

ВІДГУК

на дисертацію Сергєєва Олексія Володимировича

«Гравітаційно лінзована система SBS 1520+530: оптичні спостереження та моделювання»

представлену на здобуття вченого ступеню кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія

Дослідження гравітаційно-лінзових систем (ГЛС) та їх застосування для вивчення низки фундаментальних проблем сучасної астрофізики і космології привертає велику увагу світової наукової спільноти. Про це переконливо свідчить зростання щорічної кількості публікацій з цієї тематики. Явище гравітаційного лінзування відкриває перспективи для одержання астрофізичної інформації, яку неможливо отримати іншими методами. Це стосується оцінки кутових розмірів випромінюючих зон віддалених квазарів в ГЛС з роздільною здатністю, яка є недоступною для сучасних радіо та оптичних телескопів; зазначимо можливість вивчати розподіли темної матерії (ТМ), а також густину зоряного населення лінзуючих галактик. Феномен гравітаційного лінзування дозволяє також незалежно оцінювати сталу Хаббла H_0 . Тому, безсумнівно, тематика дисертації О.В. Сергєєва є надзвичайно актуальною й своєчасною.

Дисертаційна робота О.В. Сергєєва містить Вступ, чотири розділи, Висновки і Додаток. У Вступі обґрунтовано актуальність дослідження ефекту гравітаційного лінзування, окреслено коло застосувань, обговорено складнощі проблеми та можливі шляхи їх подолання. Сформульовано головну мету дисертаційної роботи та наведено перелік завдань, які необхідно виконати для її досягнення, коротко перелічено основні результати. У **першому розділі** викладено сучасний стан досліджень в царині гравітаційного лінзування, подано історію розвитку наряду і окреслено найбільш важливі результати попередніх досліджень по темі роботи. Наведено класифікацію проявів ефекту гравітаційного лінзування, сформульовано основні поняття і подано необхідні формули. **Другий розділ** присвячений опису спостережень гравітаційно-лінзованого квазара SBS 1520+530 за допомогою 1.5-метрового телескопу АДТ-22 на горі Майданак (Узбекистан). Викладено методику первинного опрацювання даних з метою одержання кривих блиску макрозображень SBS 1520+53, які є вихідними для вирішення поставлених в роботі задач. Особливо слід відзначити, що представлений у роботі матеріал моніторингу цієї ГЛС є досить об'ємним і охоплює період з 1999 по 2009 року і включає більш ніж 2500 зображень у фільтрі R (420 дат спостережень), понад 650 кадрів у фільтрі V (150 дат) і 530 зображень у фільтрі I (115 дат спостережень). **Розділ 3** дисертації присвячений викладенню методики фотометричного опрацювання зображень системи SBS 1520+530. Стисло викладено результати спостережень досліджуваної ГЛС іншими дослідниками за період від відкриття системи у 1996 році до 1999 року, коли автором дисертаційної роботи був розпочатий її регулярний моніторинг з обсерваторії на горі Майданак. Докладно описано алгоритм фотометричного опрацювання даних та відновлення спостережуваного зображення; цей алгоритм враховує необхідність гарантувати фотометричну однорідність матеріалу для побудови кривих блиску за багаторічний період урахуванням поточних змін апаратного забезпечення. Розділ містить ключові результати роботи, зокрема, одержані в спектральних смугах B, V та R криві блиску системи SBS 1520+530, які охоплюють одинадцятирічний період спостережень; це унікальні дані, які

становлять самостійний інтерес. Виконано детальний аналіз похибок вимірювання кривих блиску. Виявлено варіації показників кольору лінзованих компонентів і знайдено їх кореляцію з варіаціями блиску. Подано переконливі докази наявності подій мікролінзування в системі. Нарешті, одержано нову оцінку часу затримки між коливаннями блиску в компонентах А і В системи, яку використано далі для оцінки H_0 . Розділ 4 дисертаційної роботи присвячений комп'ютерному моделюванню системи SBS 1520+530 й аналізу його результатів. Побудовано макромодель системи, за якої було одержано оцінку повної маси галактики-лінзи, що становить приблизно $7 \cdot 10^{11}$ мас Сонця. З використанням нової оцінки часового запізнення коливань блиску між компонентами одержано величину сталої Хаббла, яка задовільно узгоджується з існуючими оцінками цієї величини. Чисельне моделювання події мікролінзування, що було зареєстровано під час спостережень, дозволило оцінити ефективний розмір випромінюючої зони квазару та маси тіл, що відповідають за процес мікролінзування в системі SBS 1520+530. Виконано оцінку внеску дифузно-розподіленої матерії (яку, принаймні, частково, можна ототожнити з ТМ) у повну масу лінзуючої галактики.

Зауваження до дисертації, в основному, мають характер побажань.

1. Передусім слід відзначити, що результати дисертації виглядають значно ширше, ніж заявлено у назві. Це видно і по назвам статей, включених у список, де фігурують і інші об'єкти окрім, SBS 1520+539. Але тут же слід підкреслити: незважаючи на те, що частина робіт присвячена дослідженню інших об'єктів, їх включення у дисертацію є цілком виправданим, оскільки в цих роботах відпрацьовувалися загальні підходи до проведення спостережень, визначення часу гравітаційної затримки, тестування алгоритмів та відпрацювання програмного забезпечення, яке було застосоване до аналізу SBS 1520+530. Тому це зауваження скоріше на користь дисертанта. Але задачі, сформульовані у тексті дисертації, можна було б узагальнити й розширити.

2. Коли йдеться про визначення сталої Хаббла H_0 , не варто дуже акцентувати увагу на точність її визначення в дисертації. Тут на кожному кроці треба робити застереження, що ця оцінка зроблена в рамках конкретної моделі розподілу маси у лінзовій галактиці. Модельна залежність використаного методу визначення H_0 загальновідома; для більш адекватної оцінки H_0 методом Рефсдала потрібний, як мінімум, статистичний аналіз по багатьом ГЛС. Конкретно в плані SBS 1520 про це йдеться і в роботі Auger et al., 2008, яка процитована в дисертації.

3. У тексті дисертації є певна кількість неточних формулювань. Наприклад, на стор.26 автор пише «Природа темної матерії до сих пір не ясна. Однією з гіпотез є припущення, що прихована речовина складається зі звичайної баріонної матерії» і т.д. Ця точка зору давно застаріла, відомо, що баріонна матерія складає не більше 5% середньої густини маси у Всесвіті (а ТМ – приблизно 25%). Варіант з коричневими карликами (КК) не узгоджується в тому числі з пошуками масивних компактних об'єктів в гало Галактики. Хоча КК, ймовірно, утворюють найбільшу по чисельності популяцію компактних об'єктів в галактиках, але внесок в загальну масу їх невеликий. Дані спостережень слабого лінзування у Bullet Cluster також свідчать на користь небаріонного походження ТМ та ін.

У тексті є і інші недоречності.

4. У «Висновках», які бажано було б викласти більш стисло, замість деяких технічних подробиць бажано навести – в оцінках маси мікролінз, розміру

випромінюючої області квазара та внеску неперервної речовини – дані про похибки чи довірчі ймовірності, як це прийнято у спостережних роботах.

5. Текст вичитано недостатньо, в ньому є велика кількість «друкарських» та граматичних помилок, які іноді заважають сприймати матеріал.

Втім, зазначені зауваження виглядають несуттєвими на фоні важливих результатів дисертації і не знижують її високої оцінки.

Відзначимо найважливіші, на мій погляд, особливості роботи О.В. Сергєєва.

- Отримано унікальний спостережний матеріал – криві блиску джерела в системі SBS 1520+530, які за своїми характеристиками не мають аналогів. Наразі відомо лише декілька ГЛС, для яких проведено такий тривалий моніторинг. Завдяки цьому стало можливим виявлення та дослідження мікролінзування у системі SBS 1520+530 з оцінкою маси компактних об'єктів, відповідальних за мікролінзування, та внеску неперервної матерії в лінзовій галактиці. Важливо відзначити, що у зв'язку з умовами спостережень необхідно було розробити спеціальний алгоритм опрацювання зображень, що й було зроблено за участю автора, якому, зокрема, повністю належить програмна реалізація алгоритму. Розроблене програмне забезпечення було відпрацьовано на інших задачах та інших об'єктах, окрім SBS 1520+530. Специфікою тут є необхідність працювати з неоднорідним матеріалом, отриманим на різних ПЗЗ камерах.

- Уперше в системі SBS 1520+530 виявлені значні варіації показників кольору лінзованих компонентів і встановлено їх тісну кореляцію з варіаціями блиску, що має значення для вивчення фізичних механізмів змінності квазарів.

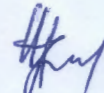
- Отримано нову оцінку часового запізнення, яка є більш обґрунтованою у порівнянні з попередніми оцінками інших авторів.

З особистого спілкування з автором на конференціях я можу зробити висновок, що сильною стороною О.В. Сергєєва є його висока кваліфікація в плані володіння технікою комп'ютерних обчислень. Це добре видно і з розділів дисертації, пов'язаних з комп'ютерним моделюванням, особливо стосовно процесів мікролінзування, що пов'язане з досить трудомісткими розрахунками. Взагалі дисертант продемонстрував різнобічні здібності в розробці досліджуваної проблеми на усіх етапах, починаючи з одержання спостережного матеріалу, розробки програмного забезпечення та методів опрацювання даних і проведення моделювання. Результати робіт, виконаних за участю дисертанта, відповідають високому міжнародному рівню і цілком пристойно виглядають на фоні аналогічних досліджень, які виконуються у провідних обсерваторіях світу. **Ці результати пройшли необхідну апробацію на міжнародних конференціях, вони належним чином опубліковані;** відзначаю, що з 13 робіт з списку дисертації 6 статей опубліковано у такому престижному виданні як MNRAS і ще одну в Astronomy & Astrophysics, ці роботи цитуються і визнані як вітчизняними, так і закордонними вченими. З особистого спілкування з членами харківської команди фахівців з гравітаційного лінзування мені відомо, що частка О.В. Сергєєва у спільних роботах є досить вагомою. На мою думку, він давно вже перевищив планку кандидата наук.

Дисертаційне дослідження О.В.Сергєєва є закінченою роботою, результати якої є вагомим внеском в розвиток сучасних методів вивчення віддалених астрофізичних об'єктів. Розроблені в процесі виконання методи й алгоритми знайдуть **застосування** у позагалактичній астрономії, зокрема, у майбутніх дослідженнях з гравітаційного лінзування. У цілому дисертаційна робота

О.В.Сергеєва заслуговує високої оцінки. Автореферат повністю відображає зміст дисертації О.В.Сергеєва «Гравітаційно лінзована система SBS 1520+530: оптичні спостереження та моделювання», яка задовольняє вимогам до кандидатських дисертацій, а сам Сергеєв Олексій Володимирович, безсумнівно, заслуговує на присудження йому вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 – астрофізика, радіоастрономія.

Завідувач відділу астрофізики
Астрономічної обсерваторії
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
доктор фіз.-мат. наук, професор


22.05.18

В.І. Жданов

Підпис В.І. Жданова ЗАСВІДЧУЮ
Директор Астрономічної обсерваторії
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
кандидат фіз.-мат. наук,
старший науковий співробітник



В.М. Єфіменко

22.05.2018