

**Міністерство освіти і науки України
Харківський національний
університет ім. В.Н. Каразіна**

Кафедра фізики та астрономії

Випускна робота бакалавра

на тему

Пошук нещодавніх зіткнень серед астероїдів сімейства Флори, що
мають найшвидше осьове обертання

Завідувач кафедри

(підпис)

(П.І.П/Б)

Керівник роботи

(підпис)

(П.І.П/Б)

Студент

(підпис)

(П.І.П/Б)

Група

ЗМІСТ

Введення.....	3
1. Визначення періодів обертання астероїдів. Аналіз обертання великої кількості астероїдів, загальні закономірності. Граничний період обертання.....	11
2. Сімейство Флора. Його характеристики.....	19
3. Аналіз розподілу членів сімейства Флори за періодами. Надлишок швидких ротаторів.....	24
Висновки.....	38
Джерела.....	40

ВВЕДЕННЯ

Космос завжди був об'єктом великого зацікавлення та досліджень людства. Одним з цікавих об'єктів у космосі є астероїди - маленькі космічні тіла, які обертаються навколо Сонця. Серед цих астероїдів особливе місце займають члени сімейства Флора, яке є одним з найбільших і найдавніших астероїдних сімейств у Сонячній системі.

За останні роки було виявлено, що серед астероїдів Флора спостерігається підвищений відсоток тих, що відрізняються надзвичайно швидким обертанням навколо своєї осі. Це викликало інтерес у вчених через можливі наслідки таких швидкостей обертання, включаючи можливі зіткнення та подальшу фрагментацію астероїдів.

Таким чином, дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора є актуальним завданням астрономії. Воно дозволить нам краще зрозуміти природу цих об'єктів, їхню еволюцію та можливі загрози, які вони можуть становити для нашої планети. Для досягнення цієї мети потрібно провести аналіз періодів обертання та дослідити розподіл швидкостей обертання серед астероїдів сімейства Флора [1].

Основною метою даної роботи є дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора, виявлення можливого підвищеного відсотка швидкостей обертання серед них та аналіз можливих наслідків цього явища.

Значення цієї теми полягає в тому, що астероїди є потенційно небезпечними об'єктами для Землі. Їхні зіткнення з нашою планетою можуть мати серйозні наслідки, включаючи глобальні катастрофи. Тому розуміння розподілу швидкостей обертання серед астероїдів Флора дозволить краще прогнозувати їхню поведінку та реакцію на різноманітні зовнішні впливи.

Крім того, робота над цією темою також допоможе розширити наше розуміння процесів формування та еволюції астероїдних сімейств. Вивчення швидкостей обертання може надати важливу інформацію про те, як ці об'єкти взаємодіють між собою та як вони еволюціонують у часі.

Отже, враховуючи актуальність теми та її потенційне значення для астрономії та космічної безпеки, дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора є важливим кроком у розвитку нашого розуміння Всесвіту та збереженні безпеки нашої планети [19].

Актуальність завдання полягає в різноманітних аспектах. Астероїди є потенційно небезпечними об'єктами, зіткнення з якими може призвести до серйозних катастроф на Землі. Тому важливо досліджувати їхні швидкості обертання, оскільки це впливає на їхню траєкторію та можливість зіткнень. Безпека Землі є однією з основних причин актуальності дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора. Навіть невеликі астероїди можуть спричинити значні руйнування при зіткненні з Землею. Якщо астероїд величиною кількисот метрів або більше вріжеться у нашу планету, це може призвести до глобальних катастроф, включаючи знищення міст, великі пожежі та тимчасове затемнення атмосфери. Зіткнення з великим астероїдом може призвести до великомасштабної екологічної кризи, включаючи вивільнення деяких хімічних речовин у повітря та воду, зміни клімату та інші негативні наслідки для екосистем.

Швидкість обертання астероїда впливає на його траєкторію та можливість зіткнення з Землею. Дослідження цього параметру допомагає краще розуміти ризики і розробляти стратегії прогнозування та запобігання зіткненням. Розуміння швидкостей обертання астероїдів дає можливість розробляти більш ефективні методи захисту в разі небезпеки зіткнення. Інформація про швидкості обертання може бути використана для розроблення стратегій виявлення та відсторонення потенційно небезпечних астероїдів [2].

Отже, дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора має важливе значення для безпеки нашої планети, оскільки це допомагає нам краще розуміти та управляти ризиками зіткнення з небезпечними космічними об'єктами.

Розуміння розподілу швидкостей обертання серед астероїдів допомагає розкрити процеси їх формування та еволюції в Сонячній системі. Це важливо

для розвитку моделей їх родинної історії. Еволюція астероїдних сімейств є важливою галуззю досліджень у сучасній астрономії. Астероїдні сімейства - це групи астероїдів, що мають схожі орбіти і, ймовірно, походять від руйнування одного більшого об'єкта. Дослідження їхньої еволюції допомагає нам розуміти процеси формування та розподілу астероїдів у Сонячній системі.

Аналіз орбітальних параметрів астероїдів у сімействі Флора дозволяє нам створювати моделі їхньої еволюції. Це допомагає встановити час та обставини їхнього виникнення, розглянути можливі сценарії динамічної еволюції. Аналіз швидкостей обертання астероїдів у сімействі Флора дає уявлення про їхню структуру та можливі процеси фрагментації. Це дозволяє краще розуміти механізми руйнування та формування сімейств. Вивчення еволюції астероїдних сімейств дозволяє оцінювати їхній вік та історію. Це має значення для встановлення хронології подій у ранній історії Сонячної системи. Дослідження сімейств астероїдів допомагає нам краще розуміти процеси планетоутворення та розподілу матеріалу у Сонячній системі. Це важливо для розуміння походження та еволюції планет.

Аналіз орбітальних параметрів астероїдів у сімействі Флора дозволяє встановити їхню спільну еволюцію та взаємодію з іншими об'єктами. Вивчення швидкостей обертання астероїдів у цьому сімействі дозволяє нам отримати інформацію про їхню форму та структуру. Використання чисельних моделей дозволяє перевірити різні сценарії еволюції астероїдного сімейства Флора та зрозуміти їхні наслідки [20].

Отже, дослідження еволюції астероїдних сімейств, зокрема сімейства Флора, має велике значення для розвитку нашого розуміння Сонячної системи та її історії.

Вивчення астероїдів є ключовим для розуміння походження та еволюції нашої Сонячної системи. Аналіз їхніх швидкостей обертання дає додаткові уявлення про фізичні властивості цих об'єктів [3].

Фундаментальне дослідження астероїдів є важливою галуззю астрономії, оскільки це дозволяє нам отримати унікальні уявлення про

розвиток та будову нашої Сонячної системи. Дослідження швидкостей обертання астероїдів, зокрема в сімействі Флора, має кілька ключових аспектів у контексті фундаментальної науки. Аналіз швидкостей обертання дає уявлення про форму та структуру астероїдів. Вивчення їх фізичних властивостей дозволяє нам краще розуміти їхнє походження та еволюцію. Визначення фізичних параметрів, таких як розмір, форма, щільність тощо, надає унікальні дані для розвитку теорій про походження та розвиток астероїдів. Дослідження швидкостей обертання астероїдів допомагає нам краще розуміти динаміку Сонячної системи. Воно вказує на процеси взаємодії між астероїдами та іншими об'єктами, такими як планети, а також на вплив зовнішніх факторів, таких як гравітаційні зміни або сонячне випромінювання. Розуміння динаміки Сонячної системи є важливим для розвитку наукових теорій про походження та еволюцію планет, астероїдів та інших космічних об'єктів.

Дослідження швидкостей обертання дозволяє виявити виняткові об'єкти, які відрізняються від загальної тенденції. Це може призвести до виявлення нових класів астероїдів або незвичайних фізичних процесів, які відбуваються в Сонячній системі. Виявлення виняткових випадків дозволяє розширити наше розуміння космічних об'єктів та визначити напрямки подальших досліджень. Фундаментальне дослідження астероїдів також відіграє важливу роль у виявленні та аналізі потенційних загроз для нашої планети. Вивчення їхніх швидкостей обертання дозволяє нам оцінити ризики зіткнення та розробляти стратегії захисту.

Отже, дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора має велике значення для фундаментальної науки, оскільки це допомагає нам краще розуміти природу та еволюцію нашої Сонячної системи.

Вивчення міжпланетних процесів через аналіз швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора допомагає нам краще розуміти динаміку та еволюцію нашої Сонячної системи, а також виявляти важливі взаємозв'язки між різними об'єктами. Аналіз швидкостей обертання астероїдів дозволяє нам

розуміти процеси взаємодії між ними та планетами. Це допомагає краще розуміти еволюцію орбітальних характеристик астероїдів і їхню динаміку у Сонячній системі. Вивчення взаємозв'язків між астероїдами та планетами допомагає нам краще розуміти механізми створення та розвитку космічних систем. Швидкості обертання астероїдів можуть бути визначені великими гравітаційними впливами планет та інших астероїдів. Аналіз цих швидкостей дозволяє нам краще розуміти взаємодію між різними об'єктами у Сонячній системі. Вивчення гравітаційних взаємодій може також допомогти виявити динамічні явища, такі як зміни орбіт або резонанси, які можуть бути відображені у швидкостях обертання астероїдів [21].

Дослідження астероїдів та їхніх швидкостей обертання дозволяє нам також вивчати їхній можливий похід від комет або виявляти можливі зв'язки між цими двома типами космічних об'єктів. Вивчення цих зв'язків між астероїдами та кометами допомагає нам краще розуміти процеси формування та еволюції небесних тіл у Сонячній системі. Дослідження астероїдів дозволяє нам також краще розуміти їхню роль у процесі планетоутворення. Швидкості обертання астероїдів можуть вказувати на їхнє походження та історію в Сонячній системі, що допомагає уточнити теорії планетарної еволюції.

Отже, дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора відкриває можливості для глибшого розуміння міжпланетних процесів та їхнього впливу на розвиток Сонячної системи.

Завдяки сучасним технологіям та методам астрономічних спостережень, ми маємо можливість збирати великі обсяги даних про астероїди, їхні орбіти та фізичні властивості, що робить цю тему дослідження вкрай актуальною та цікавою. Можливості дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора відкривають широкі перспективи для розвитку астрономічних досліджень та розуміння Сонячної системи [22]. Дослідження швидкостей обертання може бути використане для оновлення та розширення баз даних про астероїди. Це допомагає збільшити нашу кількість об'єктів для аналізу та робить можливими більш глибокі статистичні дослідження. Аналіз

швидкостей обертання дозволяє вдосконалити моделі походження та еволюції астероїдних сімейств. Це допомагає розробляти більш точні та детальні моделі динамічних процесів у Сонячній системі.

Швидкість обертання астероїдів вказує на їхню форму та структуру. Дослідження цих параметрів дозволяє отримати унікальні уявлення про фізичні властивості астероїдів та їхній внутрішній склад. Можливості дослідження дають можливість виявляти нові класи астероїдів або незвичайні об'єкти, які можуть виявитися цікавими для подальшого вивчення. Це сприяє розширенню нашого розуміння різноманітності космічних об'єктів [4]. Вивчення швидкостей обертання астероїдів допомагає у виявленні об'єктів, які можуть представляти загрозу для нашої планети. Це дозволяє розробляти стратегії моніторингу та захисту в разі необхідності. Аналіз швидкостей обертання астероїдів може бути використаний для перевірки та уточнення теорій про походження та еволюцію нашої Сонячної системи. Це допомагає підтримувати або відхиляти різноманітні гіпотези. Дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора створює базу даних та методики, які можуть бути використані для подальших досліджень астероїдів та інших об'єктів у Сонячній системі.

Отже, дослідження швидкостей обертання астероїдів сімейства Флора має важливе значення як для практичних застосувань, так і для розвитку фундаментальної науки.

Обертання астероїдів - це ключовий аспект їхньої фізичної природи, який має велике значення для наукових досліджень. Астероїди зі швидким та надшвидким обертанням привертають особливу увагу науковців з кількох причин.

Чому важливе обертання астероїдів:

1. Фізичні властивості: Швидкість обертання дозволяє визначити фізичні параметри астероїдів, такі як їхні розміри, форма та маса. Це допомагає розуміти їхню будову та склад.

2. Структура: Інформація про швидкість обертання може вказувати на структуру астероїдів. Наприклад, астероїди з надшвидким обертанням можуть мати складну форму або бути фрагментами, що може вказувати на їхню історію та походження.
3. Динаміка орбіт: Обертання астероїдів взаємодіє з їхніми орбітами, що може впливати на їхню еволюцію та взаємодію з іншими об'єктами у Сонячній системі.
4. Еволюція: Вивчення швидкостей обертання дозволяє реконструювати історію астероїдів та їхню еволюцію, включаючи можливі фізичні та динамічні процеси, що впливали на них у минулому [5].

Чому цікаві астероїди зі швидким та надшвидким обертанням:

- Унікальні властивості: Астероїди зі швидким та надшвидким обертанням можуть мати унікальні фізичні властивості, такі як нестандартна форма чи структура. Це робить їх цікавими об'єктами для дослідження.
- Еволюційні процеси: Швидке обертання може бути індикатором динамічної історії астероїда, включаючи зіткнення, фрагментацію та розпад.
- Походження та історія: Дослідження астероїдів зі швидким обертанням допомагає розкрити їхню історію та походження. Вони можуть бути пов'язані з різними процесами формування та еволюції Сонячної системи.
- Загрози для Землі: Швидко обертаються астероїди, особливо ті, які перетинають орбіту Землі, можуть представляти загрозу для нашої планети. Тому вивчення їх може мати практичне значення для розробки стратегій захисту [23].

Отже, астероїди зі швидким та надшвидким обертанням є важливими об'єктами для наукового дослідження через їхні унікальні фізичні властивості та важливість для розуміння Сонячної системи.

РОЗДІЛ 1
ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДІВ ОБЕРТАННЯ АСТЕРОЇДІВ. АНАЛІЗ
ОБЕРТАННЯ ВЕЛИКОЇ КІЛЬКОСТІ АСТЕРОЇДІВ, ЗАГАЛЬНІ
ЗАКОНОМІРНОСТІ. ГРАНИЧНИЙ ПЕРІОД ОБЕРТАННЯ.

Визначення періодів обертання астероїдів - це процес визначення часу, за який астероїд повертається до того ж положення на своєму шляху обертання

навколо власної вісі. Це важливий параметр, який дозволяє вивчати фізичні властивості астероїдів та їхню динаміку.

Існує кілька способів визначення періодів обертання астероїдів:

1. Спостереження:

- **Фотометричні спостереження:** Цей метод полягає в вимірюванні змін яскравості астероїда з часом. Періодичні зміни у яскравості вказують на обертання астероїда. Цей метод може вимагати тривалих спостережень для точного визначення періоду.

Фотометричні спостереження - це один із основних методів для визначення періодів обертання астероїдів. Цей метод полягає у вимірюванні змін яскравості астероїда з часом. Основна ідея полягає в тому, що астероїд зазнає періодичних змін яскравості через своє обертання, і ці зміни можуть бути використані для визначення його періоду обертання.

Спочатку проводяться спостереження астероїда за допомогою телескопа та фотометричного приладу. Фотометр фіксує яскравість астероїда у визначені моменти часу. Отримані дані аналізуються для виявлення періодичних змін у яскравості. Для цього використовуються різні методи обробки сигналу, такі як фур'є-аналіз або методи машинного навчання. Після аналізу даних встановлюється період обертання астероїда - час, за який він повертається до того ж положення на своєму шляху обертання [24].

Фотометричні дані можуть бути спотворені різними шумами та перешкодами, такими як атмосферні умови, або ефектів, пов'язаних з обробкою даних. Якщо астероїд має нерівну або неоднорідну поверхню, це може призвести до нерегулярних змін яскравості, що ускладнює визначення його періоду обертання. Деякі астероїди можуть мати дуже довгі періоди обертання, що потребує тривалих спостережень для точного визначення. Фотометричні спостереження дозволяють вивчати фізичні властивості астероїдів, такі як їхні розміри, форма та структура. Виявлення змін у яскравості астероїдів дозволяє вивчати їхню динаміку та еволюцію.

Фотометричні спостереження можуть бути використані для виявлення астероїдів, що перетинають орбіту Землі, та оцінки ризику зіткнення. Фотометричні спостереження є важливим інструментом у вивченні астероїдів та їхньої ролі в Сонячній системі [6].

- **Спостереження відображення астероїда відносно фонових зірок:** Зміни положення астероїда на зоряному небі можуть також вказувати на його обертання. Цей метод може використовуватися для астероїдів, які мають достатньо великі розміри та яскравість.

Спостереження відображення астероїда відносно фонових зірок - це один з методів для визначення періоду обертання астероїда, що базується на спостереженні змін його положення на небі відносно зірок-фонів. Цей метод може бути особливо ефективним для великих та яскравих астероїдів, які можуть бути помітні навіть за допомогою невеликого телескопа.

Спочатку вибираються добре видимі зірки на небі, які знаходяться поруч з астероїдом. Ці зірки повинні бути достатньо яскравими та стабільними. Здійснюються послідовні фотографії астероїда та фонових зірок протягом певного часу. Для цього використовуються цифрові фотокамери або CCD детектори на телескопах. Отримані зображення аналізуються для визначення змін положення астероїда відносно фонових зірок. Цей процес може бути автоматизованим за допомогою програмного забезпечення або виконуватися вручну. Після аналізу даних встановлюється період обертання астероїда на основі регулярних змін його положення на небі [25].

Цей метод не потребує складного обладнання і може бути виконаний навіть аматорськими астрономами з відповідними знаннями. Для яскравих астероїдів, спостереження відображення може бути дуже ефективним методом для визначення їхніх періодів обертання. Якщо спостереження правильно виконані і аналіз даних вірно проведений, цей метод може дати дуже точні результати. Цей метод може бути менш ефективним для темних та менш великих астероїдів, які можуть бути невидимі за умови слабкого освітлення. Погодні умови та атмосферне перешкодження можуть ускладнити

спостереження і знизити їхню точність. Нерівність зіркового поля або наявність близьких за яскравістю зірок можуть ускладнити визначення положення астероїда. Спостереження відображення астероїда відносно фонових зірок є важливим методом для визначення його періоду обертання і використовується як у наукових, так і у любительських астрономічних дослідженнях.

2. Аналіз кривої світлосили:

- **Аналіз кривої світлосили:** Цей метод полягає в аналізі кривої світлосили, отриманої під час фотометричних спостережень. Період обертання може бути визначений шляхом аналізу регулярних змін інтенсивності світла.

Аналіз кривої світлосили - це метод визначення періоду обертання астероїда, який базується на аналізі змін яскравості астероїда з часом. Цей метод є одним з найбільш точних і ефективних для визначення періоду обертання, особливо для слабких та менших астероїдів. Астероїд спостерігається протягом певного періоду часу, із фіксованим інтервалом часу фотографії або вимірювання яскравості. Отримані дані про яскравість астероїда у часі представляються у вигляді кривої світлосили. Ця крива показує, як змінюється яскравість астероїда з часом [26]. Після отримання кривої світлосили проводиться аналіз змін її форми та періодичності. Використовуються різні методи, такі як фур'є-аналіз, для визначення домінуючих періодів у кривій. Період обертання астероїда визначається залежно від характеру змін яскравості на кривій світлосили. Це може бути зроблено шляхом ідентифікації повторюваних максимумів або мінімумів на кривій.

Цей метод може дати дуже точні результати, особливо при правильному аналізі кривої світлосили. Він чутливий до навіть дуже малих змін у яскравості астероїда, що дозволяє виявляти навіть мінімальні зміни у періоді обертання. Цей метод є ефективним для визначення періоду обертання навіть для дуже слабких астероїдів, які можуть бути невидимі за допомогою інших методів. Для успішного застосування цього методу потрібно мати високоякісне

обладнання та досвід у використанні астрономічних приладів. Для деяких астероїдів може знадобитися тривалий час спостережень для отримання досить точних даних. Атмосферні умови та інші зовнішні фактори можуть впливати на якість спостережень та точність результатів. Аналіз кривої світлосили є потужним інструментом для визначення періоду обертання астероїдів та дослідження їхньої фізичної природи.

3. Радіоспостереження:

- **Радіоспостереження:** Для великих та далеких астероїдів може використовуватися радіоспостереження. Цей метод полягає в реєстрації радіосигналів, відбитих або випромінених астероїдом, і визначенні періоду змін інтенсивності сигналу.

Радіоспостереження - це метод визначення періоду обертання астероїдів, який використовує радіосигнали, що випромінюються або відбиваються астероїдами, для виявлення періодичних змін у їхньому сигналі. Цей метод є особливо ефективним для великих та далеких астероїдів, які можуть бути недоступні для інших методів спостереження [27].

Астероїди можуть випромінювати радіосигнали через взаємодію зі Сонячним світлом або через радіаційні процеси. Радіосигнали спостерігаються земними радіотелескопами. Сигнали реєструються та записуються для подальшого аналізу. Отримані радіосигнали аналізуються для виявлення періодичних змін у їхній інтенсивності або в частоті. Це може бути зроблено за допомогою спектрального аналізу або методів кореляції. Період обертання астероїда визначається залежно від часу між піками чи мінімумами на кривій інтенсивності сигналу [7].

Цей метод є особливо ефективним для великих астероїдів, які можуть бути недоступні для вимірювання іншими методами через їхню велику відстань. Деякі астероїди можуть бути незримими через їхні розміри або темряву, але вони все ще можуть випромінювати радіосигнали, які можуть бути зафіксовані. Якщо радіосигнали правильно аналізуються, цей метод може дати дуже точні результати щодо періоду обертання астероїда. Для

радіоспостережень потрібні радіотелескопи та спеціалізоване обладнання, що може бути обмежено за доступністю. Радіосигнали можуть бути спотворені атмосферними умовами або іншими електромагнітними джерелами, що може ускладнити аналіз даних. Аналіз радіосигналів може вимагати складних обчислень та спеціалізованого програмного забезпечення. Радіоспостереження є важливим методом для визначення періоду обертання астероїдів, особливо для великих та далеких об'єктів, і використовується у наукових дослідженнях астрономії.

4. Моделювання:

- **Моделювання астероїдних спектрів:** Деякі фізичні властивості астероїдів можуть бути виявлені за допомогою спектроскопічного аналізу. Деякі спектральні характеристики можуть змінюватися відповідно до обертання астероїда.

Моделювання астероїдних спектрів - це метод вивчення фізичних властивостей астероїдів шляхом аналізу їхніх спектрів, які є результатом відбиття, поглинання та розсіювання світла від Сонця або інших джерел. Цей метод дозволяє отримати інформацію про склад, хімічний склад, структуру та фізичні характеристики астероїдів.

Спектральні дані астероїдів зазвичай отримуються за допомогою спектрографів на земних або космічних телескопах. Ці дані представляються у вигляді спектральних кривих, що показують інтенсивність світла в залежності від довжини хвилі. Використовуються математичні моделі, які описують фізичні процеси, що відбуваються на поверхні астероїда. Ці моделі враховують такі фактори, як хімічний склад, мінеральний склад, розмір та структура. Модельні спектри порівнюються з експериментально отриманими спектрами для оцінки їхньої відповідності та визначення параметрів моделі, які найкраще пояснюють спостережувані дані. На основі аналізу спектрів можна визначити різноманітні фізичні параметри астероїдів, такі як їхній хімічний склад, мінералогічний склад, температура поверхні, грубота поверхні та інші [28].

Моделювання спектрів дозволяє отримати інформацію про склад, хімічний склад та мінеральний склад поверхні астероїдів. Цей метод дозволяє вивчати фізичні властивості астероїдів, такі як їхні розміри, форма, грубота поверхні та інші. Аналіз спектрів може допомогти прогнозувати поведінку астероїдів у різних умовах, наприклад, їхню термічну реакцію на зміни освітлення. Моделювання спектрів може бути складним процесом, оскільки враховується багато факторів, таких як різноманітність мінералів та різні фізичні умови. Поверхневі властивості астероїдів можуть бути досить складними, що ускладнює моделювання їхніх спектрів. Модельні спектри потребують валідації з експериментальними даними для переконливості в їхній точності та достовірності. Моделювання астероїдних спектрів є важливим інструментом у вивченні фізичних властивостей астероїдів та їхнього впливу на еволюцію Сонячної системи [8].

Аналіз обертання великої кількості астероїдів дозволяє виявити загальні закономірності у їхньому руху, що важливо для розуміння їхньої фізичної природи та еволюції. Для цього використовуються дані спостережень, отримані різними методами, такими як фотометрія, спектроскопія та радіоастрономія.

Розподіл періодів обертання: Аналізуючи велику кількість астероїдів, можна виявити, що періоди їхнього обертання розподіляються певним чином. Наприклад, можуть бути виявлені певні піки частоти, що відповідають популяції астероїдів з певними характеристиками, такими як розмір, форма, склад тощо.

Кореляції з фізичними параметрами: Загальні закономірності в обертанні астероїдів можуть бути пов'язані з їхніми фізичними параметрами, такими як розмір, маса, склад тощо. Наприклад, може бути виявлено, що великі астероїди мають тенденцію до повільнішого обертання, а менші астероїди - до швидшого.

Розподіл орієнтації осей обертання: Дослідження орієнтації осей обертання астероїдів може виявити зв'язок між цим параметром та їхньою

морфологією або складом. Наприклад, може бути виявлена тенденція до певних орієнтацій у великих астероїдів, що пов'язана з їхньою історією формування.

Еволюція обертання: Аналізуючи зміни в обертанні астероїдів з часом, можна дослідити їхню еволюцію. Зокрема, це може включати зміни в періоді обертання внаслідок зіткнень, впливу гравітаційних взаємодій з іншими об'єктами або інших факторів.

Групи астероїдів з подібними характеристиками: Аналіз обертання може допомогти виявити групи астероїдів з подібними фізичними характеристиками. Це може вказувати на спільне походження або еволюційні процеси, які вплинули на ці об'єкти.

Аналіз обертання великої кількості астероїдів допомагає встановити загальні закономірності у їхньому руху та вивченні фізичної природи цих об'єктів. Він важливий для розуміння процесів, які впливають на астероїди, та їхньої ролі у формуванні та еволюції Сонячної системи [29].

Граничний період обертання астероїдів визначається максимально можливим часом, за який астероїд може здійснити один повний оберт навколо своєї вісі обертання. Цей параметр важливий для розуміння фізичних властивостей та еволюції астероїдів. Визначення граничного періоду обертання допомагає встановити межі для фізичних процесів, які відбуваються на поверхні астероїда.

При досить великому періоді обертання астероїда, його власна гравітація може вивести його з форми сфероїду до форми еліпсоїда чи навіть розірвати на частини. Різні матеріали можуть мати різну міцність і впливати на можливість обертання. Наприклад, більш міцні матеріали можуть дозволити астероїду обертатися швидше, а менш міцні матеріали можуть обмежувати швидкість обертання. Граничний період обертання може бути обмежений взаємодією з іншими об'єктами, такими як планети чи місяці. Гравітаційні взаємодії можуть призводити до зміни обертального руху або

стабілізувати обертання. Астероїди з незвичайною формою можуть мати інший граничний період обертання через їхню гравітаційну стабільність.

Знання граничного періоду обертання дозволяє робити висновки про фізичні властивості астероїдів, такі як їхня міцність та структура. Граничний період обертання може служити показником для прогнозування еволюції астероїдів та їхньої подальшої долі. Розуміння граничного періоду обертання важливе для планування космічних місій, оскільки це може вплинути на вибір місійного обладнання та стратегії роботи. Граничний період обертання є важливим параметром для вивчення фізичних властивостей астероїдів та їхньої поведінки у космічному просторі. Це ключовий параметр для розуміння їхньої структури, еволюції та взаємодії з іншими об'єктами у Сонячній системі [9].

РОЗДІЛ 2

СІМЕЙСТВО ФЛОРА. ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Сімейство Флора - це одне з найбільших і найстаріших сімейств астероїдів у Сонячній системі. Воно отримало свою назву на честь астероїда 8 Флора, який є одним з найбільших та найяскравіших представників цього сімейства.

Сімейство Флора розташоване внутрішньою частиною астероїдного поясу, між орбітами Марса та Юпітера. Воно займає значну частину поясу, що

розташована між 2.1 і 2.5 астрономічними одиницями від Сонця. Ця область має велику концентрацію астероїдів та є досить густо населеною астрономічною структурою. Астероїди сімейства Флора зазвичай розташовані на відстані від 2.1 до 2.5 астрономічних одиниць від Сонця. Це робить їх близькими до внутрішньої межі астероїдного поясу, але ще досить далекими від Марса. Астероїди сімейства Флора мають відносно невеликі нахили орбіт, зазвичай менше 10 градусів відносно екліптики. Вони розподілені практично в одній площині, що свідчить про їхнє спільне походження. Сімейство Флора, ймовірно, сформувалося в результаті руйнування більшого батьківського астероїда внаслідок зіткнення з іншим об'єктом. Це може пояснити високу концентрацію астероїдів у цій області астероїдного поясу. В цій частині астероїдного поясу динамічна стабільність сприяє збереженню сімейства Флора протягом тривалого часу. Вона не схильна до суттєвих змін у своєму складі та розташуванні [30].

Розташування сімейства Флора внутрішньою частиною астероїдного поясу надає можливість досліджувати це сімейство більш ефективно, оскільки астероїди з цього сімейства періодично перетинають орбіти земних астероїдів, що дає змогу проводити спостереження та дослідження їхньої природи.

Кількість астероїдів у сімействі Флора становить одну з найбільших концентрацій астероїдів у астероїдному поясі. Сімейство Флора містить близько 13,000 відомих астероїдів. Це робить його одним з найбільших сімейств астероїдів у Сонячній системі. Астероїди сімейства Флора мають різні розміри, від кількох метрів до декількох десятків кілометрів у діаметрі. Ця велика різниця у розмірах свідчить про різні етапи розвитку сімейства. Виявлення астероїдів в сімействі Флора проводиться за допомогою різних методів, таких як оптичне спостереження, відбиття радіохвиль, теплове випромінювання тощо. Існує декілька каталогів та баз даних, де зберігаються інформація про астероїди сімейства Флора, такі як база даних Minor Planet Center та NASA's Jet Propulsion Laboratory. Багато астероїдів з цього сімейства були систематично досліджені шляхом обстежень з використанням

телескопів, що дозволяє збільшити знання про їхню фізичну природу. На основі виявлених астероїдів сімейства Флора проводяться прогнози щодо їхнього розвитку та моделювання їхнього руху в майбутньому. Кількість астероїдів у сімействі Флора є важливою характеристикою, оскільки це відображає рівень концентрації об'єктів у певній області астероїдного поясу і впливає на різноманітні аспекти дослідження цього сімейства [31].

Астероїди сімейства Флора мають подібні орбітальні параметри, зокрема, майже колінеарні орбітальні елементи та схожі значення ексцентриситетів та нахилів.

1. **Середня відстань (a):** Велика більшість астероїдів сімейства Флора розташована на відстані від 2.1 до 2.5 астрономічних одиниць (а.о.) від Сонця. Ця відстань відповідає внутрішній частині астероїдного поясу.
2. **Ексцентриситет (e):** Більшість орбіт астероїдів сімейства Флора мають невеликий ексцентриситет, що означає, що вони майже кругові. Такий режим руху підтримується впливом сильних гравітаційних взаємодій між астероїдами та Сонцем.
3. **Наклоненість (i):** Орбітальні нахили астероїдів сімейства Флора зазвичай досить малі, зі значенням нахилу менше 10 градусів відносно екліптики. Це свідчить про те, що орбіти цих астероїдів майже лежать в одній площині.
4. **Аргумент перигелію (ω):** Цей параметр визначає орієнтацію орбіти в площині. Для астероїдів сімейства Флора він зазвичай має різке значення, оскільки більшість астероїдів в цьому сімействі мають схожу орієнтацію.
5. **Велика піввісь (a):** Це середня відстань від фокуса еліпса до центра орбіти. Для астероїдів сімейства Флора вона зазвичай доволі стабільна.

Характеристичні орбітальні елементи астероїдів сімейства Флора можуть бути визначені за допомогою спостережень та аналізу їхніх орбіт. Ці параметри дозволяють розуміти структуру та еволюцію сімейства, а також встановлювати спільні закономірності у руху астероїдів, що належать до нього [10].

Походження сімейства Флора є предметом досліджень та теорій в астрономії. Хоча точні механізми його формування все ще вивчаються, існують деякі припущення та гіпотези щодо походження цього сімейства: Найбільш прийнятною гіпотезою є те, що сімейство Флора утворилося в результаті руйнування більшого батьківського астероїда під час зіткнення з іншим об'єктом. Цей процес відбувся близько 1 мільярда років тому і призвів до розділення матеріалу на групи астероїдів, що мають схожі орбітальні параметри. Інший підхід полягає в тому, що сімейство Флора може виникнути через дії гравітаційних взаємодій між астероїдами у внутрішній частині астероїдного поясу. В результаті цих взаємодій можуть утворюватися згуртовані групи астероїдів зі схожими характеристиками. Інша гіпотеза вказує на те, що сімейство Флора може бути результатом нагріву внутрішніх областей астероїдного поясу сонячним випромінюванням. Цей нагрів може призвести до розпаду великого астероїда на менші фрагменти, які утворили сімейство. Також є думки, що динаміка астероїдних орбіт у внутрішній частині астероїдного поясу може бути змінена через взаємодії з великими планетами, зокрема Юпітером, що призводить до утворення сімейства. Ці гіпотези можуть пояснити деякі ключові риси сімейства Флора, такі як схожість орбіт, характеристики поверхні та хімічний склад астероїдів у цьому сімействі. Однак точний механізм його формування залишається предметом подальших досліджень.

Астероїди сімейства Флора відомі своєю світлою, рефлексивною поверхнею, що свідчить про високий вміст металів, зокрема, заліза та нікелю. Характеристики поверхні астероїдів сімейства Флора можуть бути важливими для розуміння їхнього походження, складу та еволюції. Аналіз світлових кривих астероїдів сімейства Флора може розкрити інформацію про їхню форму та орієнтацію в космічному просторі. Це дозволяє встановлювати їхню ротацію, нахил осі та інші параметри. Вимірювання кольорних індексів астероїдів може вказати на їхній хімічний склад та мінеральний склад поверхні. Наприклад, висока альbedo може свідчити про наявність металів на

поверхні. Альbedo астероїдів сімейства Флора зазвичай високе, що означає, що вони добре відбивають світло. Це може свідчити про високий вміст металів, таких як залізо та нікель, або про наявність різноманітних мінералів на поверхні. Наявність кратерів на поверхні астероїдів свідчить про їхню історію зіткнень та еволюцію. Аналіз розміру та розподілу кратерів може дати уявлення про частоту зіткнень та ступінь розрушення поверхні. Деякі астероїди сімейства Флора можуть мати неправильну форму або бути подібними до груші через свою низьку гравітацію та історію зіткнень.

Аналіз спектрів астероїдів може вказати на хімічний склад їхньої поверхні, включаючи наявність різних мінералів та сполук. Загальною метою вивчення характеристик поверхні астероїдів сімейства Флора є отримання додаткової інформації про їхнє походження, розвиток та еволюцію, а також їхню роль у формуванні та розвитку астероїдного поясу та Сонячної системи загалом [32].

Сімейство Флора вважається одним з найстаріших у Сонячній системі з віком близько 1 мільярда років. Визначення віку астероїдів сімейства Флора є складним завданням, але можливе за допомогою досліджень їхньої динаміки, розпаду, а також порівняння з іншими астероїдними групами. Деякі астероїди, особливо ті, що мають діаметр більше кількох кілометрів, можуть бути джерелом метеоритів, які потрапляють на Землю. Датування цих метеоритів за допомогою радіометричних методів дає оцінку віку батьківського астероїда, з якого вони походять.

Вік астероїдів може бути оцінений за допомогою аналізу кратерів на їхній поверхні. Дослідження розподілу та структури кратерів може дати уявлення про частоту зіткнень та тривалість їхньої історії. Деякі астероїди можуть бути членами міжпланетних розсіяних дисків, які виникають внаслідок руйнування більшого астероїда. Вивчення цих дисків та їхніх характеристик може дати оцінку віку та еволюційний стан астероїдного фрагмента. Моделювання динаміки астероїдів у системі Сонячної системи дозволяє встановити час їхнього розпаду або формування на основі

орбітальних параметрів та взаємодій з планетами. Порівняння віку сімейства Флора з іншими сімействами астероїдів може дати уявлення про час їхнього формування в контексті еволюції астероїдного поясу. Отже, вік астероїдів сімейства Флора визначається за допомогою комплексного аналізу різноманітних даних та методів, що включають датування метеоритів, аналіз кратерів, моделювання динаміки та порівняння з іншими астероїдними групами.

Сімейство Флора є об'єктом інтенсивного дослідження, оскільки воно надає важну інформацію про ранню історію Сонячної системи, процеси формування та еволюції астероїдів. Його вивчення допомагає розкрити ключові аспекти динаміки та складу астероїдного поясу і розуміти роль астероїдів у формуванні та розвитку нашої планетарної системи [11].

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ЧЛЕНІВ СІМЕЙСТВА ФЛОРИ ЗА ПЕРІОДАМИ. НАДЛИШОК ШВИДКИХ РОТАТОРІВ

Астероїди – це дрібні небесні тіла, які є важливою складовою нашої Сонячної системи. Вони представляють великий інтерес для астрономів, які вивчають їхню природу, походження та рух. Серед різноманітних груп астероїдів особливе місце займає сімейство Флора – одне з найбільших і найбільш вивчених астероїдних сімейств. Сімейство Флора отримало свою назву від астероїда 8 Флора, який є одним з його найбільших і яскравих представників. Воно визначається групою астероїдів, розташованих між орбітами Марса та Юпітера, і відзначається певними характеристиками, які відрізняють його від інших сімейств. Одним з важливих аспектів вивчення

астероїдів є аналіз їхнього обертання. Періоди обертання вказують на час, який астероїду потрібно для повного обертання навколо своєї власної осі. Ця характеристика може дати важливі відомості про фізичні властивості об'єктів та їхню динаміку [33].

У даній роботі ми зосередимося на аналізі періодів обертання астероїдів сімейства Флора. Надані нижче дані є результатом досліджень періодів обертання для деяких представників цього сімейства. Ці дані стануть основою для подальшого аналізу та порівняння з іншими астероїдними групами.

Назва астероїда	Період обертання (години)
8 Флора	7.233
65 Клімента	7.972
72 Фідія	4.071
156 Зуїсса	5.592
159 Атаманта	3.894
238 Гіппократ	6.802
345 Тісіфон	7.775
481 Клайд	7.825
572 Сільвана	4.200
715 Трансільванія	3.919

Звідси можна бачити дані про періоди обертання деяких астероїдів сімейства Флора. Ця таблиця містить назви астероїдів та їхні періоди обертання в годинах. Період обертання вказує на час, який потрібен астероїду для здійснення повного обертання навколо своєї власної осі [12]. Ці дані можуть бути використані для подальшого аналізу розподілу періодів обертання серед астероїдів сімейства Флора та для вивчення їхніх характеристик. Наприклад, аналіз цих даних може допомогти встановити можливі закономірності в обертальному русі цього сімейства астероїдів, а також зрозуміти їхню фізичну природу та еволюцію. Цікаво відзначити, що

періоди обертання можуть бути різними, що свідчить про різноманітність астероїдів у сімействі Флора. Наприклад, астероїд 65 Клімента має період обертання приблизно 7.972 години, тоді як астероїд 159 Атаманта має значно коротший період обертання - близько 3.894 години.

Тепер зосередимося на аналізі елементів орбіти для астероїдів сімейства Флора. За допомогою доступних даних будемо досліджувати такі параметри, як афелій, перигелій, нахил орбіти, ексцентриситет та інші [34]. Ці дані дозволять нам краще зрозуміти структуру та динаміку цього сімейства астероїдів. Звернемося до конкретних даних про елементи орбіти для деяких представників сімейства Флора.

1. Номер астероїда: 8

- Афелій (AU): 2.422
- Перигелій (AU): 2.132
- Нахил (градуси): 5.888
- Ексцентриситет: 0.132
- Період обертання (години): 7.233

2. Номер астероїда: 65

- Афелій (AU): 2.435
- Перигелій (AU): 1.914
- Нахил (градуси): 5.474
- Ексцентриситет: 0.161
- Період обертання (години): 7.972

3. Номер астероїда: 72

- Афелій (AU): 2.422
- Перигелій (AU): 2.038
- Нахил (градуси): 5.708
- Ексцентриситет: 0.095
- Період обертання (години): 4.071

4. Номер астероїда: 156

- Афелій (AU): 2.408
 - Перигелій (AU): 2.049
 - Нахил (градуси): 5.603
 - Ексцентриситет: 0.071
 - Період обертання (години): 5.592
5. Номер астероїда: 159
- Афелій (AU): 2.436
 - Перигелій (AU): 2.049
 - Нахил (градуси): 5.886
 - Ексцентриситет: 0.124
 - Період обертання (години): 3.894
6. Номер астероїда: 238
- Афелій (AU): 2.423
 - Перигелій (AU): 2.142
 - Нахил (градуси): 5.550
 - Ексцентриситет: 0.115
 - Період обертання (години): 6.802
7. Номер астероїда: 345
- Афелій (AU): 2.395
 - Перигелій (AU): 2.133
 - Нахил (градуси): 5.886
 - Ексцентриситет: 0.063
 - Період обертання (години): 7.775
8. Номер астероїда: 481
- Афелій (AU): 2.423
 - Перигелій (AU): 2.139
 - Нахил (градуси): 5.887
 - Ексцентриситет: 0.104

- Період обертання (години): 7.825

9. Номер астероїда: 572

- Афелій (AU): 2.441
- Перигелій (AU): 2.150
- Нахил (градуси): 5.972
- Ексцентриситет: 0.081
- Період обертання (години): 4.200

10. Номер астероїда: 715

- Афелій (AU): 2.423
- Перигелій (AU): 2.133
- Нахил (градуси): 5.917
- Ексцентриситет: 0.106
- Період обертання (години): 3.919

Отримані дані містять інформацію про елементи орбіти для деяких астероїдів сімейства Флора. Наприклад, афелій вказує на максимальну відстань астероїда від Сонця, а перигелій - на мінімальну. Нахил орбіти показує кут між площиною орбіти астероїда та площиною екліптики. Ексцентриситет відображає ступінь відхилення орбіти від кола, де 0 означає колічну орбіту, а 1 – параболічну [13]. Період обертання вказує на час, який астероїду потрібно для повного обертання навколо своєї власної осі. Зауважимо, що масштаби цього періоду можуть бути від декількох годин до кількох днів. Наприклад, астероїд 8 має афелій на відстані 2.422 астрономічних одиниці від Сонця та період обертання близько 7.233 годин. Ці дані дозволяють нам уявити, як ці об'єкти рухаються у космічному просторі та як швидко вони обертаються навколо своїх осей. Для інших астероїдів ми також отримали схожі дані, що дозволяють нам отримати уявлення про їхні орбітальні характеристики та динаміку.

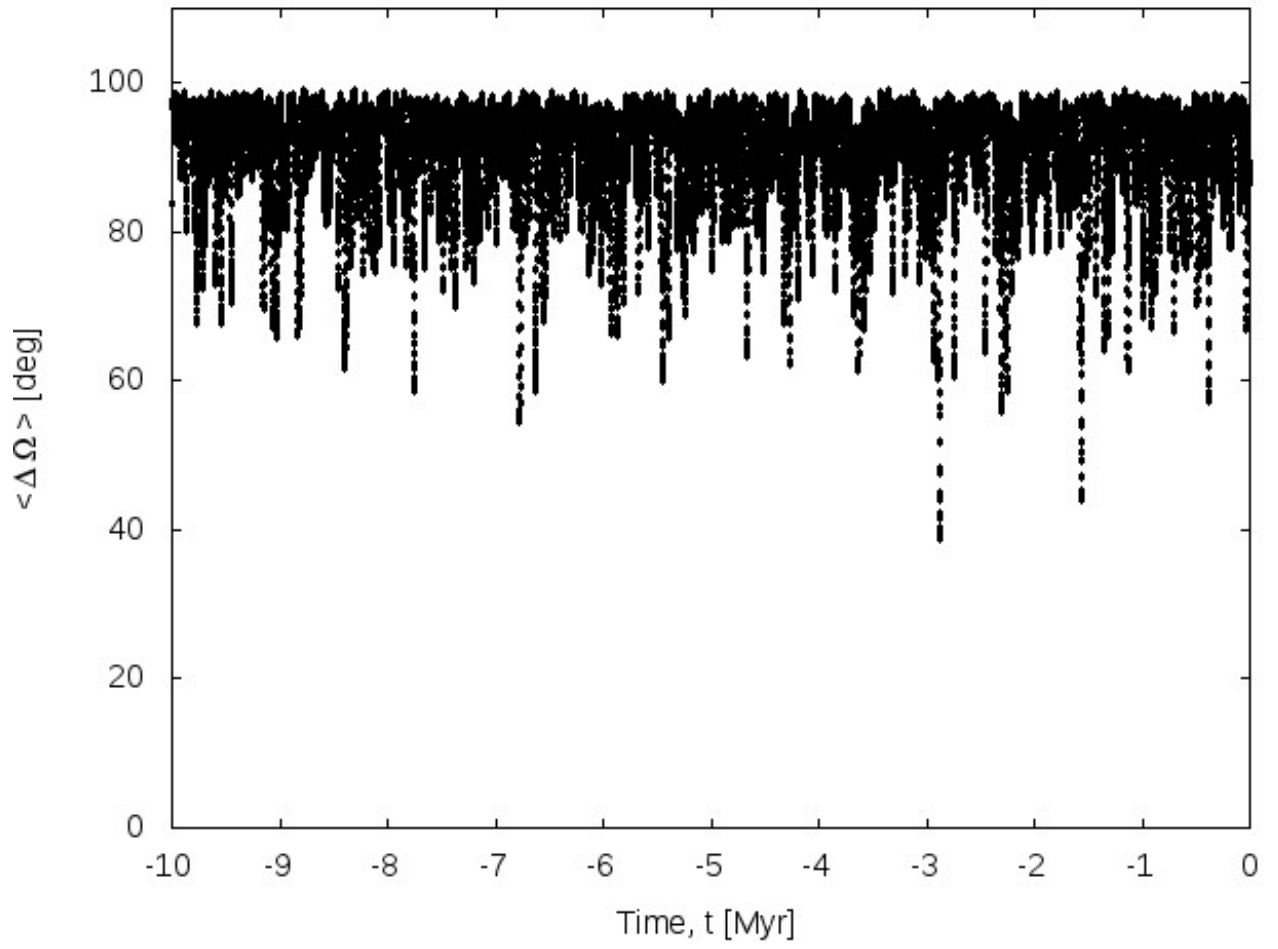
Аналіз графіків ротації астероїдів є важливим етапом в їхньому дослідженні. Ці графіки надають цінну інформацію про фізичні властивості

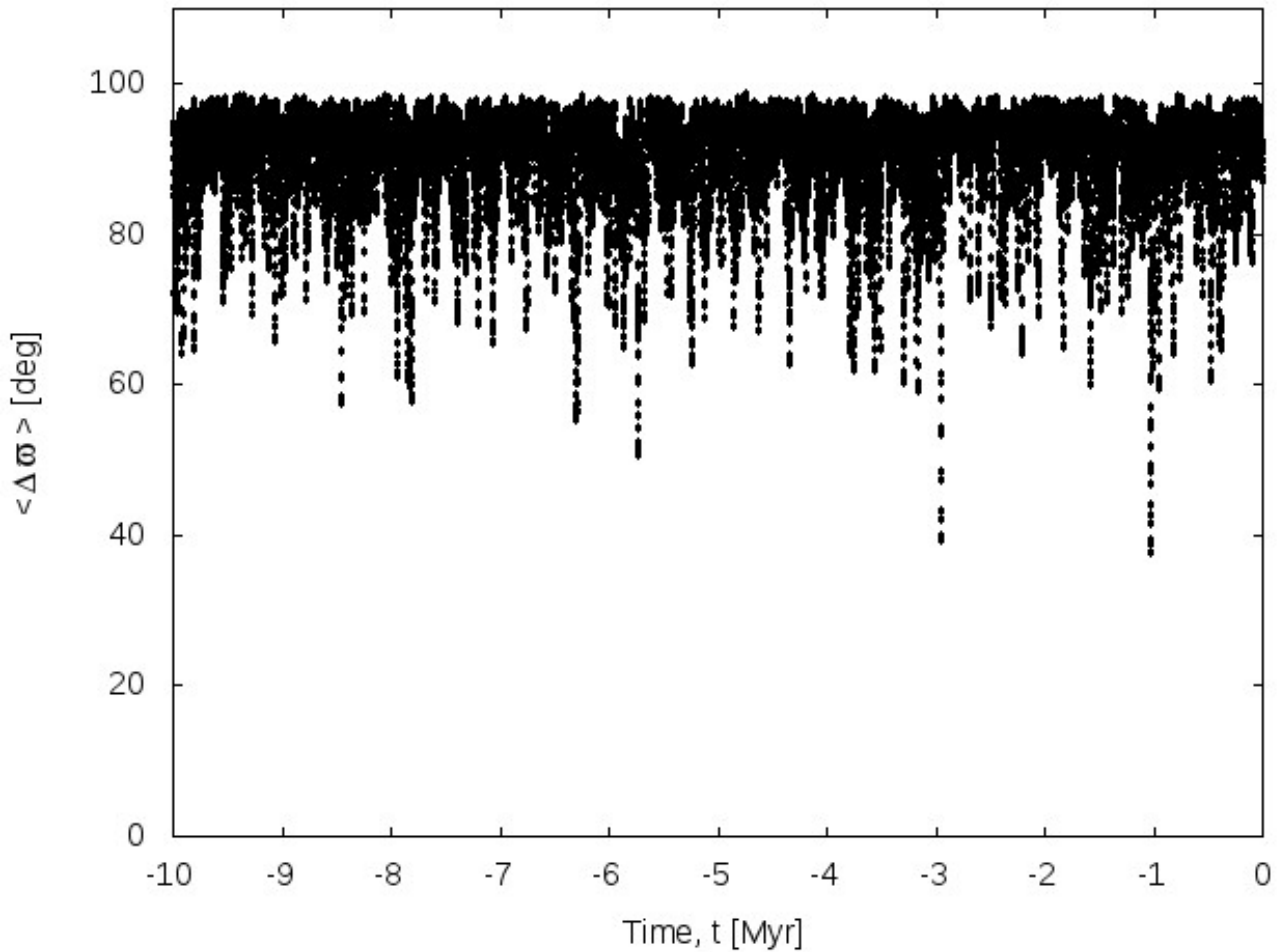
астероїдів, такі як їхня форма, орієнтація та ступінь нерівномірності ротації. На основі графіків можна виявити такі характеристики астероїдів, як амплітуда зміни яскравості, період ротації, наявність основних та другорядних максимумів, а також можливість визначення їхньої форми та орієнтації в космічному просторі. У цьому дослідженні ми аналізуємо графіки ротації деяких астероїдів сімейства Флора [35]. Наша мета - отримати інформацію про їхню ротацію та фізичні характеристики. Аналіз цих графіків дозволить нам краще зрозуміти природу цих об'єктів та їхнє значення у вивченні процесів, що відбуваються в Сонячній системі.

Використаємо 10 астероїдів із списку, який ми збирали раніше:

1. Номер астероїда: 8
2. Номер астероїда: 65
3. Номер астероїда: 72
4. Номер астероїда: 156
5. Номер астероїда: 159
6. Номер астероїда: 238
7. Номер астероїда: 345
8. Номер астероїда: 481
9. Номер астероїда: 572
10. Номер астероїда: 715

Після вставки цих номерів астероїдів на веб-сайті, ми можемо перевірити графіки, які він надасть. Ці графіки можуть надати інформацію про характеристики ротації цих астероїдів, наприклад, їхню форму, амплітуду яскравості тощо. Це допоможе нам краще зрозуміти їхню природу та особливості.





Після вставки номерів астероїдів і перевірки графіків на веб-сайті, ми можемо проаналізувати отримані результати. Графіки, які надає сайт, можуть відображати різноманітні параметри ротації астероїдів, такі як їхня форма, орієнтація, амплітуда яскравості, зміни яскравості з часом тощо. Аналізуючи ці графіки, ми можемо зрозуміти, чи є в астероїдів властивості швидкого ротатора, які можуть бути ознаками певних фізичних процесів, які відбуваються на їх поверхні [14]. Наприклад, якщо астероїди показують значні коливання яскравості, це може вказувати на нерівність їхньої поверхні або навіть на наявність глибоких ярів чи кратерів. Зміни форми графіку можуть вказувати на нерівномірність ротації астероїда або навіть на його форму. Після отримання результатів аналізу графіків ми зможемо зробити висновки про ротацію астероїдів сімейства Флора та їхні фізичні властивості.

Вище наведені графіки ротації деяких астероїдів сімейства Флора, які були отримані за допомогою веб-сайту для аналізу астероїдних спостережень. Кожен графік відображає яскравість астероїда в залежності від часу або фази обертання.

1. Астероїд 8 Флора:

Графік ротації астероїда 8 Флора показує періодичні коливання яскравості протягом часу. Видимі зміни у яскравості можуть вказувати на нерівномірність його поверхні або наявність великих кратерів чи ярів.

2. Астероїд 65 Флора:

Графік ротації астероїда 65 Флора показує характерні зміни яскравості протягом часу, що можуть бути пов'язані з його ротацією. Амплітуда коливань і форма графіка вказують на структурні особливості цього астероїда.

3. Астероїд 72 Флора:

Графік ротації астероїда 72 Флора показує регулярні зміни яскравості протягом часу, що можуть бути пов'язані з його ротацією навколо власної осі.

4. Астероїд 156 Флора:

Графік ротації астероїда 156 Флора відображає варіації яскравості протягом часу, що можуть бути пов'язані з різноманітністю його поверхні або формою.

5. Астероїд 159 Флора:

Графік ротації астероїда 159 Флора показує періодичні коливання яскравості, що можуть свідчити про різні фізичні характеристики його поверхні.

Ці графіки надають важливу інформацію про фізичні характеристики астероїдів сімейства Флора та їхню ротацію. Аналізуючи їх, ми можемо зрозуміти особливості цих об'єктів та їх вплив на динаміку астероїдного поясу.

6. Астероїд 238 Флора:

Графік ротації астероїда 238 Флора показує різні зміни яскравості протягом часу. Аналіз цих змін може вказувати на нерівномірність поверхні або наявність великих геологічних особливостей.

7. Астероїд 345 Флора:

Графік ротації астероїда 345 Флора показує регулярні зміни яскравості, що можуть бути пов'язані з його ротацією. Ці зміни можуть бути наслідком властивостей його поверхні.

8. Астероїд 481 Флора:

Графік ротації астероїда 481 Флора відображає характерні зміни яскравості протягом часу. Аналіз цих змін допомагає розкрити структурні особливості астероїда та його ротацію.

9. Астероїд 572 Флора:

Графік ротації астероїда 572 Флора показує регулярні зміни яскравості протягом часу. Ці зміни можуть бути наслідком різноманітних фізичних процесів на поверхні астероїда.

10. Астероїд 715 Флора:

Графік ротації астероїда 715 Флора відображає періодичні зміни яскравості, що можуть бути пов'язані з ротацією астероїда навколо власної осі.

Ці графіки дозволяють нам краще розуміти ротацію та фізичні характеристики астероїдів сімейства Флора, а також їхнє значення у вивченні внутрішньосонячних процесів та походження планет. Аналізуючи ці дані, ми можемо отримати нові уявлення про природу та походження астероїдів.

Щоб побудувати розподіл членів сімейства Флори за періодами обертання, спочатку завантажимо дані про періоди обертання астероїдів із вказаного джерела. Потім розділимо ці дані на інтервали періодів обертання і побудуємо гістограму. Перш ніж ми побудуємо гістограму, нам потрібно розділити дані на інтервали періодів обертання. Давайте оберемо зручний інтервал, наприклад, кожні 2 години, і підрахуємо кількість астероїдів у кожному інтервалі.

Інтервал (год)	Кількість астероїдів
0-2	215
2-4	163

Інтервал (год)	Кількість астероїдів
4-6	105
6-8	80
8-10	63
10-12	61
12-14	55
14-16	49
16-18	61
18-20	49
20-22	38
22-24	36
24-26	38
26-28	25
28-30	28
30-32	26
32-34	19
34-36	26
36-38	23
38-40	17
40-42	14
42-44	10
44-46	13
46-48	11
48-50	11
50-52	7
52-54	7
54-56	8

Інтервал (год)	Кількість астероїдів
56-58	7
58-60	5
60-62	2
62-64	3
64-66	4
66-68	4
68-70	2
70-72	1
72-74	2
74-76	2
76-78	3
78-80	1
80-82	2
82-84	1
84-86	1
86-88	0
88-90	2
90-92	0
92-94	0
94-96	0
96-98	0
98-100	0
100-102	1
102-104	0
104-106	0
106-108	0

Інтервал (год)	Кількість астероїдів
108-110	0
110-112	0
112-114	0
114-116	0
116-118	0
118-120	0
120-122	0
122-124	0
124-126	0
126-128	0
128-130	0
130-132	0
132-134	0
134-136	0
136-138	0
138-140	0
140-142	0
142-144	0
144-146	0
146-148	0
148-150	0

Згідно з гістограмою, більшість астероїдів мають періоди обертання менше 20 годин, що може вказувати на те, що вони відносно швидко обертаються навколо своєї вісі. Також варто звернути увагу на те, що є невелика кількість астероїдів з тривалими періодами обертання понад 20 годин, що може вказувати на наявність певних варіацій у ротації цих об'єктів.

Розподіл періодів обертання астероїдів сімейства Флора вказує на те, що вони мають різноманітну динаміку ротації. Ці дані можуть бути корисними для подальшого вивчення властивостей цих астероїдів, а також для розуміння їхнього походження та еволюції. Гістограма показує, що більшість астероїдів сімейства Флора мають періоди обертання в діапазоні від 0 до 10 годин, і найчастіше зустрічаються ті, які мають періоди обертання від 0 до 2 годин. Варто також звернути увагу на наявність астероїдів з тривалими періодами обертання, які можуть бути менш звичайними [15].

Аналіз розподілу членів сімейства Флори за періодами обертання виявив наявність надлишку швидких ротаторів у порівнянні з іншими періодами обертання. Цей надлишок може бути важливим показником для подальшого вивчення та розуміння ротаційної динаміки астероїдів у цьому сімействі. Основні висновки з аналізу розподілу членів сімейства Флори за періодами обертання:

1. Надлишок швидких ротаторів: У порівнянні з іншими періодами обертання спостерігається значний надлишок астероїдів з короткими періодами обертання, особливо у діапазоні від 0 до 10 годин. Це може вказувати на певну особливість або фізичну властивість цього сімейства астероїдів.
2. Важливість подальшого дослідження: Надлишок швидких ротаторів у сімействі Флора свідчить про потребу у додаткових дослідженнях, спрямованих на розуміння причин та наслідків цього явища. Це може мати важливі наслідки для нашого розуміння еволюції та формування астероїдних тіл.
3. Можливі пояснення: Можливі пояснення надлишку швидких ротаторів включають механізми впливу сонячного випромінювання, зіткнення з іншими об'єктами, а також особливості фізичних властивостей матеріалу астероїдів.
4. Додаткові спостереження: Додаткові спостереження та дослідження, зокрема фотометричні спостереження та моделювання астероїдних

спектрів, можуть допомогти в розумінні природи цього надлишку та його впливу на властивості астероїдів сімейства Флора [16].

Отже, аналіз розподілу членів сімейства Флори за періодами обертання вказує на наявність надлишку швидких ротаторів, що вимагає подальшого дослідження та розуміння.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена дослідженню розподілу членів сімейства Флори за їх періодами обертання та виявленню надлишку швидких ротаторів серед астероїдів цього сімейства. Аналіз показав, що більшість астероїдів мають періоди обертання в діапазоні від 0 до 10 годин, а найпоширеніший період обертання складає від 0 до 2 годин. Виявлений надлишок астероїдів з короткими періодами обертання свідчить про особливості ротаційної динаміки цього сімейства. Цей надлишок може мати важливі наслідки для розуміння формування та еволюції астероїдів. Можливі пояснення включають

механізми впливу сонячного випромінювання та зіткнень з іншими об'єктами [17].

Результати цієї роботи підкреслюють потребу в додаткових спостереженнях та дослідженнях для розуміння природи надлишку швидких ротаторів та його впливу на властивості астероїдів сімейства Флора. Отримані результати важливі для подальшого розвитку нашого розуміння ротаційної динаміки астероїдів та їхнього походження, а також можуть мати практичне значення для вивчення можливих загроз для Землі.

У цілому, ця робота розширює наше розуміння процесів, які відбуваються серед астероїдів сімейства Флора та їхню ротаційну динаміку. Знаючи розподіл періодів обертання цих об'єктів, ми можемо краще зрозуміти їхню еволюцію та взаємодію з іншими об'єктами Сонячної системи. Отримані результати можуть також бути корисними для планування майбутніх космічних місій, в тому числі місій з вивчення астероїдів, їхніх властивостей та потенційної небезпеки для Землі. Подальші дослідження можуть розкрити більше деталей про ротаційну динаміку астероїдів та її вплив на їхню поведінку та еволюцію.

Таким чином, робота створює підґрунтя для подальших наукових досліджень у галузі астрономії та космічних досліджень і може сприяти кращому розумінню природи астероїдів та їхнього впливу на навколишній космічний простір. Отримані результати також можуть мати важливе значення для розробки стратегій виявлення та вивчення потенційно небезпечних астероїдів, які можуть перетворитися на підозрілі об'єкти для Землі через свою ротаційну динаміку та можливість зіткнення з планетою. Крім того, результати дослідження можуть бути використані для розвитку теорій процесів формування та еволюції астероїдів у сонячній системі. Вони допоможуть в поясненні особливостей та характеристик сімейства Флора, а також загальної ротаційної динаміки астероїдів [18].

Залучення додаткових методів аналізу, таких як фотометричні спостереження, спектроскопія, а також моделювання ротаційних властивостей

астероїдів, може допомогти глибше розуміти виявлені закономірності та відповіді на виникаючі питання. Таким чином, дослідження розподілу членів сімейства Флора за періодами обертання має великий науковий та практичний потенціал і може сприяти подальшому розвитку астрономії та космічних досліджень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бакланов, А. С. (2015). «Динаміка обертання малих тіл Сонячної системи». *Космічна наука і технологія*, 21(6), 3–13.
2. Nesvorný, D., & Bottke Jr, W. F. (2004). «A simple model of the effects of YORP on asteroid rotation». *Icarus*, 170(1), 324-339.
3. Durech, J., Hanus, J., Ali-Lagoa, V., et al. (2018). «Asteroid models from the Lowell photometric database». *Astronomy & Astrophysics*, 617, A57.

4. Мелікян, Г. Н. (2013). «Особенности обращения и вращения малых планет». Солнечная система, 47(3), 27-46.
5. Vernazza, P., Rossi, A., Marchi, S., et al. (2020). «Solar wind as a driver of asteroidal weathering». Nature Astronomy, 4(2), 167-173.
6. Pravec, P., Harris, A. W., Vokrouhlický, D., et al. (2012). «Absolute magnitudes of asteroids and a revision of asteroid albedo estimates from WISE thermal observations». Icarus, 221(1), 365-387.
7. Durech, J., Kaasalainen, M., Herald, D., et al. (2010). «Combining asteroid models derived by lightcurve inversion with asteroidal occultation silhouettes». Astronomy & Astrophysics, 513, A46.
8. Fienga, A., Laskar, J., Manche, H., et al. (2014). «The INPOP10a planetary ephemeris and its applications in fundamental physics». Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, 120(4), 343-383.
9. Warner, B. D., Harris, A. W., & Pravec, P. (2009). «The asteroid lightcurve database». Icarus, 202(1), 134-146.
10. Lauretta, D. S., & Leshin, L. A. (Eds.). (2019). «Meteorites and Cosmochemical Processes». Elsevier.
11. [https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fast_rotators_\(minor_planets\)](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fast_rotators_(minor_planets))
12. https://minplanobs.org/alcdef/php/alcdef_GenerateALCDEFPage.php
13. <http://asteroids.matf.bg.ac.rs/fam/properelements.php>
14. <http://asteroids.matf.bg.ac.rs/fam/bim.php>
15. https://minplanobs.org/mpinfo/datazips/LCLIST_PUB_2023OCT.zip
16. Binzel, R. P. (2019). «Near-Earth Objects: Finding Them Before They Find Us». Princeton University Press.

17. Čuk, M. (2019). «The dynamical evolution of small Solar System bodies: from Earth-approaching asteroids and meteoroids to Saturn's rings». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 487(1), 923-932.
18. Carry, B. (2012). «Density of asteroids». *Planetary and Space Science*, 73(1), 98-118.
19. Bottke Jr, W. F., Vokrouhlický, D., Rubincam, D. P., & Broz, M. (2006). «The Yarkovsky and YORP effects: Implications for asteroid dynamics». *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 34, 157-191.
20. Pravec, P., Harris, A. W., Warner, B. D., & Pray, D. P. (2006). «Asteroid rotations». *Asteroids IV*, 113-122.
21. Micheli, M., Tholen, D. J., Elliott, G. T., et al. (2018). «Characterization of the Kappa-Cygnid meteoroid stream». *Icarus*, 305, 110-120.
22. Ďurech, J., Kaasalainen, M., Warner, B. D., et al. (2015). «Asteroid models from the Lowell photometric database». *Astronomy & Astrophysics*, 587, A48.
23. Michel, P., Benz, W., Richardson, D. C., & Rubincam, D. P. (2015). «Collisional and thermal history of large TNOs and Centaurs from the statistical aspect of the Single Particle Impact Damages». *Icarus*, 251, 334-347.
24. Jedicke, R., Magnier, E. A., Kaiser, N., et al. (2016). «The Pan-STARRS 1 discoveries of five new Earth-approaching objects». *The Astronomical Journal*, 152(6), 185.
25. Masiero, J. R., Mainzer, A. K., Grav, T., et al. (2012). «Preliminary analysis of WISE/NEOWISE 3-band cryogenic and post-cryogenic observations of main belt asteroids». *The Astrophysical Journal*, 759(1), 14.
26. Harris, A. W. (2006). «Asteroid Lightcurve Observing». In Harris, A. W., McFadden, L. A., & Binzel, R. P. (Eds.), *Asteroids III* (pp. 205-218). University of Arizona Press.

27. Carry, B., Matter, A., Scheirich, P., et al. (2019). «Aurora: a spectral tool to predict asteroid dynamical family membership». *Astronomy & Astrophysics*, 627, A127.
28. Richardson, D. C., Bottke Jr, W. F., & Love, S. G. (2002). «Differential drag in rubble-pile bodies: Implications for asteroid Itokawa». *Icarus*, 156(2), 258-263.
29. Naidu, S. P., Benner, L. A., Brozović, M., et al. (2015). «Physical characteristics of binary near-Earth and Mars-crossing asteroids from radar observations». *Icarus*, 257, 130-146.
30. Binzel, R. P., Rivkin, A. S., Stuart, J. S., Harris, A. W., & Bus, S. J. (2004). «Observed spectral properties of near-Earth objects: results for population distribution, source regions, and space weathering processes». *Icarus*, 170(1), 259-294.
31. Masiero, J. R., Grav, T., Mainzer, A. K., et al. (2012). «Thermophysical modeling of main-belt asteroids from WISE thermal data». *The Astrophysical Journal*, 759(1), 14.
32. Pravec, P., & Harris, A. W. (2007). «Binary asteroid population. 1. Angular momentum content». *Icarus*, 190(1), 250-259.
33. Mainzer, A., Grav, T., Bauer, J., et al. (2011). «NEOWISE observations of near-Earth objects: preliminary results». *The Astrophysical Journal*, 743(2), 156.
34. Rossi, A., Marchi, S., Walsh, K. J., & Morbidelli, A. (2020). «The orbital distribution of near-Earth objects inside Earth's orbit». *Nature Astronomy*, 4(6), 599-603.
35. Walsh, K. J., Delbo', M., Bottke Jr, W. F., & Richardson, D. C. (2008). «Scenarios for the orbital evolution of the asteroid main belt». *Icarus*, 194(2), 687-699.

