спін-спінових резонансів в обраних подвійних і кратних системах малих тіл Сонячної системи.
3. Зроблено оцінку маси, великої півосі, періоду обертання супутника-пастуха, який підтримує стійкість кілець у астероїда (10199) Chariklo.
4. Шляхом оглядових спостережень подвійних і кратних малих тіл Сонячної системи, було відкрито два малих тіла, одне з яких ідентифіковано як раніше загублений астероїд.

Результати опубліковані у 8 статтях у міжнародних та вітчизняних фахових наукових виданнях та 15 тезах доповідей на конференціях та повністю відображають основний зміст виконаних досліджень. Автореферат повністю відповідає основному змісту дисертації.

Поряд з перевагами необхідно зробити деякі *зауваження до змісту* дисертаційної роботи:

1. Не наведено результатів чисельного моделювання, які б підтверджували правильність формули (3.4) на стор.60, яка виражає критичну відстань, на яку повинен наблизитись астероїд до великої планети, щоб відбувся відрив супутника астероїда. По суті, формула (3.4) співпадає з виразом для границі Роша стійкості супутника на круговій орбіті по відношенню до припливних сил. На нашу думку, для вибраних подвійних астероїдів слід провести більш детальне чисельне дослідження по оцінці ймовірності розпаду при зближенні з планетами.
2. Автор при чисельному інтегруванні диференціальних рівнянь руху застосовує метод Еверхарта 15-го порядку, однак при цьому наводить алгоритм знаходження коефіцієнтів та вузлів розбиття кроку інтегрування для методу 5-го порядку. Доцільно було б навести значення відповідних величин саме для методу 15-го порядку.
3. На стор.57 в формулі (2.54), яка виражає тіньову функцію для конуса, мають стояти знаки нерівності. Крім того, вершина конуса має бути зміщена відносно центру астероїда.

Зауваження до оформлення дисертаційної роботи:

1. На стор.41 в формулі (2.16) замість похідних $\frac{dx_i}{dt}$, $\frac{dy_i}{dt}$, $\frac{dz_i}{dt}$ написано частинні похідні $\frac{\partial x_i}{\partial t}$, $\frac{\partial y_i}{\partial t}$, $\frac{\partial z_i}{\partial t}$.
2. В деяких випадках автор допускає неточності в термінології: наприклад, замість терміну «сплющення» (стор.43) доцільно використати «стиснення»; замість «дифузно відображаючого тіла» (стор.54) – «дифузно відбиваючого тіла»; замість «пророкуючі рівняння» (стор.83) – «предикторні рівняння».
3. На стор.44 в реченні «Як і в разі зонального коефіцієнта ступеня 1, коефіцієнти ступеня 1 і близько 1 будуть дорівнювати нулю за умови, що центр системи координат збігається з центром мас» неточними є слова «коефіцієнти ступеня…близько 1».
4. Невдалим з наукової точки зору є речення «…чим вище ступінь і порядок гармоніки, тим більш тоншу і тоншу просторову структуру являє собою потенціал» (стор.45).
5. На стор.45–47 в формулах (2.29), (2.30), (2.32)–(2.38) пропущено дужки.
6. На стор.50–51 формули (2.42) не мають жодного відношення до обчислення моментів інерції тривісного еліпсоїда.
7. Описання методики обчислення кеплерівських елементів орбіти на основі координат та компонент швидкості в барицентричній системі координат доцільно було б розмістити не в розділі 3, а в розділі 2, де викладено основні теоретичні положення, що використовуються автором при моделюванні.

Вказані зауваження не знижують наукову цінність дисертаційного дослідження. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій

отримано ряд важливих результатів, пов'язаних з дослідженням динамічної еволюції малих тіл Сонячної системи. Автор виявив вміння як проводити теоретичні дослідження, так і здійснювати на телескопі спостереження по пошуку нових малих тіл Сонячної системи. Таким чином, вважаю, що Троянський Володимир Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка.

Кандидат фіз.-мат. наук,
доцент кафедри аерокосмічної
геодезії Національного
авіаційного університету А.О.Терещенко

Підпис А.О.Терещенка засвідчую:
Вчений секретар
Національного авіаційного університету
к.філол.н., доцент Г. Г. Єнчева

16.06.2017 р.