

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Баннікової Олени Юріївни

“Тороїдальні структури в астрофізичних об’єктах”,

поданої на здобуття вченого ступеня доктора фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.03.02 — астрофізика, радіоастрономія

Актуальність дисертації пов’язана з тим, що астрофізичні об’єкти різних типів мають тороїдальні (або кільцеві) структури, що вимагає розвитку відповідних теоретичних моделей, які пов’язані з дослідженням динаміки, гравітаційних властивостей тору, пошуку нових гідродинамічних розв’язків для кільцевих вихорів, тощо. Ці дослідження є важливими як для інтерпретації існуючих спостережень в різних діапазонах довжин хвиль, так і для загального розуміння поведінки подібних систем.

Дисертація складається зі вступу, восьми розділів, списку використаних джерел, загальний обсяг дисертації складає 337 сторінок.

Перший розділ дисертації присвячений огляду літератури по сучасним спостережним даним астрофізичних об’єктів, які містять тороїдальні структури. Це головним чином газопилові торі в активних ядрах галактик, кільцеві галактики, тороїдальні вихори в акреційних течіях. Дуже чітко поставлені питання, які потребують дослідження в дисертації.

Другий розділ присвячений дослідженню тороїдальних вихорів в 2D випадку, представлено та аналітично розв’язано рівняння для вихорів в радіальному потоці, наведено та розглянуто поведінку в лагранжевому та гамільтоновому формалізмі. Отриманий важливий результат о прискоренні вихорів збіжним (акреційним) потоком, що може бути використовуване як додатковий механізм прискорення компонентів джетів. Отриманий розв’язок дозволяє перейти від пари точкових вихорів до вихорів одного знаку, а також врахувати більш складний потік, що зроблено в дисертації.

У третьому розділі задача про динаміку вихорів розглянуто для 3D випадку та доведено, що врахування тривимірності впливає на загальну динаміку тороїдальних вихорів. Прискорення вихорів зберігається, але при потужному потоці вихори можуть колапсувати у особливу точку (стійкий вузол). Слід зауважити, що розв'язки отримані як для одиночного кільцевого вихору, так і для дипольного тороїдального. Також в цьому розділі розглядається вплив орбітального руху (закрутки) та проведені дослідження інтегралу спіральності для різних законів розподілу швидкості в вихору.

Четвертий розділ присвячений дослідженню гравітаційного потенціалу тора. На підставі нового виразу для потенціалу однородного кругового тора було показано, що зовнішній потенціал тора аж до поверхні може бути представлений потенціалом нескінченно тонкого кільця. Це дуже важливий результат дозволяє спростити задачі про динаміку, замінюючи тор масивною окружністю аж до його поверхні аналогічно випадку потенціалу кулі та масивної точки. Цікава інтерпретація в дисертації про те, що нееквівалентність потенціалу тора і масивної окружності є наслідок впливу гауссової кривизни поверхні тору.

У п'ятому розділі розглянута задача про динаміку частинки в зовнішньому потенціалі тора та центральної маси, використовуючи результати попереднього розділу. Важливим є результат про існування останньої зовнішньої стійкої кругової орбіти та аналогія з релятивістським випадком (остання внутрішня стійка кругова орбіта) при аналізі поведінки ефективного потенціалу. Цей результат демонструє нетривіальність динаміки у системі з тороїдальною структурою. В свою чергу, отриманий результат дозволів пояснити спостережливу щілину в розподілі речовини в кільцевої галактики "об'єкт Хога". Також в цьому розділі були знайдені замкнені орбіти нових типів та досліджено хаос з використанням відображень Пуанкаре.

Шостий розділ присвячений розв'язку задачі про пошук рівноважної форми самогравітуючого тору в полі центральної маси. Це дуже важливе дослідження, оскільки воно пов'язано безпосередньо з питанням о

можливості існування тороїдальних структур. Дослідження проводились в межах задачі N тіл з використанням сучасних методів паралельних обчислювань. При цьому в якості початкових умов використовувався запропонований в дисертації тор Кеплера. Результати чисельних експериментів показали, що в рівноважному стані тор залишається геометрично товстим з перетином, який має форму овалу. Також в цьому розділі було досліджено динаміку частинки во внутрішньому потенціалі тора, а результати цих досліджень дозволили зрозуміти поведінку системи при чисельних експериментах.

В сьомому розділі були розглянуті моделювання для других початкових умов та зроблений висновок, що для стабільності тору треба, щоб в початковому стані було присутнє відхилення орбіт хмар не тільки за нахилами, а також за ексцентриситетами. Також результати моделювань застосовані безпосередньо для інтерпретації спостережних даних газопилових торів в активних ядрах галактик. Запропонований сценарій формування тору в активних ядрах галактик, який базується на результатах чисельних експериментів.

В восьмому розділі досліджено ефекти гравітаційного лінзування на системі центральна маса та тор в наближенні диску з отвором. В дисертації отримані відповідне рівняння лінзи, аналітично та чисельно проаналізовані розв'язки. Показано, що в розглянутій системі можливо існування трьох кілець Ейнштейна. Також існують випадки, коли формується два або тільки одне кільце Ейнштейна, що пов'язано з залежністю поверхневої густини в диску-лінзі. Важливо, що розглянута система узагальнює відомі випадки лінзування, що було розглянуто в дисертації.

В цілому дисертаційна робота справляє гарне враження постановкою задач, своєї послідовністю, логічністю, структурою, методами дослідження та результатами. Але як і кожна дисертація вона не вільна від деяких недоліків.

1. Недостатньо уваги приділено можливому впливу ефектів загальної теорії відносності на поведінку розглянутих в дисертації об'єктів, і чому цим впливом, у деяких випадках, можна знехтувати.
2. В дисертації (розділ 6, 7) розглянуто моделювання тора з 8 тис. (або 16 тис.) частинок, але відзначається, що для пояснення спостережних даних треба, щоб число хмар в торі було на порядок вище. Чи буде впливати збільшення числа хмар на результуючий розподіл в торі?
3. Не зрозуміло, чому очікується збіг значень спіральності для зовсім різних об'єктів (для зачеплення двох магнітних силових ліній і середнього зачеплення тороїдальних конфігурацій з закруткою).

Ці зауваження, зрозуміло, не впливають на високу оцінку роботи та не применшують її наукової і практичної цінності. Представлені результати є новими, опубліковані в 21 статтях та доповідалися на багатьох наукових міжнародних та вітчизняних конференціях. Автореферат повністю відображає зміст дисертації.

Дисертаційна робота “Тороїдальні структури в астрофізичних об'єктах” виконана на високому рівні та задовольняє всім вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, а її автор — Баннікова Олена Юріївна — безумовно заслуговує на присвоєння їй наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 — астрофізика, радіоастрономія.

Зав. відділом теорії конденсованого стану
Інституту монокристалів НАН України,
доктор фізико-математических наук,
професор

В.В. Яновський

Підпис В.В. Яновського засвідчую:

Вчений секретар

Інституту монокристалів НАН України,

к.ф.-м.н

К.М.Кулик



Відгук одержано 22 червня 2020р

Вчений секретар спецради